



Editor:
Bambang Riyanto Trilaksono
Hammam Riza
Asril Jarin
Nungki Dian Sulistyو Darmayanti
Suryadiputra Liawatimena

PROSIDING
**USE CASES
ARTIFICIAL
INTELLIGENCE
INDONESIA**

Embracing Collaboration for Research
and Industrial Innovation
in Artificial Intelligence

PROSIDING

USE CASES ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDONESIA

Embracing Collaboration for Research
and Industrial Innovation
in Artificial Intelligence

10 – 13 November 2021

Gedung BJ Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8, RW.1, Kb. Sirih,
Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Tersedia untuk diunduh secara gratis: penerbit.brin.go.id



Buku ini di bawah lisensi Creative Commons Attribution Non-commercial Share Alike 4.0 International license (CC BY-NC-SA 4.0).

Lisensi ini mengizinkan Anda untuk berbagi, mengopi, mendistribusikan, dan mentransmisi karya untuk penggunaan personal dan bukan tujuan komersial, dengan memberikan atribusi sesuai ketentuan. Karya turunan dan modifikasi harus menggunakan lisensi yang sama.

Informasi detail terkait lisensi CC-BY-NC-SA 4.0 tersedia melalui tautan:
<https://creativecommons.org/licenses/by-nc-sa/4.0/>

Editor:

Bambang Riyanto Trilaksono

Hammam Riza

Asril Jarin

Nungki Dian Sulistyo Darmayanti

Suryadiputra Liawatimena

PROSIDING
**USE CASES
ARTIFICIAL
INTELLIGENCE
INDONESIA**

Embracing Collaboration for Research
and Industrial Innovation
in Artificial Intelligence

10 – 13 November 2021

Gedung BJ Habibie, Jl. M.H. Thamrin No.8, RW.1, Kb. Sirih,
Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat, Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

© 2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA)

Katalog dalam Terbitan (KDT)

Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence/Bambang Riyanto Trilaksono, Hammam Riza, Asril Jarin, Nungki Dian Sulisty Darmayanti, & Suryadiputra Liawatimena (Eds.)-Jakarta: Penerbit BRIN, 2023.

xvi + 308 hlm.; 17,6 x 25 cm

ISBN 978-623-8052-49-3 (printed)

978-623-8052-50-9 (e-book)

1. Artificial Intelligence

2. Research

3. Innovation

006.3

Copy editor : Tantrina Dwi Aprianita & Nikita Daning Pratami
Proofreader : Nikita Daning Pratami, Tantrina Dwi Aprianita, & Risma Wahyu Hartiningsih
Penata isi : Astuti Krisnawati & Dhevi E.I.R. Mahelingga
Desainer sampul : Dhevi E.I.R. Mahelingga
Cetakan Pertama : Maret 2023



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung B.J. Habibie Lt. 8,
Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340

e-mail: penerbit@brin.go.id

website: penerbit.brin.go.id

 Penerbit BRIN

 @penerbit_brin

 penerbit_brin



Bekerja sama dengan:
Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan
Artifisial (KORIKA)
Gedung Soedjono Djoened Poesponegoro Lantai 18
Jl. M.H. Thamrin No. 8 Jakarta 10340

e-mail: sekretariat@korika.id

website: <https://korika.id>

 Korika Aiis

 @korika_aiis

Buku ini tidak diperjualbelikan.

PROSIDING
USE CASES ARTIFICIAL INTELLIGENCE INDONESIA
Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in
Artificial Intelligence

1. Tempat dan Waktu Pelaksanaan:

Hybrid (virtual by zoom dan set up studio di Gedung BJ Habibie,
Jl. M.H. Thamrin No.8, RW.1, Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340)
10 – 13 November 2021 pkl 09:00 WIB – selesai

2. Susunan Kepanitiaan/Steering Committee

EDITOR:

- Bambang Riyanto Trilaksono
- Hammam Riza
- Asril Jarin
- Nungki Dian S. Darmayanti
- Suryadiputra Liawatimena

REVIEWER:

Anggota Pokja Inovasi

Ketua:

- Prof. Dr. Ir. Bambang Riyanto Trilaksono

Anggota:

- | | |
|-------------------------|--------------------|
| • Meiditomo | • Asep Riswoko |
| • Cahyono Tri Birowo | • Wisnu Jatmiko |
| • Hariyadi Maramis | • Fadzri Sentosa |
| • Billy Barokah | • Agung Eru |
| • Mega Bagus Herlambang | • M. Ghifary |
| • Gunarso | • Ford Lumban Gaol |
| • Irwan Rawal | • Tazar Marta |
| • Arie Wahyu | |

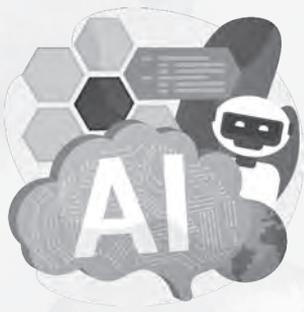
KONTRIBUTOR:

- | | |
|------------------------------|------------------------|
| • Muhammad Ghifary | • Dariel Valdano |
| • Andhika Rachman | • Nanang Cahyadi |
| • M. Aldo Aditiya Nugroho | • Billy Barokah |
| • Jeffry Khosasi | • Heru Permana |
| • Christoporus Deo Putratama | • Laksono Widyo Isworo |
| • Saqfi Ahmad Rabbani | • Eueung Mulyana |

- Muhammad Ridwan
- Haryadi Maramis
- Ayu Purwarianti
- Cahyono Tri Birowo
- Imam Machdi
- Alfatihah Reno MNSPM
- Arie Wahyu Wijayanto
- Amanda Pratama Putra
- Setia Pramana
- Ford Lumban Gaol
- I Ketut Eddy Purnama
- Muhtadina
- Ahmad Zainia
- Rudy Dikaironob
- Oskar Riandi
- Anis Herliyati Mahsunah
- Danang Waluyo
- Agustan
- Tauhid Nur Azhar
- Hammam Riza
- Eko Widi Santoso
- Iwan G. Tejakusuma
- Firman Prawiradisastra
- Prihartanto
- Alexander Ludi
- Meidy Fitranto
- Wisnu Jatmiko
- Ahmad Gamal
- Sri Wahjuni
- H. Rahmawan
- W. Wulandari
- J. Khairunissa
- H. S. Iman Rahayu
- A.R. Akbar
- F. Komara
- Didi Widjanarko
- Harry (Kiwi) Kusuma Aliwarga
- Bayu Dwi Apri Nugroho
- Suhono H. Supangkat
- Sumarni
- Alvin Rachmat
- Muhammad Yangki Sulaeman
- I Gusti Bagus Baskara Nugraha
- Mirwan Ushada
- On Lee
- Telly Kamelia
- Fannany Priambodo
- Iwan Djuniardi
- Dedy Rahman Wijaya
- Rianarto Sarno
- Suryadiputra Liawatimena
- Edi Abdurahman
- Agung Trisetyarso
- Antoni Wibowo
- Bambang Riyanto Trilaksono
- Febry Pandu Wijaya

PENDUKUNG:

- Fadzri Sentosa
- Meiditomo
- Gunarso
- Agung Eru Wibowo
- Arie Wahyu Wijayanto
- Tazar M. Kurniawan
- Irwan R. Husdi
- Asep Riswoko



Lampiran surat No : 01/09/AIS/KOR/21

ORGANIZING COMMITTEE

ARTIFICIAL INTELLIGENCE INNOVATION SUMMIT

2021 (AIIS 2021)

Co-Host: KORIKA

Co-Host: Organisasi Riset Pengkajian dan Penerapan Teknologi (OR PPT)
Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN)

Official Steering Committee AIIS 2021

1.	Hammam Riza (Ketua Umum KORIKA)	: Ketua
2.	Dadan Mohammad Nurjaman (plt. Kepala OR PPT BRIN)	: Anggota
3.	Bambang Brodjonegoro	: Anggota
4.	Meidy Fitranto (KORIKA)	: Anggota
5.	Sri Saraswati W. Wardhani (Ka. Pus.PTIK OR PPT BRIN)	: Anggota
6.	Indra Utoyo (KORIKA)	: Anggota
7.	T. Indra Kesuma	: Anggota

Official Committee AIIS 2021 (Webinar dan Expo)

No	Nama	Unit Asal	Posisi Kepanitiaan
1.	Meiditomo Sutyarjoko	KORIKA	Ketua Umum
2.	Dr. Drs. Chaidir	OR-PPT BRIN	Wa.Ketua Umum
3.	Nungki Dian S.Darmayanti	KORIKA	Sekretaris I
4.	Latifah Dwifi Rahayu	OR-PPT BRIN	Sekretaris II
5.	Ajeng Winda Patria	OR PPT BRIN	Sekretaris III
6.	T. Indra Kesuma	KORIKA	Bendahara I
7.	Andi Djalal Latif	PTIK - OR PPT BRIN	Bendahara II

Webinar Session Committee – AIIS 2021

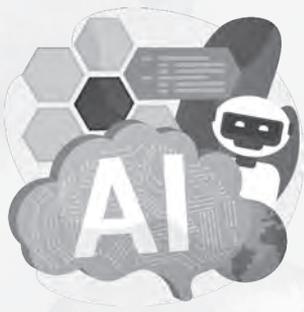
No	Nama	Posisi PIKA
1.	Asril Jarin	Koordinator Webinar
2.	Fajar Jaman	Anggota
3.	Helni Mutiarsih Jumhur	Anggota
4.	Thilma Komaling	Anggota
5.	Anindito Subagyo	Anggota
6.	Tri Juniarso	Anggota
7.	Baiq Hana Susanti	Anggota
8.	Matheace Rama P	Anggota
9.	Sri Safitri	Anggota
10.	I Gusti Bagus Baskara Nugraha	Anggota
11.	Anto Satriyo Nugroho	Anggota
12.	Wisnu Jatmiko	Anggota
13.	Muhammad Ghifary	Anggota
14.	Antony Simon	Anggota
15.	Hendra Sumiarsa	Anggota

Sponsors and Public Relation Committee AIIS 2021

No	Nama	Unit Asal	Posisi Kepanitiaan
1.	Fajar Jaman	KORIKA	Koordinator
2.	Endiyan Rakhmanda	KORIKA	Anggota
3.	Nabil Badjri	KORIKA	Anggota

Campaign and Virtual Expo Committee AIIS 2021

No	Nama	Unit Asal	Posisi Kepanitiaan
1.	Dini Fronitasari	PMI-OR PPT BRIN	Koordinator
2.	Supriana Suwanda	PTIK-OR PPT BRIN	Anggota (Poster)
3.	Elvira Nurfadhilah	PTIK-OR PPT BRIN	Anggota (Poster)
4.	Yosa Permata Shafira	PMI-OR PPT BRIN	Anggota
5.	Rachmad Abdul Ramadhan	PMI-OR PPT BRIN	Anggota
6.	Aditya Nursyahbani	BJIK-OR PPT BRIN	Anggota



DAFTAR ISI

ORGANIZING COMMITTEE ARTIFICIAL INTELLIGENCE INNOVATION SUMMIT 2021 (AIIS 2021)	vii
PENGANTAR PENERBIT	xiii
KATA PENGANTAR	xv

KLASTER: RISET INDUSTRI DAN HANKAM 1

CHAPTER 1	
BRIBRAIN: Menuju Perbankan Masa Depan dengan Kecerdasan Artifisial	3
Muhammad Ghifary, Andika Rachman, & Indra Utoyo	

CHAPTER 2	
<i>Industrial AI: Textile Defect Detection System</i>	15
Muhammad Aldo Aditiya Nugroho, Jeffry Khosasi, Christoporus Deo Putratama, Saqfi Ahmad Rabbani, Dariel Valdano, & Nanang Cahyadi	

CHAPTER 3	
Kecerdasan Artifisial untuk Pengolahan Ucapan dan Teks Berbahasa Indonesia	39
Ayu Purwarianti, Dessi Puji Lestari, & Devin Hoesen	

KLASTER: LAYANAN PUBLIK DAN KESEHATAN 45

CHAPTER 4	
Implementasi Big Data dan Kecerdasan Artifisial untuk Statistik Oficial	47
Imam Machdi, Alfatihah Reno MNSPM, Arie Wahyu Wijayanto, Amanda Pratama Putra, & Setia Pramana	

CHAPTER 5		
Pemantauan Berkelanjutan Menggunakan <i>Process Mining</i> pada Layanan Publik Digital		55
Johan Tambotoh & Ford Lumban Gaol		
CHAPTER 6		
Robot RAISA: Robot Pelayan untuk Ruang Perawatan Pasien Covid-19		67
I Ketut Eddy Purnama, Muhtadina, Ahmad Zaini, & Rudy Dikairono		
CHAPTER 7		
Perkembangan Penerapan Kecerdasan Artifisial di Bidang Kesehatan dan Peran Regulasi Kotak Pasir (<i>Regulatory Sandbox</i>) dalam Memodulasi Prosesnya		75
Tauhid Nur Azhar, Hammam Riza, & Rizal Rickieno		
CHAPTER 8		
Database Morfologi dan Senyawa Mikrob Sebagai Dataset <i>Artificial Intelligence</i> untuk Percepatan Pengembangan Obat Anti-infeksi dari Sumber Daya Mikrob Indonesia		85
Danang Waluyo, Anis Herliyati Mahsunah, Dyah Noor Hidayati, Avi Nurul Oktaviani, Ariza Yandwiputra Besari, Kiki Rizkia Afrianti, Kristiningrum, Suryani, Amila Pramisanadi, Imam Civi Cartealy, Bayu Rizki Maulana, Nuki Bambang Nugroho, & Erwahyuni Endang Prabandari		
KLASTER: KOTA CERDAS DAN KEBENCANAAN		97
CHAPTER 9		
AI Kebencanaan dan Kewilayahan		99
Agustan		
CHAPTER 10		
Pemanfaatan Kecerdasan Artifisial untuk Meningkatkan Mitigasi Bencana Banjir		107
Hammam Riza, Eko Widi Santoso, Iwan G. Tejakusuma, Firman Prawiradisastra, & Prihartanto		
CHAPTER 11		
Segmentasi Berbasis <i>Deep Learning</i> untuk Mendeteksi Ketinggian Air		121
Rizky Munggaran, Adhiguna Mahendra, Meidy Fitranto, & Randy Pangestu		

CHAPTER 12	
Smartland Surveillance System (SLSS): Aplikasi Sistem Informasi Big Data Perkotaan	127
Ahmad Gamal, Ronni Ardianto, & Wisnu Jatmiko	
CHAPTER 13	
Pengembangan Sistem Otonomi dengan Menggunakan Kecerdasan Artifisial untuk Trem Otonom	137
Bambang Riyanto Trilaksono & Febry Pandu Wijaya	
KLASTER: KETAHANAN PANGAN DAN MARITIM	153
CHAPTER 14	
Sistem Pemantauan Perilaku Ayam Broiler pada Kandang Pintar	155
Sri Wahjuni, Hendra Rahmawan, Wulandari, Jasmine Khairunissa, Iman Rahayu Hidayati Soesanto, Auriza Rahmad Akbar, & Fathurohman Komara	
CHAPTER 15	
Transformasi Pertanian dengan Kecerdasan Artifisial	165
Didi Widjanarko, Bayu Dwi Apri Nugroho, & Harry Kusuma Aliwarga	
CHAPTER 16	
<i>Integrated Smart Food Security System Platform (I-SFSSP)</i>	179
Sumarni, Alvin Rachmat, Muhammad Yangki Sulaeman, I Gusti Bagus Baskara Nugraha, & Suhono Harso Supangkat	
CHAPTER 17	
Metode Rekayasa Kansei Cerdas untuk Reka Cipta Produk, Jasa, dan Sistem Kerja Agroindustri	187
Mirwan Ushada	
CHAPTER 18	
Deteksi Objek dan Pengukuran Panjang serta Berat Ikan Menggunakan YOLOv3-ResNet18	195
Suryadiputra Liawatimena, Edi Abdurahman, Agung Trisetyarso, & Antoni Wibowo	

**KLASTER: INISIATIF PEMANFAATAN KECERDASAN
ARTIFISIAL 225**

CHAPTER 19
NLP's Golden Era in Indonesia: Project BINA
On Lee 227

CHAPTER 20
Kecerdasan Artifisial dalam *Genome Sequencing*
Telly Kamelia 235

CHAPTER 21
Pemanfaatan Teknologi untuk Mendeteksi *Real Beneficiary Owner*
dalam Perspektif Perpajakan Indonesia
Fannany Priambodo & Iwan Djuniardi 249

CHAPTER 22
Studi Kasus Pemanfaatan *Electronic Nose* dan Kecerdasan Artifisial
di Indonesia
Dedy Rahman Wijaya & Riyanarto Sarno 259

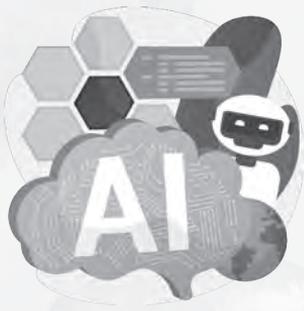
**CATATAN DISKUSI
Berdasarkan Materi Presentasi Narasumber dalam FGD
Kelompok Kerja Inovasi Pusat
Inovasi Kecerdasan Artifisial BPPT
tahun 2021 dan AIIS 2021 273**

AIS Intelligence: Meningkatkan Pengawasan Maritim Secara Real-time
Melalui Kecerdasan Artifisial dan Big Data
**Billy Barokah, Heru Permana, Laksono Widyo Isworo, Eueung
Mulyana, Muhammad Ridwan, & Haryadi Maramis** 275

Pemanfaatan AI Pada Layanan Pemerintah Terintegrasi
Cahyono Tri Birowo 283

Pemanfaatan Kecerdasan Artifisial: Regulasi Kotak Pasir (*Regulatory
Sandbox*) dalam Pengembangan Pesawat Kargo Tanpa Awak
(*Cargo Drone*) di Wilayah Kepulauan Republik Indonesia
Alexander Ludi 295

TENTANG EDITOR 305



PENGANTAR PENERBIT

Sebagai penerbit ilmiah, Penerbit BRIN mempunyai tanggung jawab untuk terus berupaya menyediakan terbitan ilmiah yang berkualitas. Upaya tersebut merupakan salah satu perwujudan tugas Penerbit BRIN untuk turut serta membangun sumber daya manusia unggul dan mencerdaskan kehidupan bangsa sebagaimana yang diamanatkan dalam pembukaan UUD 1945.

Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence ini diterbitkan sebagai diseminasi hasil kolaborasi antarentitas dalam kegiatan Artificial Intelligence Innovation Summit (AIIS 2021) sekaligus merupakan inovasi para pegiat kecerdasan artifisial di Indonesia. Artificial Intelligence Innovation Summit (AIIS 2021) kembali digelar Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) melalui Organisasi Riset Pengkajian dan Penerapan Teknologi (OR PPT) bersama Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA).

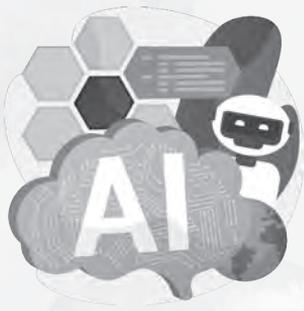
Prosiding ini terdiri atas 22 artikel yang dipetakan menjadi lima klaster bidang kecerdasan artifisial, yaitu riset industri dan hankam, layanan publik dan kesehatan, kota cerdas dan kebencanaan, ketahanan pangan dan maritim, serta klaster inisiatif pemanfaatan kecerdasan artifisial. Selain itu, ada 3 artikel yang merupakan materi presentasi dalam diskusi kelompok terpumpun (FGD) kelompok kerja inovasi Pusat Inovasi Kecerdasan Artifisial BPPT tahun 2021 dan AIIS 2021.

Harapan kami penerbitan prosiding ini dapat bermanfaat untuk masyarakat mendapatkan pengetahuan dan pencerahan tentang seluruh teknologi kecerdasan artifisial yang membantu sektor-sektor terkait dalam hal otomatisasi, alat bantu untuk menganalisis, membuat rekomendasi serta keputusan, memprediksi dan sebagainya. Akhir kata, kami mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu proses penerbitan buku ini.

Penerbit BRIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmanirrahim, Rabbish rahli sadri, Wayasirli amri, Wahlul Uqdatam millisani Yafqahu qauli. Tahun ini tepat satu tahun sejak 10 Agustus 2021 KORIKA dibentuk sebagai organisasi perkumpulan yang memiliki prinsip inklusif, profesional dan transparan, adaptif dan tangkas, independen, serta berbasis penciptaan nilai bagi semua pemangku kepentingan. KORIKA telah hadir sebagai orkestrator pemanfaatan kecerdasan artifisial di Indonesia.

Pembentukan KORIKA merupakan perjalanan berkelanjutan dari Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial Indonesia (Stranas KA) yang telah diluncurkan pada peringatan Hari Kebangkitan Teknologi Nasional 10 Agustus 2020. KORIKA merupakan hasil pemikiran kolektif dan kolaboratif dari berbagai entitas yang melengkapi komponen Quad Helix, yaitu pemerintah, industri, akademis, dan komunitas.

Sebagai wujud rasa syukur atas terlaksananya kolaborasi antarentitas ini dan sekaligus untuk merayakan inovasi para pegiat kecerdasan artifisial, disusunlah *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*. Buku ini terdiri dari hasil kajian dan liputan 23 *use cases* inovasi dan 4 inisiatif pemanfaatan kecerdasan artifisial yang kemudian dipetakan menjadi lima klaster bidang kecerdasan artifisial, yaitu riset industri dan hankam, layanan publik dan kesehatan, kota cerdas dan kebencanaan, ketahanan pangan dan maritim, serta klaster inisiatif pemanfaatan KA.

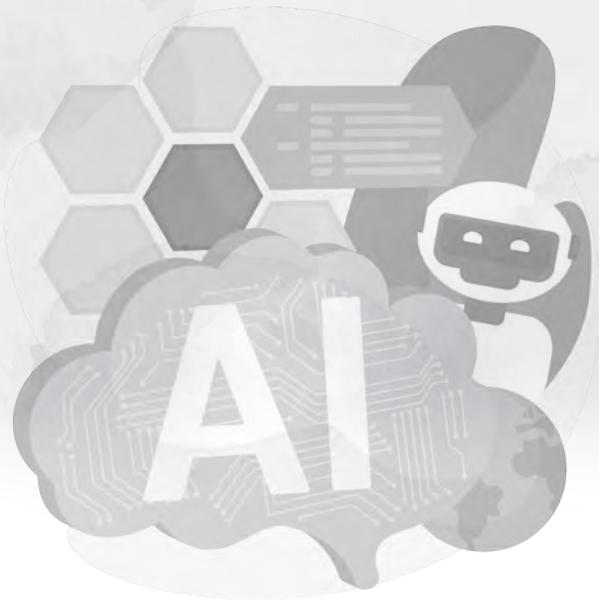
Penyusunan Buku *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence* ini mendapat dukungan sepenuhnya dari KORIKA yang bermula dari akhir PIKA-BPPT. Buku ini juga merupakan hasil dari para kontributor seluruh anggota quadhelix dan para narasumber pegiat kecerdasan artifisial di Indonesia. Kami berharap dengan adanya buku ini, masyarakat mendapatkan pengetahuan dan pencerahan tentang seluruh teknologi kecerdasan artifisial yang membantu sektor-sektor terkait dalam hal otomatisasi, alat bantu untuk menganalisis, membuat rekomendasi serta keputusan, memprediksi dan sebagainya.

Terima kasih kepada semua pihak yang sudah membantu tersusun dan terbitnya buku ini. Selamat membaca dan terinspirasi untuk mewujudkan inovasi tiada henti untuk Indonesia.

Salam Hangat,
Ketua Umum KORIKA

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'Hammam Riza', written in a cursive style.

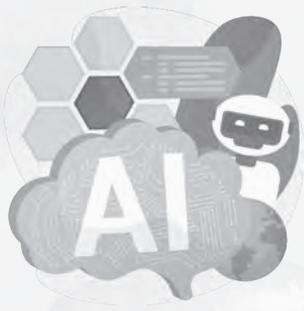
Prof. Dr. Ir. Hammam Riza, M.Sc. IPU



KLASTER: RISET INDUSTRI DAN HANKAM

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 1

BRIBRAIN: MENUJU PERBANKAN MASA DEPAN DENGAN KECERDASAN ARTIFISIAL

Muhammad Ghifary, Andika Rachman, & Indra Utoyo

PT Bank Rakyat Indonesia (Persero), Tbk.

ABSTRAK

Teknologi kecerdasan artifisial (*artificial intelligence*, AI) saat ini semakin berkembang dan banyak diadopsi di berbagai industri, termasuk industri finansial dan perbankan. AI dipadukan dengan big data mampu memberikan kemampuan prediktif pada mesin atau komputer dengan tingkat akurasi yang tinggi untuk mengamplifikasi kemampuan kognitif manusia ataupun untuk mengotomasi berbagai proses. Adopsi AI yang tepat pada domain bisnis tertentu akan meningkatkan pertumbuhan pendapatan dan menurunkan biaya operasional. Bank Rakyat Indonesia (BRI) telah mengembangkan *AI central hub* bernama **BRIBRAIN** yang berfokus pada empat domain utama, yaitu 1) customer engagement, 2) credit underwriting, 3) anti-fraud and risk analytics, dan 4) smart services and operations. Kapabilitas berbasis AI tersebut menjadi tulang punggung BRI agar menjadi perbankan “**AI-first**” yang siap bersaing dalam era industri 4.0.

Kata kunci: BRIBRAIN, perbankan, AI-first, Sabrina, Ceria, BRILink

A. PENDAHULUAN

Industri Perbankan saat ini berada pada era yang krusial. Disrupsi teknologi, perubahan perilaku konsumen, dan pandemi COVID-19 mengharuskan perbankan melakukan transformasi terhadap model bisnisnya, terutama pada aspek digital. Selama periode pandemi COVID-19, terutama tahun 2020, terlihat jelas bahwa bisnis perbankan mendapatkan tantangan yang besar dengan meningkatnya risiko kredit dan penurunan rentabilitas sebagai dampak pandemi pada sektor riil [1][2]. Namun, pada saat yang bersamaan, perbankan harus mengakselerasi tren-tren baru dalam menjalankan bisnis perbankan, misalnya digitalisasi, virtualisasi cara bekerja, kemitraan dengan berbagai ekosistem, dan fokus pada pengurangan biaya [3][4].

M. Ghifary, A. Rachman, & I. Utoyo
PT Bank Rakyat Indonesia (Persero) Tbk., e-mail: muhammad.ghifary@work.bri.co.id

© 2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
M. Ghifary, A. Rachman, and I. Utoyo, "BRIBRAIN: Menuju perbankan masa depan dengan kecerdasan artifisial,"
in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial
Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatiemena,
Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 1, pp. 3-14, doi: 10.55981/brin.668.c533
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

Dengan memanfaatkan momentum percepatan digitalisasi, teknologi kecerdasan artifisial (AI) berpeluang besar untuk mengubah bisnis model perbankan dengan peningkatan pendapatan, pengurangan biaya, dan mitigasi risiko yang signifikan. Dengan kombinasi *big data* dan AI, mesin atau komputer memiliki kemampuan prediktif pada level setara, bahkan lebih baik dari manusia, sehingga dapat meningkatkan efisiensi dan menciptakan nilai-nilai baru yang sebelumnya tidak dimungkinkan [5]. Institusi-institusi teknologi besar (BigTech) serta pemain-pemain baru FinTech sudah memanfaatkan teknologi AI untuk meningkatkan nilai produk dan layanan digitalnya. Agar tetap relevan di era digital ini, perbankan sudah semestinya juga memanfaatkan teknologi AI pada skala besar dan dengan pendekatan menyeluruh yang menjadi bagian utama dari strategi transformasi digital [6].

B. TANTANGAN ADOPSI AI PADA PERBANKAN

Industri finansial, termasuk perbankan, sudah mulai mengadopsi teknologi AI pada kasus-kasus tertentu, antara lain untuk percepatan persetujuan pinjaman dengan *credit scoring* yang akurat, autentikasi dengan biometrik, e-KYC, dan peningkatan layanan nasabah melalui asisten virtual atau *chatbot*. Namun, banyak institusi perbankan, terutama bank-bank konvensional, masih kesulitan untuk melakukan eskalasi adopsi AI ini ke seluruh organisasi [6]. Beberapa penyebabnya antara lain teknologi inti perbankan (*core banking*) dan infrastruktur data yang kurang siap, serta model operasi yang mulai tertinggal zaman.

Sejak lebih dari 30 tahun yang lalu, industri perbankan telah memanfaatkan teknologi *core banking* untuk meningkatkan efisiensi serta mengurangi pekerjaan manual operasi perbankan, seperti pencatatan data transaksi dan nasabah, perhitungan bunga simpanan dan pinjaman. Teknologi *core banking* telah menjadi standar pada perbankan global yang dibangun untuk menjaga stabilitas operasi perbankan. Namun, sistem *core banking* yang terdahulu memiliki kelemahan dari sisi skalabilitas dan fleksibilitas untuk menjawab semua kebutuhan komputasi dan pemrosesan data saat ini. Sistem tersebut sulit untuk diubah dan membutuhkan sumber daya tenaga dan waktu yang signifikan untuk pemeliharannya.

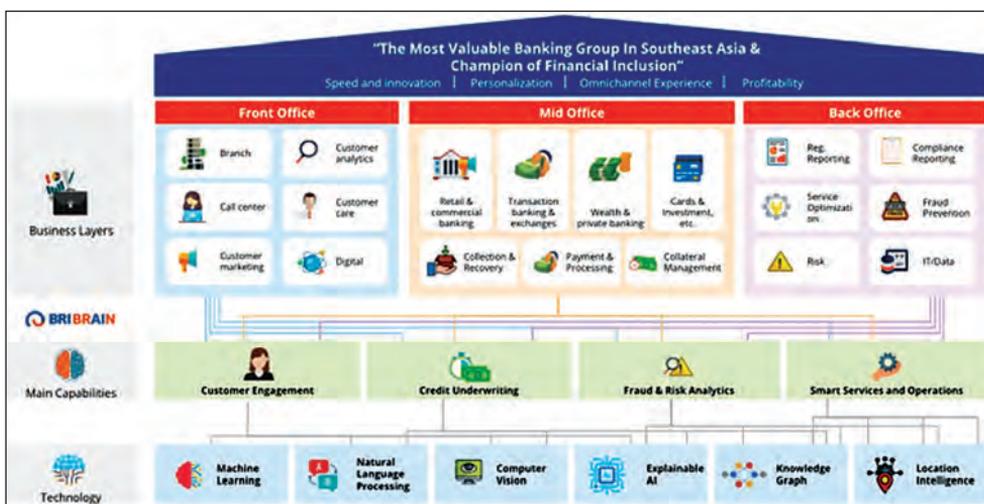
Pada aspek kesiapan data, dapat dikatakan bahwa industri perbankan memiliki aset data yang berlimpah. Permasalahan utama adalah kondisi ketersediaannya yang terfragmentasi di berbagai unit bisnis dan IT. Tanpa ketersediaan data yang tersentralisasi, sangat sulit untuk memanfaatkan potensi terbesar dari data sebagai bahan bakar untuk teknologi AI. Selain itu, pemenuhan kualitas data juga menjadi pekerjaan rumah yang besar. Pada saat yang bersamaan, penyediaan data ini harus pula memenuhi aspek keamanan dan privasi.

Oleh karena itu, diperlukan upaya yang maksimal bagi perbankan untuk memodernisasi teknologi *core banking* dan juga infrastruktur data. Kedua hal tersebut menjadi faktor pengaktif utama (*enabler*) agar teknologi AI dapat dikembangkan secara efektif. Perbankan perlu berinvestasi lebih besar pada teknologi-teknologi *core* untuk meningkatkan stabilitas, fleksibilitas, dan kecepatan. Salah satunya adalah dengan pemanfaatan teknologi *cloud*, di mana *commercial off-the-shelf* (COTS) *core banking system* (CBS) ke depan akan banyak diimplementasikan dalam lingkungan *private* dan *public cloud* [7]. Dengan kematangan pada teknologi *core*, institusi perbankan konvensional dapat bergerak menjadi institusi “**AI-first**”, yakni menjadikan teknologi AI sebagai fondasi sentral dari bisnis dan operasional perbankan.

C. BRIBRAIN: MENUJU BRI MASA DEPAN DENGAN AI

PT Bank Rakyat Indonesia Persero Tbk (BRI) merupakan salah satu bank komersial tertua dan terbesar di Indonesia yang berfokus pada keuangan mikro. Aspirasi BRI adalah menjadi *The Most Valuable Banking Group in South East Asia and Champion of Financial Inclusion*. Sejak tahun 2016, BRI terus berupaya untuk melakukan transformasi digital dalam skala masif agar senantiasa dapat melayani dan memenuhi kebutuhan keuangan masyarakat di era disrupsi digital ini. Per tahun 2021, BRI memiliki lebih dari 130 juta nasabah, 9.200 kantor cabang, 220.000 mesin ATM, dan 465.000 agen BRILink. Dengan kepemilikan aset dan jaringan yang besar di seluruh penjuru Indonesia, BRI memiliki keunggulan dari ketersediaan data sebagai bahan bakar untuk memanfaatkan teknologi AI untuk mengoptimalkan bisnis dan operasional BRI serta meminimalkan risiko.

Dalam beberapa tahun terakhir, BRI mengembangkan produk dan layanan yang dinamakan BRIBRAIN, yakni sebuah *central hub* dari solusi AI untuk berbagai



Sumber: dibuat oleh tim BRIBRAIN, Divisi Digital Banking Development and Operation, BRI

Gambar 1. Kerangka Kerja BRIBRAIN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

kebutuhan bisnis dan operasional di segala lini, mulai dari *front office*, *middle office*, hingga *back office*. BRIBRAIN berfokus pada empat domain utama yang merepresentasikan karakteristik bisnis BRI, yaitu 1) *customer engagement*, 2) *credit underwriting*, 3) *anti-fraud and risk analytics*, dan 4) *smart services and operations*. Penguatan pada domain tersebut akan bermuara pada meningkatnya pertumbuhan profitabilitas, penurunan risiko, dan efisiensi biaya bagi BRI [8].

Untuk mendukung keempat domain tersebut, BRIBRAIN mengandalkan berbagai kapabilitas teknologi AI, yaitu *machine learning* (ML), *natural language processing* (NLP), *computer vision* (CV), *explainable AI* (XAI), *knowledge graph*, dan *location intelligence*, seperti pada Gambar 1. Pilihan-pilihan teknologi tersebut saat ini dianggap relevan dan dapat diimplementasikan pada skala *enterprise* untuk mendukung domain-domain utama bisnis BRI yang telah disebutkan. Namun, perkembangan teknologi AI dewasa ini sangat dinamis dan BRIBRAIN akan terus mengadopsi teknologi-teknologi ke depan yang relevan bagi bisnis BRI.

1. *Customer Engagement*

Customer engagement berfokus pada aspek untuk membangun koneksi dan interaksi yang mendalam dengan nasabah sehingga terciptanya hubungan jangka panjang bagi nasabah dalam memanfaatkan produk dan layanan BRI, baik secara *online* maupun *offline*. Salah satu faktor penting untuk memaksimalkan *customer engagement* adalah menciptakan pengalaman nasabah yang personal (*personalized customer experience*) dalam memenuhi kebutuhannya. Lebih dari 50% nasabah perbankan secara global memercayai bahwa pengalaman yang terpersonalisasi merupakan salah satu kunci utama untuk membangun kepercayaan dan loyalitas pada bank [9].

Penggunaan AI sangat diperlukan untuk membangun *personalized customer experience*, baik untuk keperluan membantu pekerja internal, seperti tenaga pemasar, *relationship manager* (RM), dan *customer service* (CS) agar lebih produktif dalam menjalankan tugas, maupun untuk nasabah ritel (*end-user*) yang langsung mengakses platform digital BRI. Dengan memanfaatkan *big data* dan *machine learning* (ML), bank akan mampu untuk lebih memahami karakteristik, preferensi, dan perilaku nasabah agar kualitas layanan menjadi lebih optimal.

Beberapa solusi AI yang dimiliki BRIBRAIN untuk peningkatan *customer engagement*, yaitu Sabrina (CS *chatbot*) yang melayani nasabah untuk mencari informasi produk dan layanan BRI melalui media *chat* dengan bahasa yang lebih natural; *intelligent lead management* yang membantu RM untuk mengakuisisi nasabah baru, baik nasabah ritel, UMKM maupun korporasi; *product recommendation/next-best offer* untuk menawarkan produk yang tepat dengan kebutuhan; serta *churn prediction* untuk mengidentifikasi nasabah yang berpotensi untuk tidak melanjutkan penggunaan produk dan layanan sehingga dapat menentukan strategi pemasaran yang lebih efektif.

2. *Credit Underwriting*

Credit underwriting merupakan suatu proses yang digunakan bank atau institusi finansial penyedia pinjaman lainnya untuk menganalisis dan menilai apakah seseorang layak untuk diberikan pinjaman atau tidak. Proses ini biasanya dilakukan oleh tenaga ahli (*underwriter*) untuk menilai risiko kredit dari calon peminjam dengan mempertimbangkan berbagai faktor, seperti riwayat pekerjaan, penghasilan, kepemilikan aset, catatan keuangan. Prosedur yang dijalankan oleh *underwriter* memerlukan banyak pekerjaan manual yang biasanya berlangsung dalam hitungan minggu atau bulan untuk keputusan persetujuan kredit dan besaran pinjaman yang diberikan.

Akhir-akhir ini, proses *credit underwriting* dibantu oleh teknologi AI untuk mempercepat proses persetujuan kredit dan tetap menjaga risiko gagal bayar/*non-performing loan* (NPL) di level yang rendah. *Machine learning* dimanfaatkan untuk membangun model *credit scoring* yang memprediksi skor kelayakan calon debitur berdasarkan parameter-parameter dari data historis finansial yang dimilikinya. Pemanfaatan *machine learning* juga memungkinkan *credit scoring* untuk memperhitungkan sejumlah besar parameter yang beragam. Data parameter yang digunakan dapat berasal dari sumber alternatif, selain dari data finansial yang tercatat di bank, misalnya data lokasi, aktivitas di dunia maya (media sosial, *e-commerce*, dan *ride hailing*), hingga data dari industri telekomunikasi dan utilitas. Dengan besar jumlah dan keragaman data, *credit scoring* yang dibentuk oleh *machine learning* akan jauh lebih cepat dan akurat serta dapat menjangkau segmen-segmen yang selama ini tidak terjangkau dengan *credit scoring* tradisional.

Kapabilitas *credit scoring* berbasis AI menjadi salah satu fokus utama di BRIBRAIN karena luasnya cakupan bisnis pinjaman BRI, mulai dari segmen mikro dan ultra mikro, UMKM, konsumen ritel, hingga tingkat korporasi. BRIBRAIN menyediakan berbagai model *credit scoring* yang tertanam di berbagai produk dan layanan pinjaman BRI untuk meningkatkan *approval rate* dan menekan NPL. Salah satunya adalah *credit scoring* yang diimplementasikan pada Ceria, yang merupakan produk digital *buy now pay later* (BNPL) dari BRI. Dengan adanya *credit scoring* berbasis AI, proses pengajuan pinjaman melalui Ceria dapat dicapai dalam waktu kurang dari 30 menit dan juga menjaga NPL di level yang rendah.

Jenis model *credit scoring* pada BRIBRAIN tersedia dari sisi pengajuan kredit (*application scoring*), identifikasi perilaku penggunaan kredit (*behavioral scoring*), dan prediksi potensi pemulihan dan penagihan sisa pinjaman (*collection scoring*). Sebuah kajian dari *autonomous* memprediksi bahwa institusi finansial tradisional dapat menghemat biaya *credit underwriting* dan sistem penagihan sebesar 31 miliar US\$ dengan memanfaatkan teknologi AI [10].

3. *Anti-Fraud and Risk Analytics*

Penggunaan AI pada aspek *anti-fraud and risk analytics* berkaitan dengan prediksi, deteksi, pencegahan *fraud* dan ancaman *cyber security*. Kemampuan AI dalam memproses *structured* dan *unstructured data* meningkatkan kapabilitas analitik risiko dari BRI dengan memberikan kemampuan untuk mengidentifikasi risiko secara efektif dan efisien, membuat keputusan-keputusan yang lebih *data-driven*, dan mengurangi risiko bisnis dan operasional secara menyeluruh. Di BRIBRAIN, AI telah digunakan untuk mencegah kasus *fraud*, contohnya ATM *skimming*, verifikasi transaksi, *early warning system* untuk memprediksi *loan default*, dan *suspicious login*.

4. *Smart Services and Operations*

Penggunaan AI dalam area layanan dan operasional berfokus pada otomasi aktivitas-aktivitas *back office* yang biasanya banyak dilakukan secara manual sehingga tercapainya efisiensi yang optimal. Ini ditujukan terutama pada pekerjaan-pekerjaan yang sifatnya berulang dan sudah memiliki standar yang pasti. Pemanfaatan AI pada area ini antara lain dengan *robotic process automation* (RPA) sebagai pengganti proses data entri manual, misalnya dengan memanfaatkan *optical character recognition* (OCR) untuk melakukan ekstraksi informasi dari dokumen-dokumen yang bertuliskan tangan [11], AIOps untuk menyederhanakan manajemen operasional IT dan mempercepat penyelesaian masalah operasional yang muncul [12], pemanfaatan model prediktif sebagai *routing engine* untuk mengelola permintaan dan keluhan nasabah yang masuk ke sistem, dan sebagainya.

D. STUDI KASUS LAYANAN BRIBRAIN

Sejak tahun 2017 BRI telah melakukan implementasi teknologi AI melalui BRIBRAIN dengan beberapa studi kasus yang akan dijelaskan secara terperinci berikut ini.

1. Pencegahan ATM *Skimming* dengan *Machine Learning*

ATM *skimming* merupakan salah satu bentuk penipuan (*fraud*) dengan cara menyalin informasi nasabah pada *strip magnetic* kartu debit atau kredit yang dilakukan menggunakan mesin *skimmer* yang ditempel pada slot kartu mesin ATM [13]. *Skimmer* biasa dibuat menyerupai mulut slot kartu ATM sehingga sekilas terlihat sama. Saat kartu dimasukkan ke ATM dan melalui *skimmer* yang ditempelkan tersebut, maka *skimmer* akan menyalin informasi dari kartu tersebut. ATM *skimming* merupakan salah satu modus *fraud* yang paling sering terjadi pada nasabah perbankan.

Untuk mengatasi ATM *skimming*, tim BRI terus berupaya untuk melakukan patroli di berbagai ATM secara intensif dan memasang alat anti *skimming*. Selain itu, sistem pencegahan *skimming* juga dilengkapi dengan solusi BRIBRAIN berupa

model *behavioural scoring* berbasis *machine learning* yang mempelajari pola transaksi tarik tunai yang dilakukan oleh masing-masing nasabah BRI. Model tersebut mendeteksi adanya transaksi yang mencurigakan dan kemudian melaporkan anomali atau keanehan tersebut dalam waktu lebih kurang 15 detik.

Model BRIBRAIN untuk mendeteksi *skimming* tersebut dibangun dengan menggunakan algoritma XGBoost atau *extreme gradient boosting* [14]. Model ini mempelajari data transaksi yang terdiri dari kurang lebih 100.000 baris dan diuji dengan menggunakan data transaksi berisi 20.000 baris. Dari hasil pengujian, didapatkan bahwa tingkat akurasi model pendeteksian *skimming* ini mencapai 86% dengan *false positive ratio* (FPR) atau kemungkinan kesalahan prediksi 9%. Hal ini menunjukkan model BRIBRAIN dapat bekerja dengan baik untuk memerangi risiko kerugian nasabah akibat ATM *skimming*. Selain itu, kinerja dari model ini terus dimonitor, ditinjau, dan diperbarui secara berkala untuk menjaga efektivitas pendeteksian *skimming* pada masa yang akan datang.

2. Sabrina (Smart BRI New Assistant)

Sabrina adalah platform *chatbot* yang disediakan BRI untuk melayani nasabah melalui percakapan teks guna menginformasikan mengenai lokasi ATM, kantor cabang, produk dan layanan BRI, kegiatan BRI, dan layanan bantuan lainnya [15]. *Sabrina* dikembangkan dengan menggunakan teknologi *natural language processing* (NLP), salah satu cabang ilmu AI, yang memungkinkan *Sabrina* untuk dapat berkomunikasi dalam bentuk bahasa natural selayaknya percakapan antarmanusia. NLP adalah ilmu multidisiplin yang mengombinasikan statistik, *machine learning*, dan komputasi linguistik sehingga teknologi ini dapat memahami bahasa manusia dalam bentuk teks atau suara.

Keunggulan *Sabrina* dibandingkan dengan operator manusia bukan hanya pada layanannya yang 24 jam, tetapi juga pada kemampuan menjawab ratusan pertanyaan pada waktu yang bersamaan dan secara konsisten, serta fasilitas pemrograman untuk personalisasi sesuai dengan karakter konsumen. Jika dikonversikan, *Sabrina* saat ini mampu memberikan layanan yang setara dengan 25 operator manusia pada layanan konsumen. *Sabrina* terus dikembangkan agar ke depan mampu memberikan layanan setara dengan 68 operator manusia.

Alur kerja *Sabrina* secara umum dapat dilihat pada Gambar 2. Tujuan utama dari *Sabrina* adalah untuk dapat memberikan respons dan jawaban yang relevan sebanyak-banyaknya kepada pengguna sehingga meminimalkan interaksi antarpengguna dengan petugas *customer service* (*live agent*). *Sabrina* akan menghubungkan pengguna dengan *live agent* apabila ada intensi yang tidak dipahami oleh *Sabrina*. Kondisi di mana *Sabrina* tidak memahami maksud pengguna dan mengalihkan percakapan ke *live agent* dikenal dengan istilah *fallback*. *Chatbot* yang handal memiliki angka *fallback rate* yang kecil. Kemampuan NLP dari *Sabrina* terus dilatih dengan menggunakan



Sumber: dibuat oleh tim BRIBRAIN, Divisi Digital Banking Development and Operation, BRI

Gambar 2. Alur Kerja Sabrina *ChatBot*

data tekstual untuk meminimalkan *fallback rate*. Pada 2021, Sabrina merupakan *top 5 chatbot* di Indonesia berdasarkan peringkat *Bank Service Excellence Monitor (BSEM)* yang dikeluarkan oleh Marketing Research Indonesia (MRI) dengan kenaikan skor sebesar 8,06% dari tahun sebelumnya.

3. *Credit Scoring* pada Digital Lending Ceria

Credit scoring merupakan metode analisis statistik yang sudah sejak lama dilakukan oleh institusi bank atau keuangan lainnya untuk menilai kelayakan kredit dari calon peminjam. Masing-masing calon peminjam akan diberikan skor, biasanya dalam rentang 300–850, semakin besar skor menunjukkan semakin besarnya potensi calon nasabah tersebut diberikan pinjaman. *Credit scoring* tradisional biasanya mengandalkan data historis finansial dengan parameter jumlah dan saldo rekening, riwayat pembayaran pinjaman sebelumnya, jumlah total pinjaman, dan sebagainya.

Pada konteks aplikasi digital lending *Buy Now Pay Later (BNPL)* yang dapat diakses via ponsel pintar, seperti Ceria, diperlukan *credit scoring* yang agak berbeda dari yang dilakukan pada produk-produk pinjaman tradisional. Pertama, jangkauan calon nasabah pada *digital lending* berpotensi lebih besar, mencakup segmen nasabah *underbanked* dan *unbanked* di mana belum memiliki atau belum tercatatnya riwayat finansial dari yang bersangkutan. Kedua, dibutuhkan proses persetujuan kredit yang jauh lebih cepat dengan risiko seminimal mungkin agar terjaganya pengalaman nasabah mengajukan pinjaman melalui platform *digital lending*.

Untuk menjawab tantangan-tantangan tersebut, Ceria memanfaatkan *credit scoring* layanan BRIBRAIN berbasis *machine learning* yang memadukan data finansial dan data alternatif untuk membentuk *credit scoring* dengan akurasi dan keandalan yang tinggi. Model *credit scoring* yang dibentuk terdiri dari sejumlah besar parameter hasil kombinasi data finansial dan alternatif yang berkontribusi terhadap keandalan model. *Explainable AI* (XAI) juga digunakan untuk memahami atau membedah kompleksitas model *credit scoring* berbasis *machine learning* ini yang bermanfaat bagi *stakeholders* terkait untuk mengambil keputusan pada berbagai konteks. Dengan adanya model *credit scoring* ini, proses pengajuan pinjaman pada Ceria dapat dilakukan dalam waktu kurang dari 30 menit dengan level NPL yang rendah di bawah standar industri.

4. Sistem Rekomendasi Agen BRILink

BRILink merupakan layanan lakupandai yang digerakkan oleh berbagai agen yang bekerja sama dengan BRI untuk melayani nasabah tanpa harus datang ke kantor cabang [17]. Para agen dilengkapi dengan BRILink SuperApps dan EDC untuk mengakses berbagai fasilitas perbankan dan/atau layanan keuangan lainnya secara digital. BRILink merupakan salah satu upaya BRI untuk meningkatkan inklusi finansial hingga ke akar rumput melalui pendampingan oleh agen (dalam rangka peningkatan literasi finansial) dan juga digitalisasi.

Salah satu tantangan yang dihadapi adalah bagaimana BRI, melalui Petugas Agen BRILink (PAB) yang merupakan *account officer/relation manager* pada kantor cabang atau wilayah terdekat, dapat memilih dan mengakuisisi agen BRILink dengan cepat dan tepat. Agen-agen yang terpilih diharapkan mampu melayani nasabah di sekitarnya secara optimal sehingga transaksi-transaksi keuangan melalui BRILink SuperApps atau EDC terus meningkat.

Terdapat dua masalah yang sering terjadi di lapangan, yaitu sulitnya untuk mengakuisisi calon agen yang langsung bersedia menjadi agen dan memastikan bahwa agen yang terakuisisi benar-benar produktif. Di sinilah BRIBRAIN berperan dalam menyediakan solusi bagi PAB untuk meningkatkan kesuksesan akuisisi agen BRILink. Solusi tersebut merupakan sebuah fitur sistem rekomendasi calon agen BRILink yang dapat diakses oleh PAB melalui ponsel pintarnya. Dengan sistem rekomendasi tersebut, PAB dimudahkan untuk memutuskan siapa saja yang perlu dikunjungi pada area di sekitarnya pada waktu tertentu beserta informasi skor potensi akuisisi dan penjelasan rinci mengapa calon agen tersebut direkomendasikan seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3.

Daftar calon agen BRILink yang berpotensi untuk diakuisisi dibentuk oleh sebuah model BRIBRAIN, sebuah model prediksi *machine learning* dibentuk dari data nasabah yang melingkupi informasi historis mengenai simpanan dan pinjaman, informasi geografis beserta demografis. Luaran dari model prediksi tersebut merupa-



Sumber: dibuat oleh tim BRIBRAIN, Divisi Digital Banking Development and Operation, BRI

Gambar 3. Sistem Rekomendasi Akuisisi Agen BRILink

kan sebuah skor dengan rentang 0–100, di mana semakin tinggi skor menunjukkan semakin berpotensi nasabah tersebut menjadi agen BRILink yang produktif. Model tersebut dilatih dengan menggunakan algoritma *light gradient boosting machines* (LGBM) [18] memanfaatkan 500.000 sampel dan >50 atribut data nasabah yang mampu memberikan keseimbangan antara kecepatan dalam memproses data yang besar dan akurasi yang tinggi.

Agar memberikan pengalaman pengguna yang optimal bagi PAB, model prediksi tersebut dilengkapi dengan *Explainable AI* (XAI) untuk memberikan interpretasi teknis lebih lanjut terhadap skor prediksi yang dikeluarkan [19]. Interpretasi teknis tersebut lalu dikonversi menjadi penjelasan deskriptif yang terintegrasi pada antarmuka aplikasi sehingga menjadi hal yang dapat ditindaklanjuti oleh PAB.

Berdasarkan hasil uji coba di lapangan dengan metode *A/B Testing* [20] selama periode Desember 2021 hingga Maret 2022, sistem rekomendasi agen BRILink mampu meningkatkan produktivitas PAB, yaitu seberapa banyak *break even point* (BEP) yang dicapai terhadap agen-agen yang diakuisisi, lebih kurang sebanyak dua kali lipat dibandingkan PAB yang belum menggunakan sistem rekomendasi. Per Januari–April 2022, tercatat *sales volume* sebesar Rp39,4 triliun dari total agen BRILink yang terakuisisi dengan bantuan sistem rekomendasi BRIBRAIN.

E. KESIMPULAN

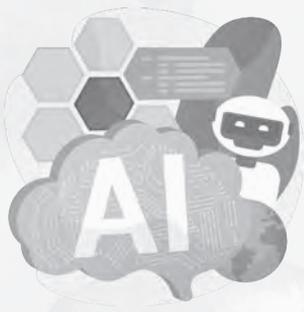
Adopsi pemanfaatan teknologi AI pada industri perbankan akan terus bertumbuh dan menciptakan dampak yang disruptif pada model bisnis perbankan. Kombinasi antara teknologi *big data* dan AI mampu menawarkan cara-cara yang baru pada aspek pengalaman nasabah berinteraksi dengan produk dan layanan perbankan yang berujung pada peningkatan pendapatan, penguatan manajemen risiko sehingga menghindari kerugian finansial dalam jumlah besar, dan menciptakan efisiensi proses dan biaya di berbagai lini.

Pada masa mendatang, daya saing produk dan layanan BRI akan sangat tergantung pada keberhasilan pembangunan fondasi dan proses dari BRIBRAIN. Oleh karena itu, BRIBRAIN menjadi bagian utama dari strategi transformasi digital BRI yang dirancang untuk memiliki empat domain utama teknologi AI yang menjadi karakteristik unik dari industri perbankan, yaitu *customer engagement*, *credit underwriting*, *anti-fraud and risk analytics*, serta *smart services and operations*. Kapabilitas-kapabilitas berbasis AI tersebut menjadi tulang punggung bagi BRI agar sukses bertransformasi menjadi perbankan “**AI-first**” yang siap bersaing di era industri 4.0.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] H. T. Budiman. 2021. The state of the Indonesian banking sector – challenges and opportunities. [PowerPoint slides]. Available: <https://perbanas.id/duaribu19/wp-content/uploads/2021/06/Materi-CEO-Lectures-Perbanas-Institute-01072021.pdf>
- [2] Otoritas Jasa Keuangan, “Laporan profil industri perbankan triwulan IV 2020,” 2021. Accessed: November 2021 [Online]. Available: <https://www.ojk.go.id/id/kanal/perbankan/data-dan-statistik/laporan-profil-industri-perbankan/Documents/LAPORAN%20PROFIL%20INDUSTRI%20PERBANKAN%20TRIWULAN%20IV%202020.pdf>
- [3] McKinsey & Company, “The state of the AI in 2020,” November 17, 2020. Accessed: Oktober 2022 [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/business-functions/mckinsey-analytics/our-insights/global-survey-the-state-of-ai-in-2020>
- [4] A. Celner dan M. Shiling. “2021 Banking and capital market outlook: Strengthening resilience, accelerating transformation.” Deloitte Insights. Accessed: November 2021 [Online]. Available: <https://www2.deloitte.com/us/en/insights/industry/financial-services/financial-services-industry-outlooks/banking-industry-outlook-2021.html>
- [5] R. J. McWaters, “The new physics of financial services: Understanding how artificial intelligence is transforming the financial ecosystem,” in *World Economic Forum*, 2018. [Online]. Available: https://www3.weforum.org/docs/WEF_New_Physics_of_Financial_Services.pdf
- [6] McKinsey & Company, “Building the AI bank of the future,” 2021. Accessed: Oktober 2022 [Online]. Available: <https://www.mckinsey.com/-/media/mckinsey/industries/financial%20services/our%20insights/building%20the%20ai%20bank%20of%20the%20future/building-the-ai-bank-of-the-future.pdf>

- [7] V. D’Orazio, “Core banking hot spot: Moving the core into the cloud,” Gartner, Inc – IDG00752291, 2021.
- [8] J. Weiss, “Digital-outcome-driven metrics for banking,” Gartner, Inc – IDG00752291, 2021.
- [9] O. Arab. “Reimagining banking’s customer experience for the digital Era.” Aithority AI Technology Insight. Accessed: November 2021. [Online]. Available: <https://aithority.com/technology/financial-services/reimagining-bankings-customer-experience-for-the-digital-era>
- [10] K. Wiggers. “Directly raises \$20 million to improve customer service with AI.” Venture Beat.com. Accessed: November 2021 [Online]. Available: <https://venturebeat.com/2020/01/28/directly-raises-20-million-to-inject-ai-into-customer-service/>
- [11] Bain & Company, Inc. dan NICE RPA, “Transforming Banking with Smart Automation,” 2019. Accessed: November 2021 [Online]. Available: https://www.bain.com/contentassets/32e2254f6dbe4f2cb32f48c4c2530c39/bain_playbook_transforming_banking_with_smart_automation.pdf
- [12] W.-K. Chen, Linear Networks and Systems, Belmont, CA: Wadsworth, 1993, pp. 123–135.
- [13] G. K. A. Perdana, “Perangi ATM skimming dengan machine learning.” Digital BRI.co.id. Accessed: November 2022 [Online]. Available: <https://digital.bri.co.id/article/perangi-atm-skimming-dengan-machine-learning-4bcd>
- [14] T. Chen dan C. Guestrin, “XGBoost: A scalable tree boosting system,” in *Proc. 22nd SIGKDD Conference on Knowledge Discovery and Data Mining*, 2016.
- [15] PT BRI Persero, “Sabrina”. Accessed: November 2022 [Online]. Available: <http://bri.co.id/sabrina>
- [16] R. Nicole, “The last word on decision theory,” *J. Computer Vision* (to be published).
- [17] PT BRI Persero, “BRILink”. Accessed: Nov 2022 [Online]. Available: <https://bri.co.id/brilink>.
- [18] G. Ke dkk., “LightGBM: A highly efficient gradient boosting decision tree,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 2017.
- [19] S. M. Lundberg dan S. Lee, “A unified approach to interpreting model predictions,” *Advances in Neural Information Processing Systems*, 30, 2017.
- [20] K. Ron dkk., “Trustworthy online controlled experiments: a practical guide to A/B testing,” Cambridge University Press, 2000.



CHAPTER 2

INDUSTRIAL AI: TEXTILE DEFECT DETECTION SYSTEM

**Muhammad Aldo Aditiya Nugroho, Jeffry Khosasi, Christoporos Deo Putratama,
Saqfi Ahmad Rabbani, Dariel Valdano, & Nanang Cahyadi**

Riset AI/PT Riset Kecerdasan Buatan

ABSTRAK

Textile Defect Detection System adalah sistem yang dipasang pada mesin inspeksi—mesin dengan kain yang terus berjalan dan biasanya akan ada operator yang memeriksa cacat pada kain tersebut—guna mendeteksi jenis cacat secara otomatis. Catatan hasil cacat yang terdeteksi dapat digunakan untuk beberapa hal, seperti penentuan *grade* dari kain atau penentuan masalah pada mesin penenun kain. Sistem ini dikembangkan dengan teknologi berbasis *computer vision*. Proses yang harus dilalui untuk membuat sistem ini adalah instalasi lingkungan penangkap gambar, seperti lampu, kamera, dan *encoder*. Selanjutnya, dilakukan pengumpulan dataset kain dengan semua jenis cacat dan anotasi dataset sembari melakukan eksplorasi model yang akan digunakan. Setelah itu, dilakukan *training* model sampai model mendapat akurasi yang diinginkan. Terakhir, model tersebut di-*deploy* pada server. *Textile Defect Detection System* cukup efektif dalam membantu mempercepat proses inspeksi karena tidak dibutuhkan waktu istirahat dan tidak memerlukan waktu libur. Terlebih, akurasi dari sistem ini dapat dikembangkan, bahkan lebih dari inspeksi yang dilakukan oleh manusia.

Kata kunci: deteksi cacat kain, *deep learning*, *computer vision*, industri tekstil

A. PENDAHULUAN

Industri tekstil merupakan salah satu dari 5 industri yang difokuskan oleh Kementerian dalam peta jalan (*roadmap*) *Making Indonesia 4.0*. Hal ini karena industri tekstil menjadi salah satu industri yang berkontribusi terbesar terhadap kenaikan PDB 2017–2018 [1]. Pandemi Covid-19 menyebabkan kontraksi industri tekstil pada kuartal I/2021 sebesar -13,28% [2]. Untuk turut membantu pemulihan pasca-Covid, Riset AI percaya bahwa dibutuhkan peningkatan efisiensi agar industri tekstil dapat kembali menjadi titik kuat perindustrian Indonesia. Kecerdasan artifisial diharapkan dapat menjadi *enabler* untuk membantu industri tekstil meningkatkan

M. A. A. Nugroho, J. Khosasi, Ch. D. Putratama, S. A. Rabbani, D. Valdano, & N. Cahyadi
PT Riset Kecerdasan Buatan, e-mail: aldoan100@gmail.com

@ 2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
M. A. A. Nugroho, J. Khosasi, Ch. D. Putratama, S. A. Rabbani, D. Valdano, and N. Cahyadi, "Industrial AI: Textile defect detection system," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawati, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 2, pp. 15-38, doi: 10.55981/brin.668.c534
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

mutu dalam bersaing pada pasar global. Peningkatan kualitas sumber daya manusia dapat dimaksimalkan dengan mengalihkan pekerjaan yang bersifat repetitif pada teknologi kecerdasan artifisial.

Beberapa tantangan yang harus dihadapi untuk mengembangkan produk kecerdasan artifisial dalam konteks kolaboratif industri adalah sebagai berikut.

1. Diperlukan keahlian (*expertise*) bisnis sesuai konteks industri terkait agar implementasi solusi AI tepat guna dalam menyelesaikan masalah yang ada;
2. Diperlukan data dalam jumlah banyak;
3. Diperlukan lingkungan untuk melakukan iterasi riset;

Oleh karena itu, Riset AI bermitra dengan pemain dalam industri tekstil, yakni Sinaran Denim. Perusahaan produksi kain denim yang sudah berdiri sejak tahun 1992 ini memiliki pabrik di daerah Majalaya, Bandung, dan sudah mempekerjakan ratusan operator untuk mengoperasikan pabrik dalam keseharian.

B. STUDI LITERATUR

Berikut ini studi literatur terkait produk pendeteksi cacat pada tekstil.

1. Advantech

Pengembangan produk menggunakan model kecerdasan buatan dan diintegrasikan dengan lengan robot untuk memperbaiki cacat pada kain saat cacat ditemukan. Perbedaan material kain akan diproses menggunakan model kecerdasan buatan yang berbeda [3].

2. BMSvision

Sistem diterapkan pada proses tenun dan terintegrasi dengan mesin tenun. Saat ditemukan cacat pada kain, sistem akan memberhentikan mesin tenun, menyalakan lampu peringatan, dan menampilkan tempat cacat pada layar [4].

Perkembangan teknologi *artificial intelligence* memunculkan inovasi untuk menerapkan implementasi model AI pada proses industri, khususnya deteksi cacat pada kain. Berbagai riset dan penelitian menggunakan *deep learning* di bidang *computer vision* untuk mendeteksi keberadaan cacat pada berbagai jenis kain.

Pada 2012, Malek [5] melakukan eksperimen untuk mendeteksi cacat pada kain secara otomatis dalam proses industri tekstil dengan menggunakan kamera. Pada 2018, Zhang dkk. [6] menggunakan YOLO-v2 untuk mendeteksi cacat pada 276 gambar kain. Tahun 2019, Li dkk. [7] mendesain sebuah *compact network* sebagai detektor cacat pada kain dalam proses industri dengan ukuran model yang kecil. Guan dkk. [8] menggunakan model VGG untuk mengklasifikasi cacat pada kain. Wei dkk. [9] menggunakan Faster R-CNN berbasis VGG untuk dapat mendeteksi cacat pada kain. Silvestre-Blanes dkk. [10] membuat dataset AITEX dengan menggunakan

line-scan kamera dan pembuatan aplikasi untuk anotasi cacat pada kain. Pada 2020, Peng dkk. [11] membuat PRAN-Net yang teroptimasi untuk mendeteksi cacat pada kain berdasarkan berbagai jenis ukuran cacatnya yang diperoleh dari *bounding box* dari dataset.

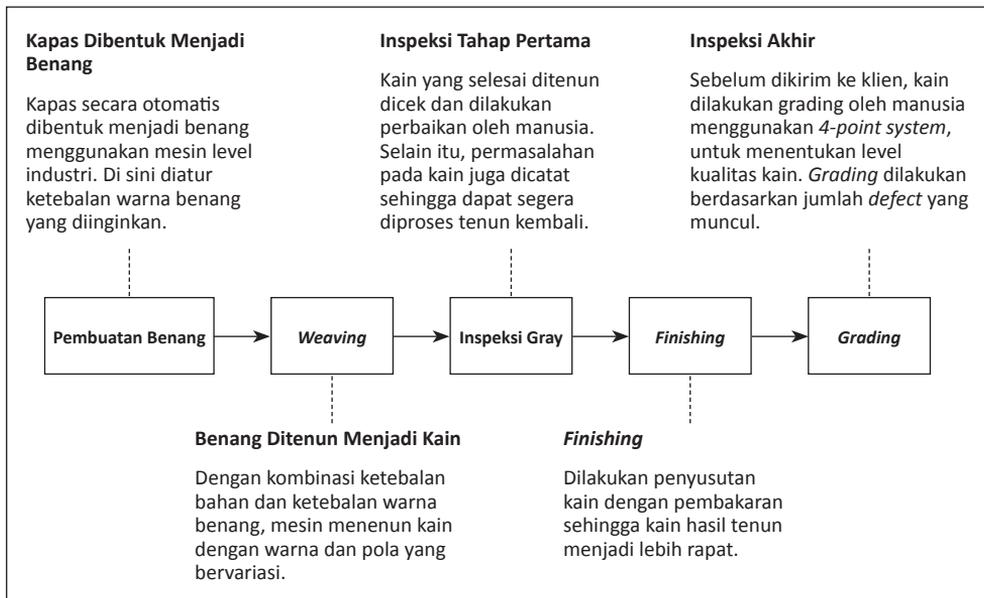
C. METODOLOGI PENELITIAN

Tahapan yang dilakukan untuk melakukan penelitian ini sebagai berikut.

1. Identifikasi Masalah

Untuk mengetahui masalah pada industri tekstil pada pabrik Sinaran Denim, perlu diketahui terlebih dahulu proses produksi tekstil di sana. Gambar 1 adalah diagram yang menjelaskan proses produksi tekstil di pabrik Sinaran.

Proses pertama dalam produksi pabrik adalah pembuatan benang. Kapas secara otomatis dibentuk menjadi benang menggunakan mesin standar industri. Pada proses inilah ketebalan dan warna benang diatur sesuai keinginan. Kemudian, proses pembuatan benang dilanjutkan ke gudang mesin penenun. Mesin dapat menenun benang dengan kombinasi ketebalan bahan dan warna sesuai dengan pesanan pelanggan. Kain denim yang dihasilkan lalu diperiksa dan dilakukan perbaikan cacat manual oleh operator. Cacat yang terdapat pada kain mengindikasikan masalah pada mesin tenun sehingga dibuatkan catatan cacat oleh operator untuk perbaikan mesin tenun. Setelah selesai pemeriksaan, dilakukan pembakaran pada kain sehingga menyebabkan rongga benang pada kain merapat dan ukuran kain menyusut. Tahap



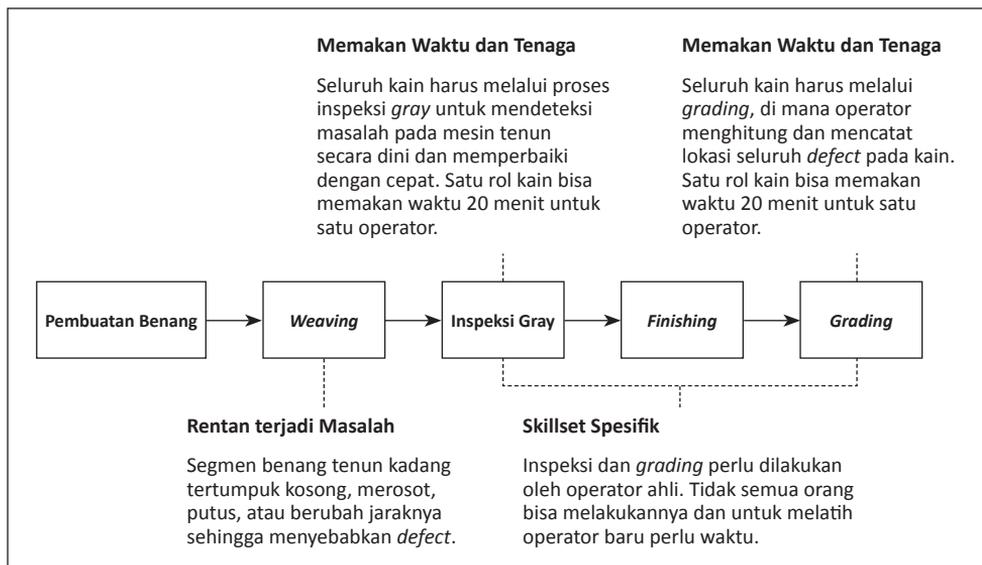
Gambar 1. Proses Produksi Tekstil

Buku ini tidak diperjualbelikan.

ini disebut juga sebagai *finishing*. Hasil dari tahap *finishing* dilanjutkan ke ruang inspeksi *finishing* untuk diperiksa manual seperti sebelumnya. Tujuan pemeriksaan ini adalah menentukan *grade* dari kain dan siap untuk diantar ke konsumen.

Dalam beberapa proses produksi tekstil di pabrik Sinaran Denim, terdapat beberapa tantangan. Gambar 2 menjelaskan tantangan yang dihadapi dari proses produksi tekstil di Sinaran Denim.

Pada mesin tenun sering kali terjadi kesalahan. Saat penenunan, segmen benang tenun kadang bertumpuk, kosong, merosot, putus, atau berubah-ubah jaraknya sehingga menyebabkan cacat pada kain. Selanjutnya, pada proses inspeksi *gray* dibutuhkan waktu 20 menit untuk setiap gulungan kain, sedangkan dibutuhkan proses yang cepat sehingga mesin tenun dapat diperbaiki dan tidak menghasilkan cacat yang lebih banyak lagi. Hal ini juga mirip dengan proses *grading* yang memerlukan waktu 20 menit untuk setiap operator menghitung dan mencatat lokasi seluruh cacat pada kain. Kedua inspeksi ini juga membutuhkan keahlian khusus untuk mengidentifikasi cacat pada kain. Proses-proses yang memiliki tantangan yang menjadi objek penelitian untuk diselesaikan.

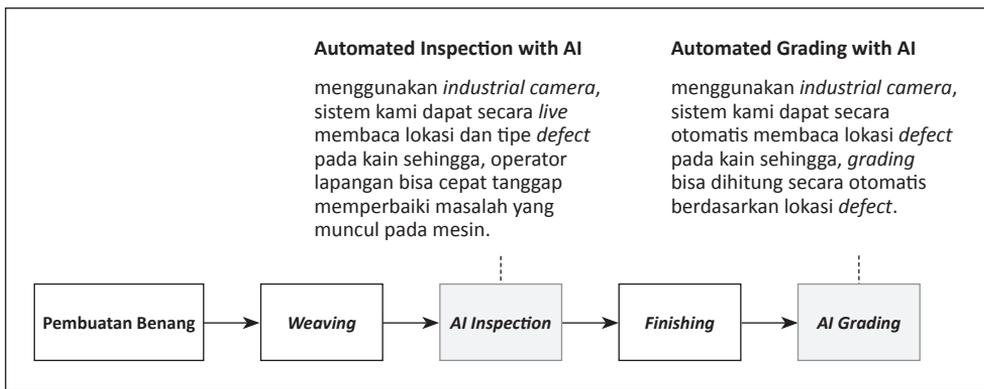


Gambar 2. Tantangan dalam Proses Produksi Tekstil

2. Identifikasi Solusi

Tantangan-tantangan pada proses produksi tekstil dapat diselesaikan dengan *computer vision* yang merupakan bagian dari kecerdasan artifisial. Kecerdasan artifisial dapat diimplementasi pada proses inspeksi pada pabrik (Gambar 3). Pada inspeksi *gray*, dengan menggunakan *industrial grade camera*, sistem akan membaca secara *live* lokasi dan tipe cacat pada kain. Hal ini memungkinkan operator bisa dengan cepat memperbaiki masalah yang terjadi pada mesin tenun.

Pada inspeksi *finishing* atau *grading*, serupa dengan alat yang dipasang pada inspeksi *gray*, sistem dapat secara otomatis membaca lokasi cacat pada kain dan dapat menentukan *grade* secara otomatis berdasarkan panjang dan lokasi cacat.



Gambar 3. Identifikasi Solusi dengan Kecerdasan Artifisial

3. Rancangan Komponen Sistem

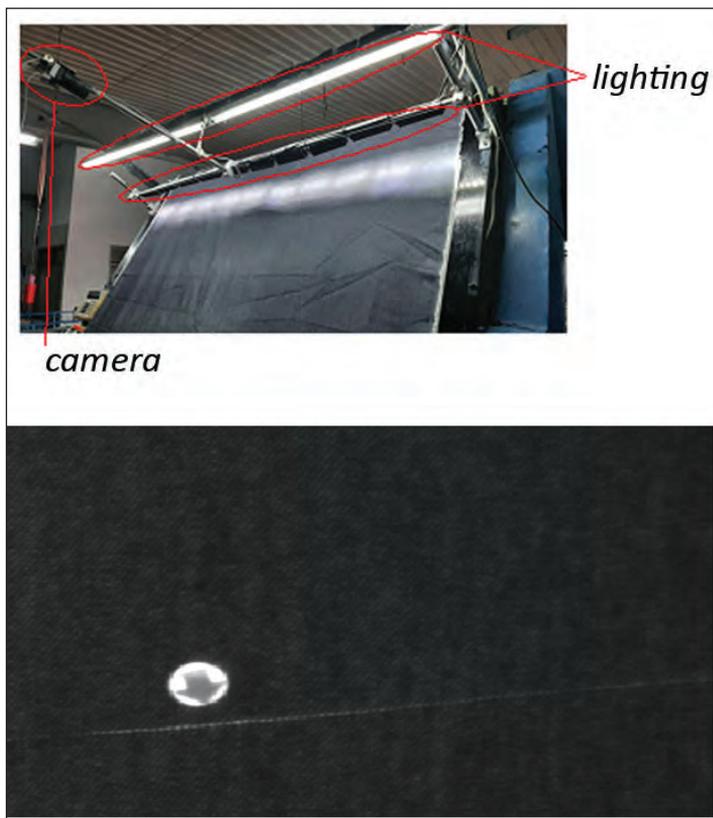
Berikut ini komponen sistem yang harus ada dalam pembuatan sistem deteksi cacat pada tekstil.

- Infrastruktur data
Membangun lingkungan penangkapan gambar kain dan penyimpanan.
- Infrastruktur riset
Membangun lingkungan untuk *training* model *machine learning*.
- Sistem deteksi cacat dan aplikasi interaktif
Mengembangkan sistem untuk penggunaan model hasil *training* dan integrasi dengan aplikasi interaktif.
- Infrastruktur *deployment*
Menyiapkan infrastruktur untuk menjalankan sistem di pabrik.

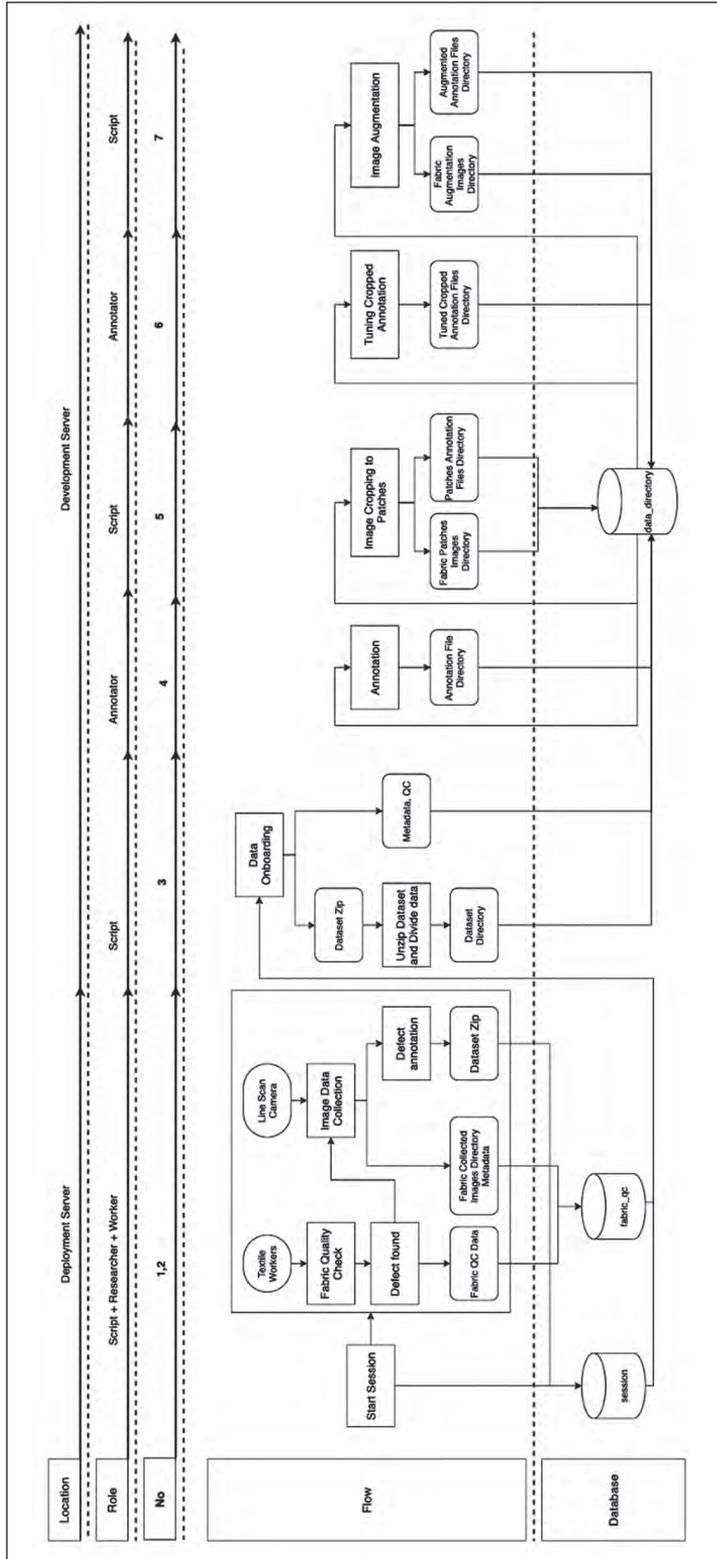
4. Rancangan Alur Pengumpulan dan Persiapan Dataset

Pada mesin inspeksi *gray* di pabrik, dipasang *line scan camera*. Kamera ini digunakan untuk mengumpulkan data dan nanti akan digunakan sebagai pendeteksi cacat juga. Alur dataset diawali dengan operator akan memeriksa kain dengan biasanya didampingi dengan tim riset. Saat cacat ditemukan, operator akan memberitahu tim riset untuk mengambil gambar dengan kamera dan langsung akan melakukan anotasi cacat sesuai dengan jenis cacatnya (Gambar 4). Setelah satu rol kain selesai diperiksa, tim riset akan meminta catatan cacat dan melakukan kompresi zip pada gambar yang telah dikumpulkan, lalu disimpan pada *database*.

Setelah itu, akan ada *script* yang secara otomatis melakukan transfer data gambar dari *database* pabrik ke *database* riset, lalu *script* akan melakukan *cropping* gambar ke beberapa ukuran sesuai dengan input yang ingin dilakukan *training*. Setelah itu, akan dilakukan *tuning* anotasi untuk gambar yang sudah di-*crop*. Terakhir, akan dilakukan augmentasi pada gambar untuk menambah jumlah dataset. Gambar 5 menjelaskan alur dari data yang didapat beserta keterangan aktor yang akan bertanggung jawab atas data pada proses tertentu.

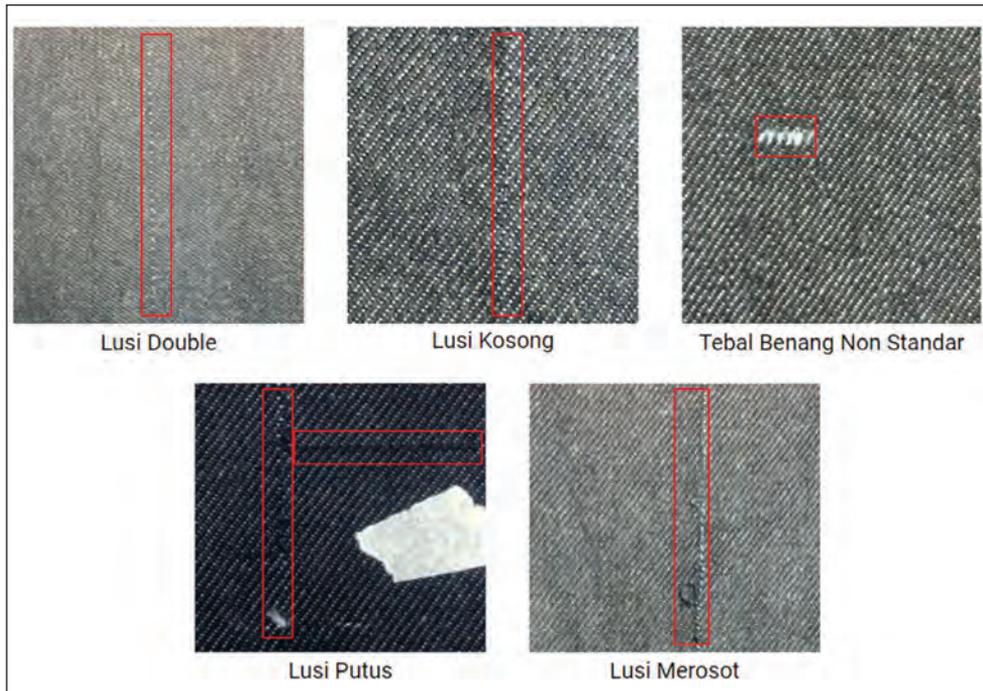


Gambar 4. Hasil Gambar *Line Scan Camera* pada Kain Denim



Gambar 5. Hasil Gambar *Line Scan Camera* pada Kain Denim

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 6. Contoh Anotasi Cacat dengan Kelasnya

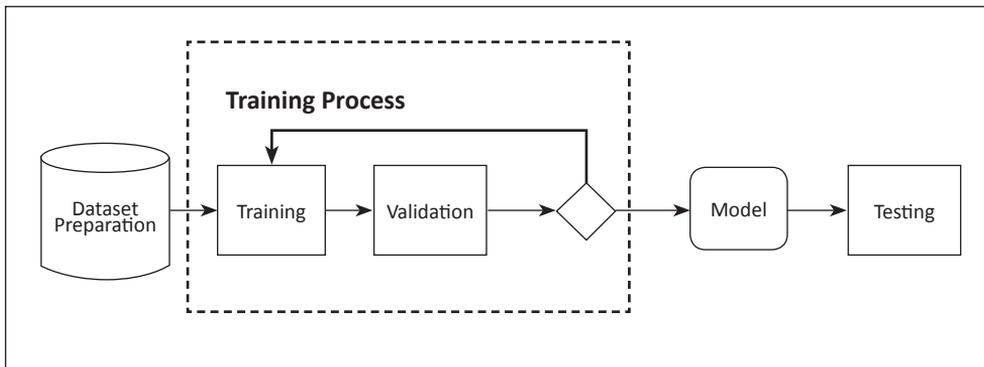
5. Alur Eksperimen *Machine Learning*

Cacat pada kain dideteksi dengan memasukkan input gambar kain ke sebuah model *machine learning* yang telah di-*training* dengan dataset gambar kain. Model *machine learning* yang dipakai menggunakan teknologi berbasis *convolutional neural network* (CNN) yang berfungsi mendapatkan fitur dari gambar atau citra pada kain dengan mudah. *Neural network* (NN) merupakan pemodelan dari cara kerja otak manusia dan NN itu sendiri adalah kumpulan *layers* yang saling terhubung menyerupai sebuah neuron yang keluarannya terhubung ke fungsi non-linear. Kumpulan dari NN yang tersusun banyak disebut *deep neural network* (DNN), dan supaya DNN bisa mempelajari dataset, metode yang digunakan disebut *deep learning* (DL).

Jenis-jenis model *deep learning*, seperti *classification model*, *object detection*, dan *image segmentation* bisa digunakan untuk mendeteksi cacat pada kain. *Classification model* digunakan untuk menentukan apakah sebuah gambar kain memiliki cacat atau tidak. *Object detection model* digunakan untuk menentukan lokasi *bounding box* dari cacat yang ada pada kain, sementara *image segmentation* model digunakan untuk memperoleh lokasi detail dari cacat itu sendiri pada sebuah kontur yang tertutup di sebuah gambar.

Hingga kini, banyak sekali model *deep learning* berbasis CNN yang bisa diadopsi untuk kebutuhan mandiri. Hal ini karena *training* model *deep learning* membutuhkan dataset yang sangat banyak dan komputasi yang sangat berat. Pretrain Model *deep learning* atau *feature extractor* pada model tersebut digunakan untuk mempelajari dataset yang jumlahnya relatif sedikit. Langkah selanjutnya adalah menggunakan pretrain model ini sebagai modal awal untuk melakukan *training* model *deep learning* untuk mendeteksi cacat pada kain.

Adapun proses *training* sebuah model *deep learning* ditunjukkan pada Gambar 7.



Gambar 7. Alur Eksperimen Pembuatan Model *Machine Learning*

a. *Dataset preparation*

Tahap ini mempersiapkan dataset berupa *file* gambar foto kain. Dataset dikategorikan berdasarkan tipe *defect* atau cacat yang ada pada kain. Dataset yang ada kemudian dibagi menjadi *training set*, *validation set*, dan *test set* dengan rasio 6:2:2 dari keseluruhan dataset telah disiapkan.

b. *Training*

Tahap ini untuk membuat model mempelajari *training set* yang telah disiapkan sebelumnya. Selanjutnya, ditentukan *hyperparameter training model* (*optimizer*, *batches*, *epoch number*). *Training set* dibagi menjadi *batches* yang akan dipelajari oleh model. Model yang telah melihat *batch dataset* akan menghasilkan *loss*. Besarnya *loss* akan memengaruhi sensitivitas pada model untuk mengubah parameter di dalam model itu sendiri. Setelah model melihat *batch* dari *training set*, model akan melihat *batch* dari *validation set*. Ketika model sudah mempelajari seluruh *batch*, maka model sudah mempelajari sebesar 1 *epoch*. Iterasi *training* model terus dilakukan hingga beberapa *epoch*.

Model yang diinginkan saat tahap akhir *training* menghasilkan *loss* yang sangat rendah dan akurasi yang setinggi mungkin. Hal ini ditandai dengan *loss* yang nilainya konvergen.

c. *Validation*

Model yang sedang di-*training* akan dikendalikan oleh parameter yang dihasilkan dari proses *validation*. Proses ini menghasilkan *validation loss* dan *validation accuracy*. Namun, model tidak akan mengubah parameter yang terkandung di dalamnya ketika diberikan input *validation set*. Keabsahan performa sebuah model *deep learning* yang baik dapat diketahui apabila *training loss* dan *validation loss* semakin menurun. Apabila proses *training* diteruskan dan *validation loss* mulai meningkat (walaupun *training loss* tetap menurun), proses *training* harus dihentikan karena model mengalami *overfitting*. Model terbaik dengan akurasi terbaik biasa diambil pada iterasi sesaat sebelum terjadi *overfitting*.

d. *Model*

Model terbaik yang dihasilkan dari *training process* disimpan dalam bentuk sebuah *file*. *File* ini digunakan untuk dites pada *test set* atau di-*deploy* pada tahap *production*.

e. *Test*

Model yang sudah dilatih bisa digunakan untuk dicobakan pada *test set* untuk melihat performa dari model tersebut.

6. Dataset untuk *Training Model Machine Learning*

Dataset diperoleh menggunakan kamera Samsung S21 dengan pengaturan resolusi 8px/mm kain. Diperoleh gambar dengan resolusi 12000x8000 px pada kain dengan lebar 1,5 meter. Gambar kain kemudian di-*crop* dengan ukuran 500x500 px.

Adapun dataset yang digunakan terdiri dari kelas *defect* dan *non-defect*. Kelas *defect* terdiri dari beberapa komponen yang bisa diturunkan menjadi *class* baru, yaitu *horizontal deep stripe*, *horizontal subtle stripe*, *horizontal white stripe*, *vertical deep stripe*, *vertical subtle stripe*, *vertical white stripe*, *contaminated*, dan *messy*.

Tabel 1. Eksperimen Model *Deep Learning* untuk Mendeteksi *Defect* pada Kain

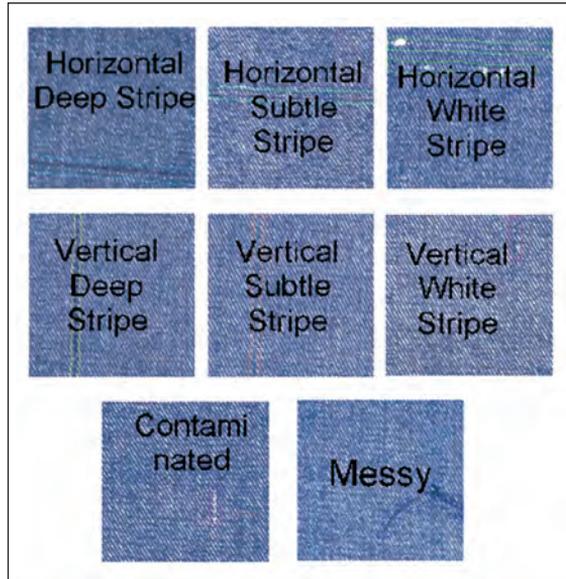
No.	Type Model	Class Defect
1	<i>Classification</i>	<i>Defect, Non-Defect</i>
2	<i>Detection</i>	<i>Defect</i>
3	<i>Detection</i>	<i>Horizontal Deep Stripe, Horizontal Subtle Stripe, Horizontal White Stripe, Vertical Deep Stripe, Vertical Subtle Stripe, Vertical White Stripe, Contaminated, Messy</i>
4	<i>Segmentation</i>	<i>Defect</i>
5	<i>Segmentation</i>	<i>Horizontal Deep Stripe, Horizontal Subtle Stripe, Horizontal White Stripe, Vertical Deep Stripe, Vertical Subtle Stripe, Vertical White Stripe, Contaminated, Messy</i>

Penentuan *class* ini berdasarkan pola dari *defect* yang muncul terhadap mata orang awam. Tujuannya adalah mempermudah analisis hasil *test set* sehingga bisa dilakukan pengembangan pada eksperimen-eksperimen berikutnya.

Tabel 2. Komposisi Jumlah Dataset pada Setiap *Class*

<i>Class_Training set Validation set*</i>	<i>Test set*</i>		
<i>Defect</i>	282	75	75
<i>Non Defect</i>	282	79	79
<i>Horizontal Deep Stripe</i>	10	5	5
<i>Horizontal Subtle Stripe</i>	94	23	23
<i>Horizontal White Stripe</i>	122	39	39
<i>Vertical Deep Stripe</i>	48	13	13
<i>Vertical Subtle Stripe</i>	13	3	3
<i>Vertical White Stripe</i>	9	2	2
<i>Contaminated</i>	7	2	2
<i>Messy</i>	11	4	4

*) *Validation set* dan *test set* adalah dataset yang sama



Gambar 8. Contoh Tampilan Cacat pada Kain untuk Setiap Kelas

Jumlah dataset yang sedikit dimitigasi dengan metode augmentasi data. Metode augmentasi yang dilakukan berupa rotasi dataset dengan sudut 45, 135, 225, dan 315 derajat.

7. *Evaluation Metrics*

Model kecerdasan artifisial akan mengeluarkan performa yang berbeda pada setiap *class defect*. Pada klasifikasi model (*model classification*), gambar kain cacat yang terdeteksi cacat disebut *true positive* (TP), sementara apabila tidak terdeteksi cacat disebut dengan *false negative* (FN). Gambar kain yang tidak memiliki cacat apabila terdeteksi cacat disebut *false positive* (FP), sementara apabila tidak terdeteksi cacat disebut *true negative* (TN). Keempat istilah ini dapat dipetakan ke dalam sebuah *confusion matrix* berikut ini.

Tabel 3. *Confusion Matrix* untuk Kasus Cacat pada Kain.

	Cacat	Tidak Cacat
Cacat	TP	FN
Tidak Cacat	FP	TN

Kemampuan model untuk memperoleh jumlah kain yang cacat dari semua prediksi kain yang dianggap cacat disebut *precision*.

$$\text{Precision} = \frac{TP}{TP + FP}$$

Apabila *precision* semakin tinggi, semakin kecil kemungkinan model kecerdasan artificial untuk memprediksi cacat pada gambar kain yang tidak ada cacat. Sementara itu, kemampuan model untuk memprediksi gambar yang cacat dari semua gambar yang mengandung cacat disebut *Recall*.

$$\text{Recall} = \frac{TP}{TP + FN}$$

Apabila *recall* semakin tinggi, semakin kecil kemungkinan model kecerdasan artificial untuk tidak mendeteksi cacat pada gambar kain yang ada cacat.

Precision dan *Recall* penting untuk menentukan apakah dataset yang diperlukan masih kurang jumlahnya atau kualitas model dalam mendapatkan fitur cacat pada dataset sudah baik atau belum.

Nilai *Precision* dan *Recall* saling memengaruhi satu sama lain. Penyebabnya adalah bagaimana menentukan batas *confidence level/score threshold* dari output model *classification*. *Threshold* yang rendah menyebabkan semua kemungkinan cacat akan dimunculkan oleh model. Hal ini dapat menyebabkan *false positive* yang tinggi dan menurunkan *precision* karena noise dari hasil prediksi yang tinggi. *Threshold* yang tinggi menyebabkan *false negative* yang tinggi dan menurunkan nilai *recall* karena keluaran model *classification* harus memiliki keyakinan yang tinggi.

Oleh karena itu, model yang baik memiliki nilai *Precision* dan *Recall* yang seimbang dan digabung dalam bentuk F1-score.

$$F1\text{Score} = \frac{2 * \text{Precision} * \text{Recall}}{\text{Precision} + \text{Recall}}$$

Pada kasus model *object detection* dan *image segmentation*, terdapat parameter area yang menjadi indikator apakah model dapat memprediksi dengan benar atau tidak. Walau sebuah gambar memiliki indikasi terdapat cacat, apabila model deteksi tidak dapat menentukan lokasi dari cacat tersebut maka akan dianggap sebagai tidak ada cacat. Oleh karena itu dibutuhkan metrik lain untuk dapat menentukan *F1-score* dari *model detection*. Metrik yang digunakan adalah *intersection over union* (IoU).

$$IoU = \frac{\text{Prediction Area} \cap \text{Ground Truth Area}}{\text{Prediction Area} \cup \text{Ground Truth Area}}$$

Prediction area adalah luas dari hasil prediksi model kecerdasan artifisial, sementara *ground truth area* adalah luas dari hasil anotasi dataset. Sebagai pengaturan umum, nilai IoU yang digunakan adalah 0,5. Nilai ini dapat dianggap sebagai batas (*threshold*). Apabila nilai hasil prediksi mempunyai $\text{IoU} > 0,5$ maka hasil prediksi bisa dinyatakan sebagai *true positive*. Apabila nilai $\text{IoU} < 0,5$ maka hasil prediksi dinyatakan sebagai *false positive*. Apabila model tidak memprediksi cacat, pada gambar yang ada area cacat maka bisa disebut *false negative*.

Apabila sudah menentukan batas IoU, dapat diperoleh diagram relasi dari *precision* dan *recall* dari berbagai score threshold yang disebut PR AUC (*area under curve*). Diagram ini bertujuan menghitung luas area dari PR AUC. Luas ini akan menghasilkan nilai *average precision* (AP) yang berguna sebagai perbandingan performa antara model kecerdasan artifisial yang dibuat secara mandiri dan model *open source*.

8. Aplikasi Pembantu Eksperimen

Aplikasi ini merupakan wadah untuk peneliti dalam melakukan eksperimen *machine learning*, di mana tiap eksperimen merupakan hasil proses *inferencing* dari satu model *machine learning* menggunakan satu *test dataset*. Dari tiap eksperimen, peneliti dapat melihat hasil prediksi model serta nilai evaluasinya. Eksperimen yang telah dilakukan dapat disimpan ke dalam basis data sehingga peneliti dapat melihat riwayat eksperimen yang telah dilakukan.

Agar dapat melihat riwayat eksperimen, aplikasi ini menggunakan basis data sebagai media penyimpanan. Tabel-tabel yang digunakan dalam basis data sebagai berikut.

a. *Data Version*

Tabel ini berisi daftar dataset yang digunakan dalam pengembangan model. Dataset yang terdaftar dalam tabel ini diisi melalui fitur *data preparation*. Dataset yang tersimpan dapat digunakan untuk proses *training model machine learning* atau eksperimen.

b. *Model Source*

Tabel ini berisi daftar jenis model yang digunakan. Jenis model yang terdaftar dalam tabel ini disimpan melalui fitur *model registration*. Data ini digunakan untuk mendaftarkan model hasil *training*.

c. *Model Version*

Tabel ini berisi daftar model hasil *training*. Model yang terdaftar dalam tabel ini disimpan melalui fitur *model registration*. Model yang tersimpan dapat digunakan untuk melakukan eksperimen.

d. *Experiment Version*

Tabel ini berisi daftar eksperimen yang sudah dilakukan. Data eksperimen dalam tabel ini disimpan melalui fitur *model inference*. Tabel ini dapat digunakan sebagai log untuk melihat riwayat eksperimen.

Berikut adalah fitur yang disediakan oleh aplikasi ini untuk mendukung berjalannya proses eksperimen.

1) *Data preparation*

Fitur ini berfungsi untuk mempersiapkan dataset dari gambar-gambar yang sudah dikumpulkan beserta anotasinya. Dataset dari fitur ini dapat digunakan dalam pengembangan model, baik dalam proses *training* maupun eksperimen. Dataset yang disiapkan dapat disimpan ke dalam tabel *data version* dan *filenya* dapat disimpan ke dalam *storage* dalam format COCO json. Dataset yang sudah terdaftar dapat digunakan dalam fitur-fitur selanjutnya.

2) *Distribution exploration*

Fitur ini berfungsi untuk memperlihatkan distribusi dari atribut-atribut yang ada di dalam dataset, seperti jenis label, jumlah anotasi, dan dimensi. Distribusi ditampilkan dalam bentuk grafik histogram. Dari fitur ini, peneliti dapat mengukur seberapa *balance* dataset yang terdaftar.

3) *Image exploration*

Fitur ini berfungsi untuk memperlihatkan gambar-gambar yang ada di dalam dataset beserta anotasinya.

4) *Model registration*

Fitur ini berfungsi untuk mendaftarkan model *machine learning* hasil proses training. Model yang didaftarkan akan disimpan ke dalam tabel *model version* dan file modelnya akan disimpan ke dalam *storage*. Model yang sudah terdaftar dapat digunakan untuk eksperimen.

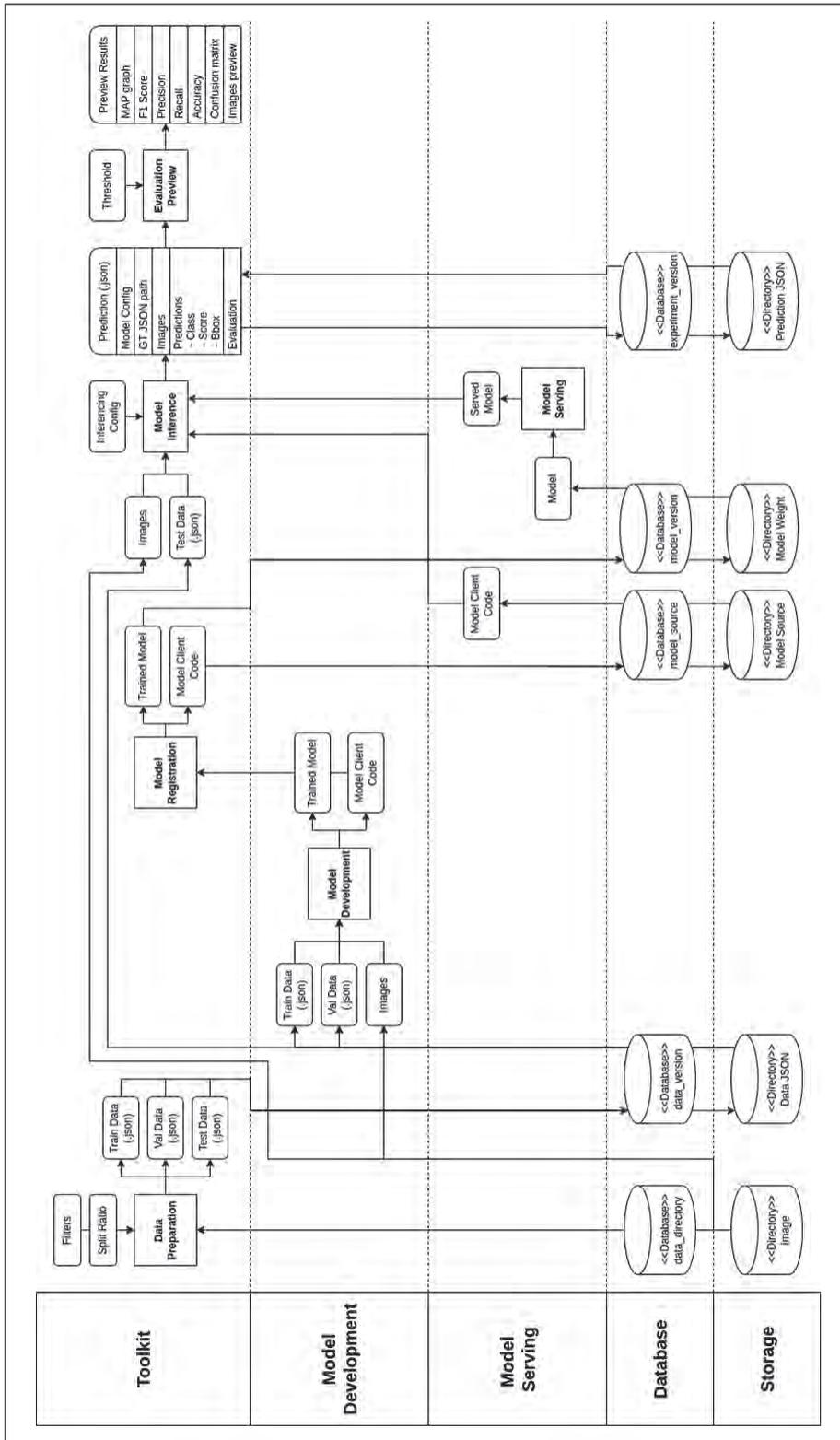
5) *Model inference*

Fitur ini berfungsi untuk melakukan eksperimen atau proses *inferencing*. Tiap proses *inferencing* dilakukan menggunakan satu dataset dari tabel *data version* dan satu model dari tabel *model version*. Hasil eksperimen dapat disimpan ke dalam tabel *experiment version*, dan hasil prediksi dari proses *inferencing* dapat disimpan ke *storage* dalam bentuk json.

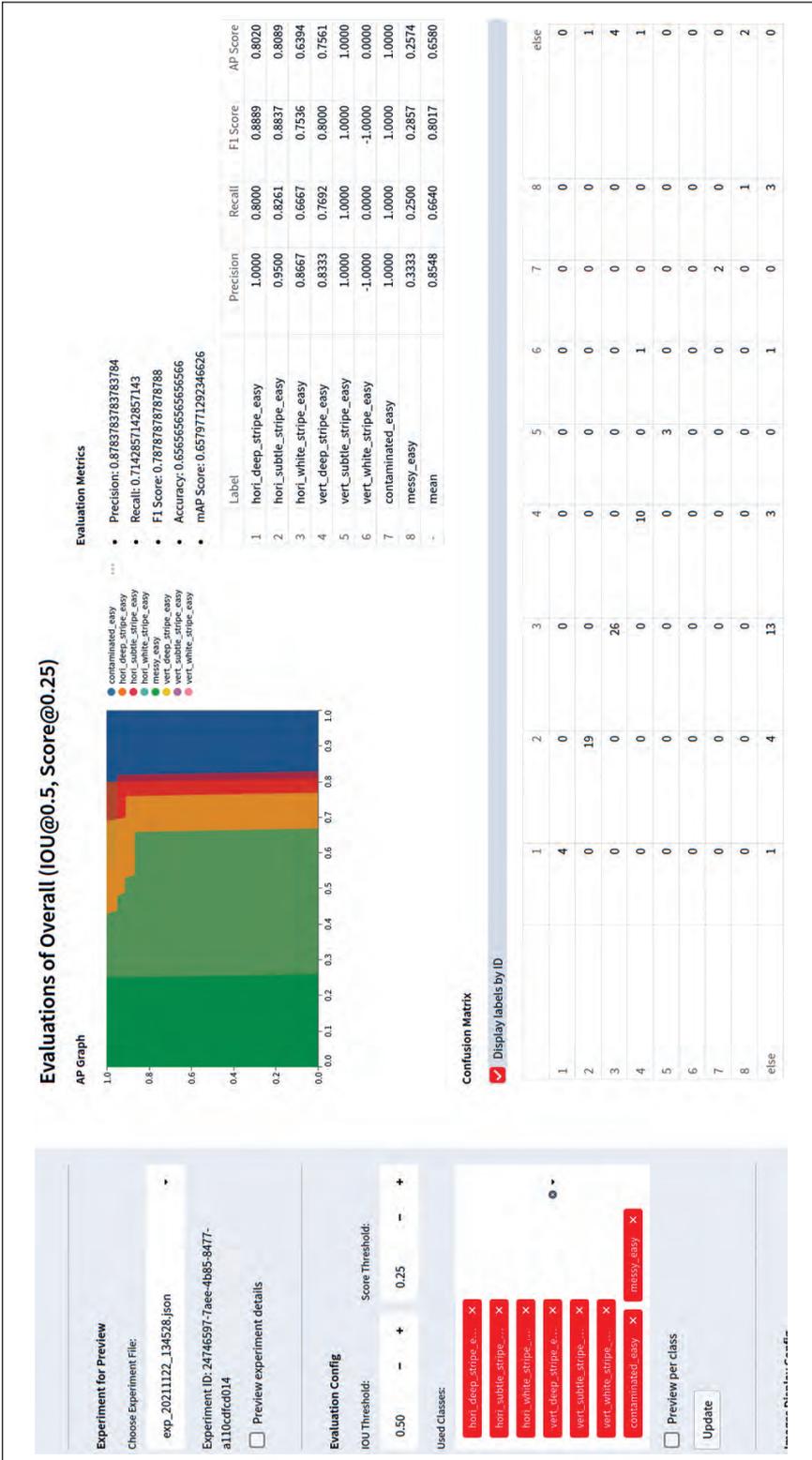
6) *Evaluation preview*

Fitur ini berfungsi untuk menampilkan hasil dari eksperimen yang tersimpan. Adapun hasil yang ditampilkan sebagai berikut.

- a) Hasil evaluasi model *machine learning*, meliputi *precision*, *recall*, *f1 score*, *accuracy*, *confusion matrix*, *average precision graph*, dan *mean average precision*.
- b) Gambar-gambar dari dataset yang digunakan dalam eksperimen beserta anotasi dan hasil prediksinya.



Gambar 9. Alur Aplikasi Pembantu Eksperimen



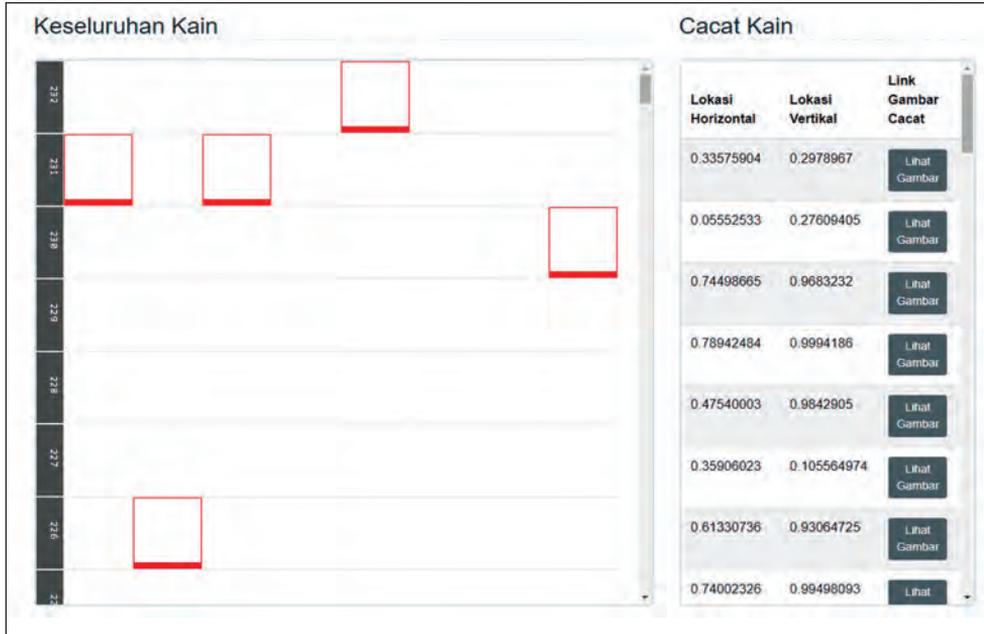
Gambar 10. Contoh hasil evaluasi eksperimen dalam aplikasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

9. Aplikasi *End to End*

a. *Dashboard*

Pada sistem pendeteksi cacat dengan kecerdasan buatan, dibuat *dashboard* agar pengguna dapat mengetahui posisi cacat yang dideteksi lebih mudah. Hal ini diperoleh dengan membuat pemetaan kain dengan gambar di *dashboard* seperti Gambar 11.



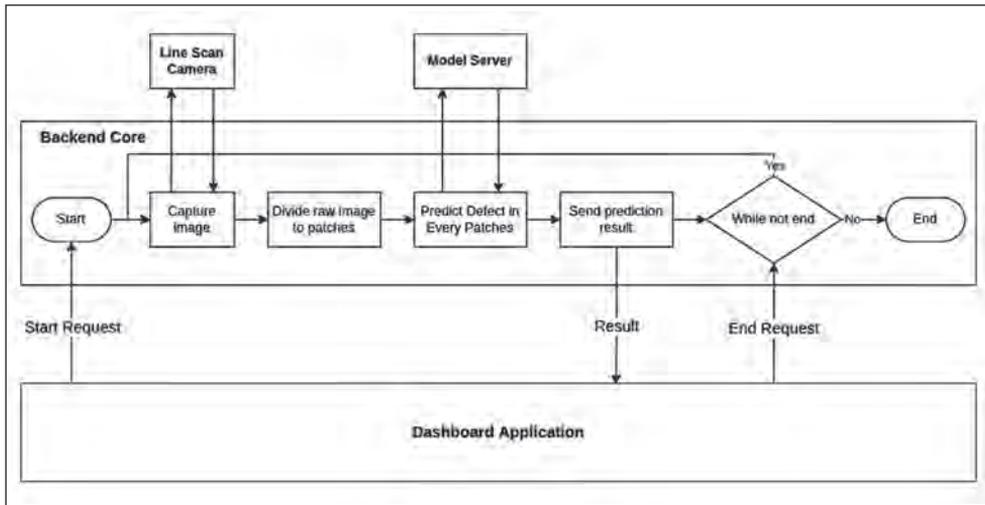
Gambar 11. *Dashboard* Sistem Pendeteksi Cacat

b. *Backend core*

Backend core merupakan *software* yang berfungsi untuk menangkap gambar kain melalui *line scan camera*, kemudian memrosesnya menggunakan model *machine learning* untuk mendapatkan prediksi posisi cacat yang terdapat pada gambar kain. *Software* ini digunakan sebagai program inti dari aplikasi *dashboard*. *Backend core* dan aplikasi *dashboard* saling berkomunikasi melalui *websocket*.

Backend core mulai berjalan ketika menerima *start request*. *Start request* ini dapat dikirimkan dengan menekan tombol “Start” pada aplikasi *dashboard* saat mesin inspeksi kain mulai dijalankan. Ketika berjalan, *backend core* akan secara terus-menerus mengambil gambar kain yang berjalan pada *belt conveyor* melalui *line scan camera*. Tiap gambar yang diambil akan dipecah menjadi beberapa gambar dalam ukuran 500x500 yang disebut sebagai *patch* agar dapat diproses oleh model *machine learning*. Kemudian, tiap *patch* akan dikirimkan ke model server untuk diproses oleh model *machine learning* dan didapatkan hasil prediksi cacatnya. Model server merupakan suatu modul terpisah yang berfungsi untuk menjalankan model *machine learning*.

Setelah didapatkan hasil prediksinya, *backend core* akan mengirimkan tiap *file patch*, koordinat lokasinya pada kain, serta hasil prediksi cacatnya ke aplikasi *dashboard*. Proses ini akan dilakukan secara terus-menerus hingga *backend core* menerima *end request*. Ketika rol kain habis, pengguna dapat menekan tombol “End” pada aplikasi *dashboard* untuk mengirimkan *end request* dan menghentikan proses pada *backend core*.



Gambar 12. Alur *Backend Core*

D. HASIL

1. Pengaturan eksperimen

Beberapa eksperimen dilakukan dan menghasilkan lima model yang dapat dilaporkan dalam dokumen ini. *Training process* dilakukan di GPU NVIDIA RTX 2080 Ti. *Testing process* dilakukan di GPU NVIDIA RTX 2070 SUPER. Berbagai eksperimen untuk memperoleh model *deep learning* telah dilakukan dengan menggunakan berbagai tipe model dan arsitektur model yang berbeda. Namun, demi kenyamanan, detail dari arsitektur model yang digunakan tidak disebutkan.

2. Classification model

a. Pengaturan Training

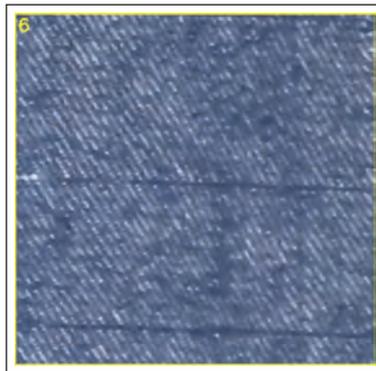
Model classification di-*training* menggunakan *pretrained* model dari arsitektur berbasis CNN untuk dapat melakukan *classification* pada dua kelas (*defect* dan *non-defect*). Model di-*training* dengan *training set* yang berjumlah 564 dan dites pada dataset *test set* yang berjumlah 154. *Training* dijalankan sebanyak 10.000 *step* dan setiap *step* memiliki *batch* 128. Memori yang digunakan di GPU sebesar ~10 GB.

b. Hasil Eksperimen

Metrik utama yang digunakan pada eksperimen ini adalah *F1-score*. Selain *F1-score*, nilai *Precision* (P) dan *Recall* (R) juga dicatat sebagai bahan analisis untuk eksperimen berikutnya. Dari eksperimen yang telah dilakukan, hasilnya sebagai berikut.

Tabel 4. Performa dari *Model Classification* pada Dataset *Defect* dan *Non-Defect*.

Nama Model	Class	Dataset		P	R	F1 Score
		Train	Test			
Classification-01	Defect	282	75	0,70	0,84	0,76
	Non Defect	282	79	0,81	0,67	0,73



Gambar 13. Contoh *True Positive* Model Classification-01

Saat iterasi *test-set*, *model classification* pada Tabel 4 memiliki kecepatan *inference* 20,27 ms/image.

3. Object Detection Model

a. Pengaturan Training

Model object detection di-training menggunakan *pretrained* model dari arsitektur berbasis CNN *single stage detector* untuk dapat menentukan lokasi pada *single* kelas (*defect*) dan juga pada delapan kelas *defect*. Model *di-training* dengan *training set* yang berjumlah 282 dan dites pada dataset *test set* yang berjumlah 75. *Training* dijalankan sebanyak 10.000 step dan setiap step memiliki *batch* 64. Memori yang digunakan di GPU sebesar ~10 GB

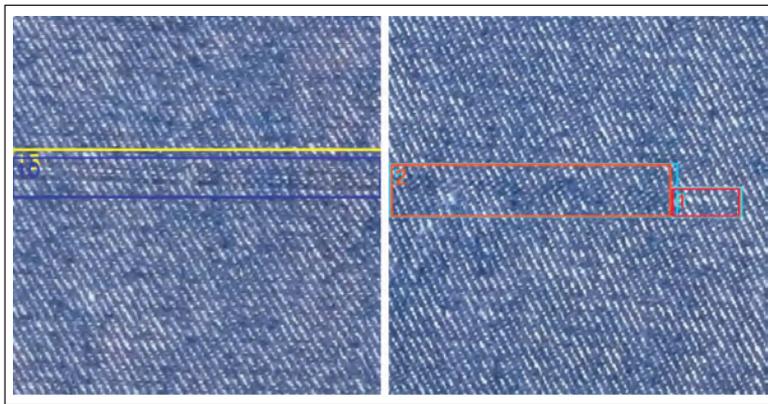
b. Hasil Eksperimen

Metrik utama yang digunakan pada eksperimen ini adalah *F1-score*. Namun, untuk mendapatkan *F1-score*, sebelumnya harus ditentukan nilai *threshold* dari *output* model (*IoU threshold*, *score threshold*). *IoU threshold* yang digunakan adalah 0,5, sementara

score threshold yang digunakan adalah 0,25. Dari kedua *threshold* ini, didapatkan diagram *Precision* dan *Recall*, beserta *Average Precision* (AP) di IoU=0.5 atau bisa disebut AP50. Hasil eksperimen sebagai berikut:

Tabel 5. Performa dari *Model Detection* pada Dataset *Defect* dan delapan *Class of Defect*

Nama Model	Class	Dataset		P	R	AP ₅₀	F1 Score
		Train	Test				
Detection-01	Defect	282	75	0,89	0,69	0,67	0,78
Detection-02	8 Class of Defect	282	75	0,87	0,71	0,65	0,79



Gambar 14. Contoh *True Positive* model Detection-01 dan 02

Saat iterasi *test-set*, model *Detection* di tabel tersebut memiliki kecepatan *inference* 35.74 ms/image.

4. *Image Segmentation Model*

a. *Pengaturan Training*

Model *image segmentation* di-*training* menggunakan *pretrained* model dari arsitektur berbasis CNN *two-stage detector* untuk dapat menentukan lokasi pada *single* kelas (*defect*) dan juga pada delapan kelas *defect*. Model di-*training* dengan *training set* yang berjumlah 282 dan dites pada dataset *test set* yang berjumlah 75. Adapun model Segmentation-02 di-*training* dengan dataset tambahan dari augmentasi rotasi karena jumlah dataset yang sedikit mengakibatkan performa model yang kurang baik. *Training* dijalankan sebanyak 100 epoch dan setiap *step* memiliki *batch* 2. Memori yang digunakan di GPU sebesar ~5 GB

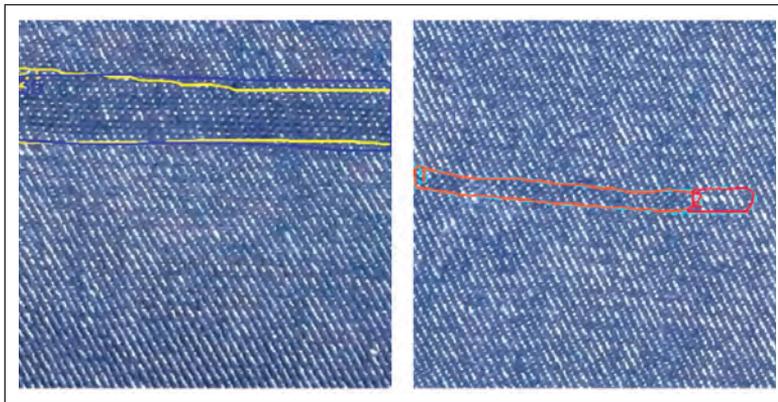
b. Hasil Eksperimen

Metrik utama yang digunakan pada eksperimen ini adalah F1-score. IoU *threshold* yang digunakan adalah 0,5 dan *score threshold* yang digunakan adalah 0,3. Dari kedua *threshold* ini, didapatkan diagram *Precision* dan *Recall*, beserta AP50.

Tabel 6. Performa dari Model Segmentation pada Dataset Defect dan 8 Class of Defect

Nama Model	Class	Dataset		P	R	AP ₅₀	F1 Score
		Train	Test				
Segmentation-01	Defect	282	75	0,87	0,71	0,65	0,79
Segmentation-02	8 Class of Defect	450*	75	0,88	0,64	0,64	0,74

*)Hasil dari augmentasi dataset



Gambar 15. Contoh *True Positive Model Segmentation-01* dan *02*

Saat iterasi *test-set*, model *Segmentation* pada Tabel 6 memiliki kecepatan *inference* 153,26 ms/image.

E. KESIMPULAN

Berdasarkan percobaan yang telah dilakukan, kecerdasan artifisial dapat membuat industri tekstil lebih efisien. Hal ini didapat dengan cara mengotomasi proses inspeksi kain yang ada dengan *machine learning* sehingga operator yang ada dapat dialokasikan untuk pekerjaan lain, mesin penenun dapat diperbaiki dengan segera, dan cacat yang tercipta juga lebih sedikit, bahkan menghemat banyak waktu.

Akan tetapi, performa dari *machine learning* memang harus lebih ditingkatkan lagi sehingga setiap cacat pada industri tekstil dapat terdeteksi semua dan *grade* kain yang ditentukan juga lebih baik lagi. Selain itu, sistem pendukung, seperti infrastruktur dan aplikasi *dashboard*, untuk riset juga harus dibuat dengan baik.

Beberapa hal yang dapat dikembangkan lagi sebagai berikut.

1. Meningkatkan performa pada kain bercorak yang diintegrasikan dengan sistem manajemen pabrik.
2. Mempersiapkan skalabilitas kepada seluruh mesin di pabrik.
3. Memperluas performa sistem pada jenis kain yang beragam.
4. Memperluas *partnership* dengan mitra lain.

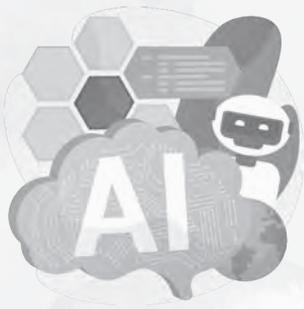
UCAPAN TERIMA KASIH

Riset ini dilakukan oleh tim ahli dari Riset AI. Riset AI adalah perusahaan yang berfokus pada riset berbasis kecerdasan artifisial dengan fokus utama pada implementasinya di bidang *computer vision*. Terima kasih banyak kepada Pak Arianto selaku pemilik Sinaran Denim yang sudah bersedia bekerja sama dengan Riset AI. Terima kasih kepada pihak pabrik, yaitu Pak Zainal selaku *Head of Factory*, Pak Sugi, Pak Tono, dan orang-orang yang tidak dapat disebutkan dalam tulisan ini yang telah ikut menyukseskan riset ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Kemenperin. "Making Indonesia 4.0: Strategi RI masuki revolusi industri Ke-4." Accessed: Oct 18, 2022. [Online]. Available: <https://kemenperin.go.id/artikel/18967/Making-Indonesia-4.0:-Strategi-RI-Masuki-Revolusi-Industri-Ke-4>
- [2] A. Kristianus. "Kuartal I-2021, Industri Pengolahan Terkontraksi 1,38%." Investor.id. Accessed: Oct 18, 2022. [Online] Available: <https://investor.id/business/247277/kuartal-i2021-industri-pengolahan-terkontraksi-138>
- [3] Advantech. "AI Defect Inspection for Textile." Advantech.com. Accessed: December 1, 2021. [Online] Available: <https://www.advantech.com/resources/case-study/ai-defect-inspection-for-textile>
- [4] "Automatic inspection | BMSvision." Bmsvision.com, Accessed: Dec 20, 2021. [Online]. Available: <https://www.bmsvision.com/products/automatic-inspection>.
- [5] A. S. Malek, "Online fabric inspection by image processing technology," Doctoral dissertation, Mulhouse, 2012.
- [6] H. -w. Zhang, L. -j. Zhang, P. -f. Li, dan D. Gu, "Yarn-dyed fabric defect detection with YOLOV2 based on deep convolution neural networks," in *IEEE 7th Data Driven Control and Learning Systems Conference (DDCLS) 2018*, pp. 170–174, doi: 10.1109/DDCLS.2018.8516094.
- [7] Y. Li, D. Zhang, dan Dh-J Lee, "Automatic fabric defect detection with a wide-and-compact network," *Neurocomputing*, 329, pp. 329–338.
- [8] M. Guan, Z. Zhong, Y. Rui, H. Zheng, dan X. Wu, "Defect detection and classification for plain woven fabric based on deep learning," in *2019 Seventh International Conference on Advanced Cloud and Big Data (CBD)*, pp. 297–302.

- [9] B. Wei, K. Hao, X-S Tang, dan L. Ren, “Fabric defect detection based on faster RCNN,” in *International Conference on Artificial Intelligence on Textile and Apparel*, W. Wong (Ed), Okt. 2018, vol. 849, pp. 45–51 https://doi.org/10.1007/978-3-319-99695-0_6
- [10] J. Silvestre-Blanes, T. Albero Albero, I Miralles, I., Pérez-Llorens, R., dan J. Moreno, “A public fabric *database* for defect detection methods and results,” *Autex Research Journal*, vol. 19, no. 4, pp. 363–374, Juni 2019, doi: 10.2478/aut-2019-0035.
- [11] P. Peng, Y. Wang, C. Hao, Z. Zhu, T Liu, dan W. Zhou, “Automatic fabric defect detection method using PRAN-net,” *Applied Sciences*, vol. 10, no. 23, p. 8434, Nov. 2020, doi: 10.3390/app10238434.



CHAPTER 3

KECERDASAN ARTIFISIAL UNTUK PENGOLAHAN UCAPAN DAN TEKS BERBAHASA INDONESIA

Ayu Purwarianti¹, Dessi Puji Lestari¹, & Devin Hoesen²

¹Pusat AI ITB (PUI-PT AI-VLB)

²PT Prosa Solusi Cerdas

ABSTRAK

Teknologi pemrosesan bahasa alami atau *Natural Language Processing* (NLP) pada teks serta suara untuk bahasa Indonesia sudah mengalami perkembangan yang cukup pesat. Teknologi NLP dapat membantu pelaksanaan berbagai proses dalam sebuah institusi supaya lebih efisien. Dalam kesempatan ini, akan dibahas tiga *use case* pemanfaatan teknologi NLP di institusi, yaitu *regulatory technology*, *meeting transcription*, dan *voice biometrics*.

Regulatory technology adalah sebuah teknologi berbasis NLP yang bertujuan membantu pengecekan peraturan ataupun dokumen perusahaan secara otomatis. *Regulatory technology* berfungsi untuk membandingkan peraturan atau dokumen perusahaan dengan berbagai peraturan pemerintah terkait yang dikumpulkan secara otomatis dari berbagai situs peraturan pemerintah. *Regulatory technology* memanfaatkan berbagai teknologi NLP untuk pemrosesan teks, baik pencarian, ekstraksi, maupun klasifikasi teks. Saat ini, sudah ada beberapa organisasi di Indonesia yang menggunakan produk *regulatory technology* untuk melakukan *compliance checking*.

Meeting transcription adalah teknologi berbasis pemrosesan suara yang bertujuan mengubah suara hasil rekaman rapat ke dalam teks transkripsinya. Naskah rekaman suara rapat mencakup informasi teks yang diucapkan oleh setiap peserta rapat beserta identitas peserta rapat tersebut. *Meeting transcription* menggunakan teknologi *automatic speech recognition* (ASR) untuk mengubah suara menjadi teks; teknologi *speech diarization* untuk membedakan suara peserta rapat, ekstraksi kata kunci, dan pencarian catatan rapat maupun segmen percakapan. Dalam pengujian untuk delapan set data, teknologi ASR bahasa Indonesia yang dikembangkan memiliki nilai akurasi yang lebih tinggi dibandingkan ASR Bahasa Indonesia milik Google. Teknologi *meeting transcription* ini sudah dipasang di lembaga pemerintah, BUMN, dan lembaga legislatif di Indonesia.

Voice biometrics merupakan salah satu alternatif teknologi autentikasi identitas dengan berdasar

A. Purwarianti, D. P. Lestari, & D. Hoesen
Pusat AI ITB, e-mail: ayu@stei.itb.ac.id

@ 2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
A. Purwarianti, D. P. Lestari, & D. Hoesen. "Kecerdasan artifisial untuk pengolahan ucapan dan teks berbahasa Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 3, pp. 39-43, doi: 10.55981/brin.668.c536
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

Buku ini tidak diperjualbelikan.

pada suara. Akurasi *voice biometrics* dengan kondisi suara bersih sudah mendekati 100%. Saat ini, produk *voice biometrics* sudah dipakai salah satu bank di Indonesia untuk layanan *customer service* melalui telepon. Selain itu, *voice biometrics* juga dapat digunakan untuk melengkapi atau bahkan menggantikan kata sandi dan sidik jari dalam pengaksesan suatu aplikasi ponsel.

Kata kunci: *regulatory technology, meeting transcription, voice biometrics, natural language processing*, bahasa Indonesia

A. PENDAHULUAN

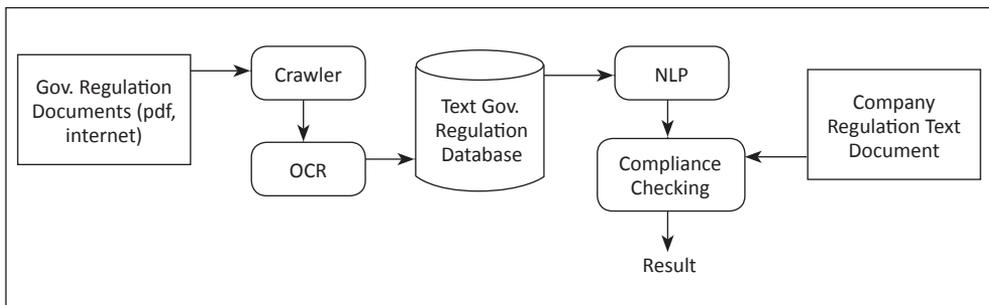
Ucapan dan teks merupakan komponen penting dalam interaksi antara manusia dan komputer. Ucapan adalah antarmuka komunikasi masa depan yang akan banyak digunakan dalam komunikasi karena merupakan cara paling alami. Meskipun begitu, teks juga tetap merupakan bagian penting dari komunikasi, seperti pada *email*, dan *social media*. Selain dalam komunikasi, ucapan dan teks juga merupakan representasi informasi yang tersedia secara digital dalam ukuran besar, seperti dokumen atau artikel. Baik untuk komunikasi maupun sebagai representasi informasi, pemrosesan otomatis terhadap ucapan dan teks dapat meningkatkan efisiensi waktu pemrosesan. Pemrosesan otomatis ucapan dan teks merupakan salah satu cabang dari teknologi kecerdasan artifisial. Berikut ini beberapa *use case* pemrosesan ucapan dan teks secara otomatis.

B. REGULATORY TECHNOLOGY

Regulatory technology atau sering disebut *regtech* merupakan istilah untuk menyatakan penggunaan teknologi digital pada peraturan. Dewasa ini, *regulatory technology* semakin banyak digunakan di berbagai instansi. Pada 2021, perkiraan *global revenue* di bidang *regtech* mencapai 2,87 miliar \$US [1]. Perkembangan *regtech* ditandai dengan penerapan kecerdasan artifisial (pemrosesan bahasa alami), baik di sektor swasta maupun *regulatory agency*. Dalam lingkup pemrosesan bahasa alami, *regtech* merupakan bagian dari *natural language understanding* [2], dengan input proses adalah teks dalam bentuk dokumen dan *output* proses adalah analisis, seperti hasil perbandingan, ekstraksi, dan klasifikasi.

Dalam sektor swasta, salah satu penerapan kecerdasan artifisial pada *regulatory technology* adalah untuk pengecekan *compliance*. Sektor *fintech* merupakan industri yang banyak memanfaatkan fitur pengecekan *compliance* pada *regulatory technology*. Fitur pengecekan *compliance* bertujuan memastikan berbagai aturan atau produk perusahaan masih sesuai dengan regulasi yang dikeluarkan *regulatory agency*. Pada fitur ini, teknologi kecerdasan artifisial yang digunakan meliputi ekstraksi informasi dan perbandingan otomatis. Kedua teknologi ini digunakan juga untuk menghasilkan informasi hubungan antarperaturan (*regulation connectivity*).

Selain kedua teknologi tersebut, teknologi kecerdasan artifisial yang juga digunakan untuk *regulatory technology* adalah OCR. OCR digunakan untuk memperbaiki hasil *crawling* dokumen regulasi yang biasanya disimpan dalam *file pdf* (untuk kasus di Indonesia). Penggunaan *library* terkait konversi pdf ke dalam teks tanpa penggunaan OCR akan menghasilkan banyak *noise* pada luaran teksnya. Teks hasil OCR ini kemudian akan diproses dengan teknologi NLP seperti ekstraksi informasi dan perbandingan otomatis yang telah dijelaskan sebelumnya. *Flow* umum dari *proses compliance checking* yang di dalamnya terdapat pemanfaatan teknologi OCR dapat dilihat pada Gambar 1.

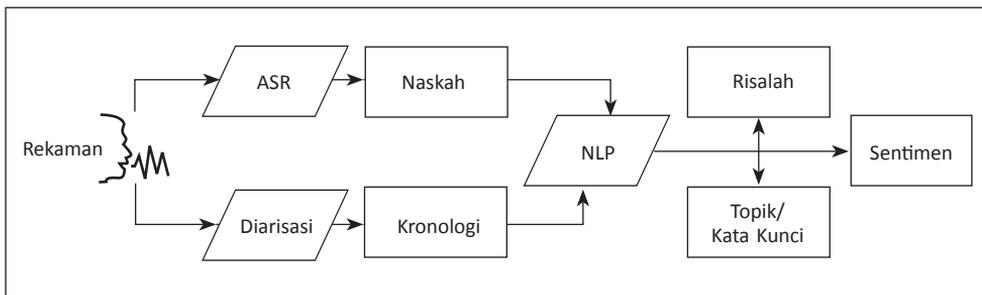


Gambar 1. *Flow* Umum Fitur *Compliance Checking* pada *Regulatory Technology*

C. MEETING TRANSCRIPTION

Meeting transcription adalah suatu sistem terautomasi yang dapat menaskahkan suatu rekaman rapat atau percakapan dan dapat dilengkapi juga dengan siapa yang mengucapkan kalimat-kalimat dalam rapat/percakapan tersebut [2]. Di dalam suatu sistem *meeting transcription*, terdapat berbagai teknologi yang digunakan, yaitu *automatic speech recognition* (ASR), diarisasi, dan *natural language processing* (NLP). Teknologi ASR digunakan untuk mengubah sinyal suara dalam rekaman rapat/percakapan menjadi runtunan teks yang berisi kalimat-kalimat yang diucapkan dalam rapat/percakapan. Dengan berkembangnya teknik-teknik ASR yang menggunakan jaringan saraf tiruan (JST), ketepatan penerjemahan ASR sekarang sudah mencapai di atas 90%, bahkan mendekati 100% untuk berbagai kondisi suara. Dalam pengujian yang dilakukan terhadap delapan set data, ASR yang dikembangkan khusus untuk bahasa Indonesia telah dapat mengalahkan akurasi ASR Google. Diarisasi digunakan untuk menentukan siapa berbicara apa dan pada waktu kapan. Teknik diarisasi dapat memenggal rekaman, kemudian menentukan siapa yang berbicara dalam penggalan-penggalan tersebut. Diarisasi diperlukan untuk mendapat kronologi jalannya rapat/percakapan. Gabungan ASR dan diarisasi ini dapat membangun kronologi lengkap rapat/percakapan beserta naskahnya yang dapat digunakan untuk proses lanjutan, yakni NLP.

Teknologi NLP dapat melengkapi sistem *meeting transcription* untuk mempermudah pengguna mendapatkan informasi-informasi dari rapat/percakapan tersebut. Sebagai contoh, sentimen setiap kalimat dapat disarikan menggunakan teknik *sentiment analysis*. Topik atau kesimpulan rapat/percakapan juga dapat disarikan berdasarkan ringkasan rapat yang dihasilkan teknik *summarization*. Selain itu, dengan adanya penyarian topik atau kata-kata kunci dari rapat, pengguna dapat mencari dan mengelola rapat/percakapan berdasarkan topik atau kata kunci yang muncul dalam rapat/percakapan. Sebagai pelengkap, sistem *meeting transcription* juga dapat menghasilkan risalah rapat/percakapan yang idealnya dapat disesuaikan dengan format yang ditetapkan atau diinginkan pengguna/organisasi. Secara umum, alur dalam sistem *meeting transcription* ditunjukkan dalam Gambar 2. Semua teknologi yang tercakup dalam *meeting transcription* ini sudah dipasang di berbagai lembaga pemerintah, BUMN, dan lembaga legislatif di Indonesia untuk mempermudah dan mempercepat proses produksi risalah pascarapat. Selain itu, penyimpanan data dan rekaman rapat secara digital dalam bentuk suara maupun teks akan memudahkan pencarian dan sangat penting di berbagai lembaga di mana keputusan-keputusan penting dalam rapat harus diperiksa dan diaudit secara teliti.



Gambar 2. Alur Ideal *Meeting Transcription*

D. VOICE BIOMETRICS

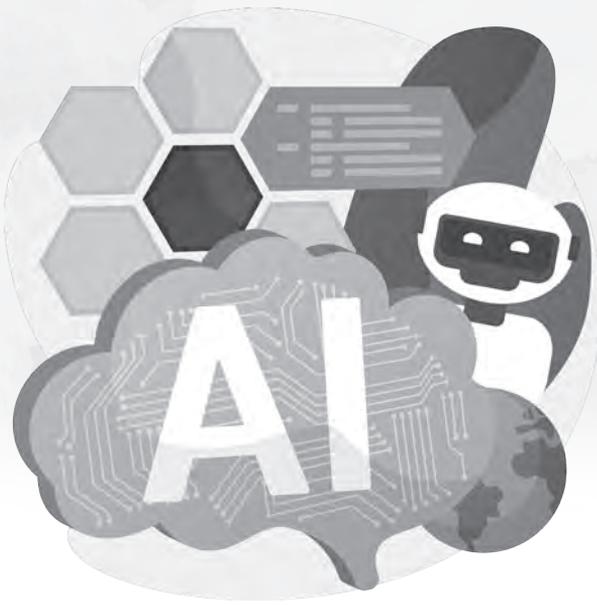
Teknologi *voice biometrics* atau biometrik suara merupakan teknologi yang menggunakan suara seseorang untuk mengidentifikasi orang tersebut. Sistem *voice biometrics* terautomasi menggunakan teknik pembelajaran mesin untuk mendapatkan karakteristik khas suara seseorang (diistilahkan sebagai sidik suara) yang dapat membedakannya dari orang lain. Teknik *voice biometrics* termutakhir sudah andal sehingga dapat mencapai akurasi mendekati 100%, meskipun terdapat variasi kondisi suara yang diproses. Setelah sidik-sidik suara telah didaftarkan, *voice biometrics* dapat dipakai mengidentifikasi maupun memverifikasi suara seseorang. Identifikasi dilakukan ketika sidik suara baru ingin dicari siapa pemiliknya suaranya atau identitasnya dari suatu koleksi sidik suara yang terdaftar. Verifikasi terjadi ketika sistem ingin memastikan bahwa suatu sidik suara baru betul milik suatu identitas yang diklaim [2].

Teknologi *voice biometrics* ini sudah digunakan untuk verifikasi pada salah satu bank di Indonesia. Dalam penggunaannya, pelanggan yang menelepon *customer service* diverifikasi secara otomatis saat sedang menjawab pertanyaan-pertanyaan keamanan. Hasil *voice biometrics* dapat dipakai untuk memperkuat sistem verifikasi pertanyaan keamanan yang biasa digunakan oleh bank. Di sisi lain, *voice biometrics* juga dapat dipakai sebagai pengganti sandi atau sidik jari untuk masuk ke dalam aplikasi ponsel. Sidik suara pengguna didaftarkan dengan meminta pengguna mengucapkan suatu frasa tertentu beberapa kali. Saat pengguna nantinya mencoba untuk masuk aplikasi, dia dapat kembali mengucapkan frase yang diminta untuk diverifikasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] D. Broby, A. Daly, dan D. Legg, "Towards secure and intelligent regulatory technology (Regtech): a research agenda." *Technology and Regulation*. Access: 24 Nov 2022. [Online]. Available: <https://techreg.org/article/view/12475/14818>
- [2] A. Purwarianti, dkk. *Artificial Intelligence di Masa Pandemi*. Bandung: ITB Press. 2021

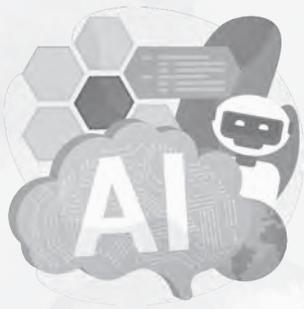
Buku ini tidak diperjualbelikan.



KLASTER: LAYANAN PUBLIK DAN KESEHATAN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 4

IMPLEMENTASI BIG DATA DAN KECERDASAN ARTIFISIAL UNTUK STATISTIK OFISIAL

**Imam Machdi¹, Alfatihah Reno MNSPM², Arie Wahyu Wijayanto³,
Amanda Pratama Putra⁴, & Setia Pramana⁵**

Badan Pusat Statistik (BPS)

ABSTRAK

Badan Pusat Statistik (BPS) dalam memajukan *official statistics* menerapkan *corporate statistical infrastructure* yang mengadopsi tidak hanya sumber data administratif, sensus, dan survei, tetapi juga *big data*. Inovasi-inovasi pemanfaatan kecerdasan artifisial/*artificial intelligence* (AI) dan *big data* di BPS meliputi beberapa hal. Pertama, *mobile positioning data* (MPD) for *official statistics* yang memanfaatkan informasi lokasi dari perangkat *mobile* untuk pendukung sumber data statistik pariwisata serta deliniasi *metropolitan statistical area* di kota besar dan mengestimasi jumlah komuter. Kedua, pemanfaatan citra satelit untuk pertanian dan pemetaan kemiskinan. Pada statistik pertanian, pemanfaatan model AI digunakan untuk melakukan klasifikasi tutupan lahan pertanian dan estimasi luas tanam padi dan jagung. Sementara itu, pada pemetaan kemiskinan, model AI, seperti *convolutional neural network*, digunakan untuk mengekstraksi fitur-

¹ Imam Machdi menjabat sebagai Deputy Metodologi dan Informasi Statistik, Badan Pusat Statistik sejak November 2020 hingga sekarang. Gelar B.Sc diperoleh dari Louisiana State University, USA pada jurusan Computer Science. Beliau memperoleh gelar M.Sc dari *joint* program antara Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) dan Newcastle University, UK pada jurusan Computer Science. Kemudian pada tahun 2010, beliau mendapat gelar Ph.D in Engineering dari University of Tsukuba, Jepang di bidang Computer Science. Beliau bisa dikontak melalui e-mail machdi@bps.go.id

² Alfatihah Reno MNSPM, Pranata Komputer Ahli Madya pada Direktorat Sistem Informasi Statistik di Badan Pusat Statistik. Alfa memperoleh gelar Doktor di bidang Statistika di Institut Pertanian Bogor pada 2017. E-mail: alfa@bps.go.id

³ Arie Wahyu Wijayanto saat ini merupakan dosen dan Kepala Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (PPPM), Politeknik Statistika STIS, Jakarta. Arie memperoleh gelar Doctor of Engineering bidang computer science dari Tokyo Institute of Technology pada 2020. Dapat dikontak pada e-mail: ariewahyu@stis.ac.id

⁴ Amanda Pratama Putra, saat ini sebagai Statistisi Ahli Pertama pada Direktorat Pengembangan Metodologi Sensus dan Survei. Amanda menyelesaikan pendidikan D-IV di Sekolah Tinggi Ilmu Statistik, Jurusan Komputasi Statistik pada tahun 2016. E-mail: amanda.putra@bps.go.id

⁵ Setia Pramana saat ini adalah Profesor bidang Statistika pada Politeknik Statistika STIS, Jakarta. Setia memperoleh gelar master dan Ph.D di bidang Bioinformatika dari Hasselt University, Belgium, dan dilanjutkan dengan program Postdoctoral di Karolinska Institutet, Stockholm Swedia. E-mail: setia.pramana@stis.ac.id

I. Machdi, A. R. MNSPM, A. W. Wijayanto, A. P. Putra, and S. Pramana
Badan Pusat Statistik (BPS), e-mail: machdi@bps.go.id

@ 2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
I. Machdi, A. R. MNSPM, A. W. Wijayanto, A. P. Putra, and S. Pramana, "Implementasi *big data* dan kecerdasan artifisial untuk statistik ofisial," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 4, pp. 47-53, doi: 10.55981/brin.668.c538
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

fitur geospasial permukaan bumi, infrastruktur, dan pusat-pusat perekonomian dari citra siang dan malam hari untuk membantu memetakan sebaran kemiskinan di suatu wilayah. Selain itu, informasi dari berita *online* maupun media sosial digunakan untuk menangkap fenomena yang terjadi di masyarakat. Ke depannya, optimalisasi berbagai sumber data transaksi dan *big data*, dengan metodologi statistik dan *machine learning* akan ditingkatkan untuk menyempurnakan kualitas data yang dihasilkan BPS.

Kata kunci: big data, kecerdasan artifisial, statistik ofisial

A. PENDAHULUAN

Seiring cepatnya perkembangan digitalisasi di berbagai bidang, terjadi pertumbuhan data besar yang merupakan hasil interaksi miliaran orang yang menggunakan komputer, perangkat GPS, ponsel, perangkat medis, transaksi keuangan online atau seluler, dan media sosial.

Implementasi kecerdasan artifisial (AI) dan adopsi teknologi dan berbagai sumber *big data* merupakan tantangan sekaligus peluang bagi Badan Pusat Statistik (BPS) untuk meningkatkan kualitas statistik yang dihasilkan dengan memberikan data yang lebih cepat, lebih murah, dan lebih terperinci untuk melengkapi statistik ofisial yang telah ada.

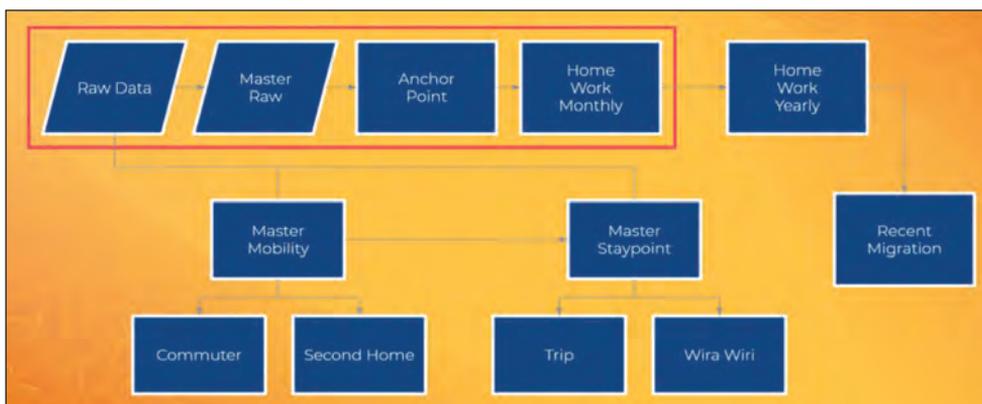
AI dapat diimplementasikan untuk menghasilkan statistik yang berasal dari data primer yang menggunakan model proses *generic statistical business process model* (GSBPM), dan juga untuk data sekunder (data administratif, *big data*, *non-probability sample*, dan sumber campuran). Berbagai sumber *big data* yang telah digunakan mulai dari *mobile positioning data* (MPD), citra satelit, media sosial, dan berita *online*.

Inisiatif pengembangan *big data* dan AI dilakukan oleh Direktorat Sistem Informasi Statistik, Politeknik Statistika STIS, Direktorat Analisis dan Pengembangan Model Statistik, serta berbagai divisi (*subject matter*) yang ada di BPS. Berikut ini *overview* singkat dari beberapa implementasi AI dan *big data* yang telah dilakukan.

B. MOBILE POSITIONING DATA (MPD) UNTUK OFFICIAL STATISTICS

BPS telah menggunakan MPD sebagai salah satu sumber data sejak tahun 2016 yang diinisiasi untuk proyek penghitungan statistik wisatawan mancanegara di area perbatasan. Selanjutnya, pemanfaatan MPD terus diperluas untuk menghasilkan statistik wisatawan Nusantara, statistik perilaku komuter, statistik wisatawan mancanegara pada wilayah destinasi super prioritas (DSP), dan deliniasi wilayah metropolitan.

Analisis MPD dilakukan untuk mengembangkan *framework* algoritma yang disebut sebagai *anchor mobility data analytics* (AMDA). AMDA bertujuan mengubah *raw* data MPD menjadi *insight* untuk kemudian dirumuskan kembali sebagai



Gambar 1. *Framework* AMDA

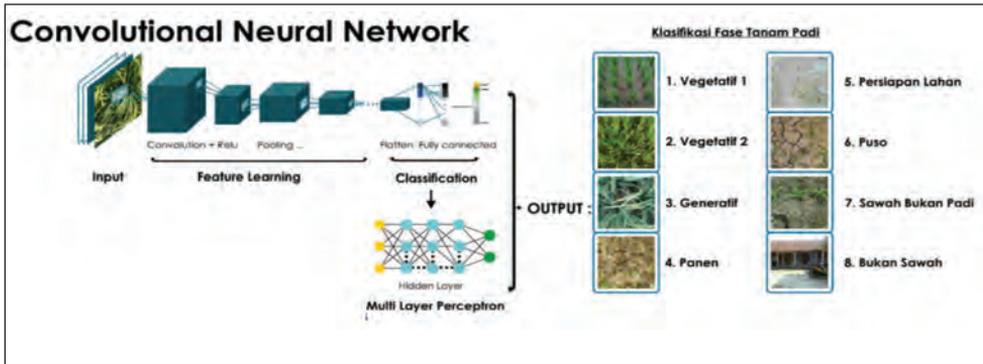
angka statistik sesuai dengan konsep definisi yang telah ditetapkan. Salah satu poin penting dalam AMDA adalah memetakan *usual environment* dari setiap pengguna berdasarkan data historis yang dimiliki. *Framework* AMDA dapat divisualisasikan komponen-komponennya pada Gambar 1.

Salah satu pergerakan manusia yang diamati melalui MPD adalah pola perilaku pariwisata. Konsep perjalanan (*trip*) yang digunakan adalah perjalanan yang dimulai dari lokasi *usual environment* menuju ke luar wilayah yang biasa dikunjungi hingga kembali lagi ke lokasi asal dengan berbasis pada batas wilayah administratif. Statistik yang dihasilkan berupa matriks kunjungan antarwilayah kabupaten/kota dan lama tinggal di daerah tujuan.

Pengamatan pergerakan manusia ini juga dimanfaatkan untuk menentukan deliniasi wilayah *metropolitan statistical area*. Pergerakan yang terjadi antara kecamatan dengan wilayah yang menjadi kota inti dihitung frekuensinya sebagai dasar penentuan kecamatan yang akan menjadi wilayah perluasan dari Kota Metropolitan. Tahun 2019 telah diselesaikan deliniasi Bandung Raya, dilanjutkan pada 2021 untuk wilayah Patungraya Agung dan Banjar Bakula.

C. IMPLEMENTASI *DEEP LEARNING* UNTUK KLASIFIKASI FASE TANAM PADI

Dalam rangka membantu BPS pada survei kerangka sampel area (KSA) padi, dibangun aplikasi yang mengimplementasikan *deep learning* untuk mengklasifikasikan secara otomatis fase tanam padi ke dalam delapan kelas, yaitu vegetatif 1, vegetatif 2, generatif, panen, persiapan lahan, puso, sawah bukan padi, dan bukan sawah. Gambar 2 menunjukkan bagan proses klasifikasi ini yang menggunakan algoritma *convolutional neural network*. Akurasi ketepatan prediksi saat ini mencapai 74%.



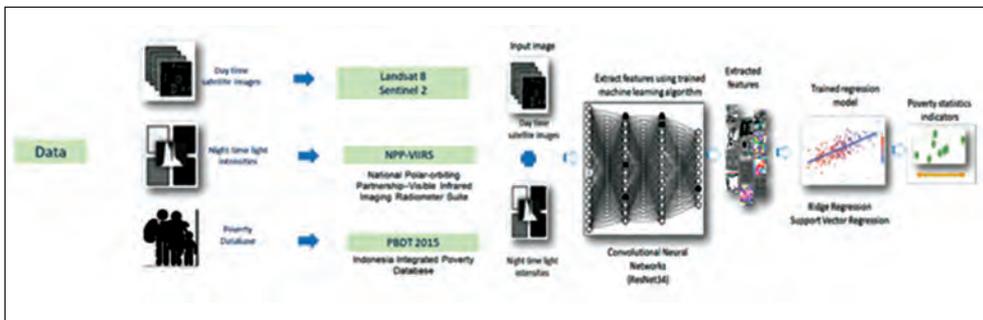
Gambar 2. Skema Klasifikasi Fase Tanam Padi dengan *Deep Learning*

D. PEMETAAN KEMISKINAN DENGAN CITRA SATELIT

Pemanfaatan *remote sensing* berdasarkan lokasi wilayah dengan atribut kondisi sosial ekonomi suatu wilayah melatarbelakangi pengembangan *remote sensing big data* untuk memprediksi lokasi kemiskinan.

Penggunaan *machine learning* serta lokasi citra yang menunjukkan aktivitas perekonomian suatu wilayah pada ukuran 1 km persegi dapat mendukung *official statistics* menyediakan data untuk kebijakan pengentasan kemiskinan dengan lebih cepat dan efisien.

Penggunaan intensitas cahaya malam sebagai pendekatan untuk mengukur pertumbuhan pendapatan daerah [1] mendasari pemodelan ini seperti ditampilkan pada Gambar 3. Intensitas cahaya malam dapat mewakili kondisi aktivitas sosial ekonomi [2] di suatu daerah, mengukur tingkat urbanisasi [3], pendapatan penduduk setempat [4], dan konsumsi listrik di suatu daerah [5][6].



Gambar 3. Data dan Algoritma Pemetaan Kemiskinan dengan Citra Satelit

Dalam memprediksi kemiskinan wilayah, digunakan *dataset* berupa citra satelit siang hari dan intensitas cahaya malam hari yang selanjutnya dilabelkan dengan tingkat kemiskinan dalam satuan ukuran *grid* 1 km persegi. Pada pembangunan model ini, digunakan data atribut kemiskinan yang tersedia pada tingkat rumah tangga melalui pendataan basis data terpadu (PBDT). Citra satelit siang yang digunakan berasal dari Satelit Landsat 8 dengan resolusi 30 m dan Sentinel 2 dengan resolusi 10 m. Sementara itu, data citra satelit malam menggunakan citra malam dari Satelit Suomi-NPP dengan menggunakan *visible infrared imaging radiometer suite* (VIIRS).

Proses ekstraksi citra satelit siang dan malam dalam bentuk *grid* sebelum dilakukan pemodelan dilakukan dengan *convolutional neural network* (CNN). Sementara itu, pada bagian pemodelan memprediksi lokasi kemiskinan digunakan *support vector machine* (SVM). SVM merupakan salah satu metode dalam *supervised learning* yang biasanya digunakan untuk klasifikasi (seperti *support vector classification*) dan regresi (*support vector regression*).

E. PREDIKSI INDEKS PEMBANGUNAN DESA (IPD) DENGAN MENGGUNAKAN CITRA SATELIT

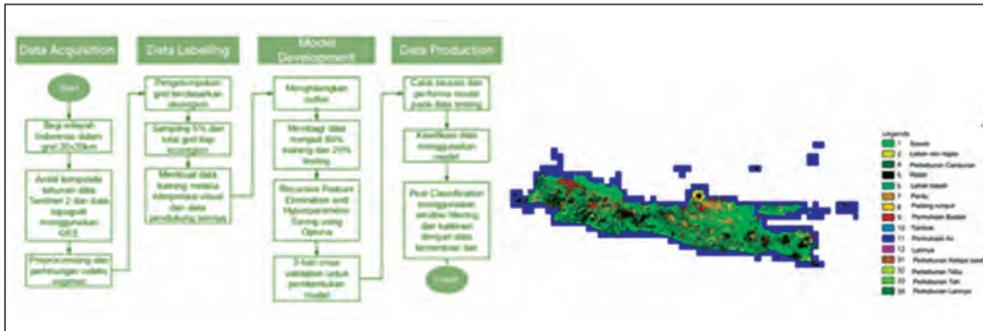
Use case ini mengombinasikan sumber *big data* citra satelit intensitas cahaya malam hari dengan teknik *transfer learning* untuk memprediksi status indeks pembangunan desa dengan mengasumsikan bahwa pembangunan infrastruktur dan aktivitas perekonomian malam hari menjadi prediktor nilai indeks pembangunan desa (IPD) [7]. Teknik *convolutional neural network* (CNN) dan *ridge regression* digunakan dalam metode penelitian ini.

F. KLASIFIKASI TUTUPAN LAHAN PERTANIAN UNTUK PERSIAPAN SENSUS PERTANIAN 2023

Indonesia sebagai negara agraris memiliki berbagai tipe lahan pertanian. Citra satelit dapat merekam perubahan penggunaan lahan dari berbagai tipe lahan pertanian secara mutakhir dan mencakup seluruh wilayah di Indonesia.

Dengan menggunakan *machine learning* untuk mengklasifikasi data citra satelit ke dalam berbagai tipe lahan pertanian, BPS dapat menghasilkan kerangka statistik spasial berupa tutupan lahan pertanian untuk mendukung pelaksanaan sensus pertanian 2023.

Model klasifikasi tutupan lahan pertanian yang digunakan memiliki akurasi rata-rata lebih dari 93,6% (*F-1 score*). Sementara itu, akurasi di bawah 80% terjadi pada kelas tertentu, seperti kelas perkebunan campuran, karena tingginya heterogenitas karakteristik piksel.



Gambar 4. Tahapan Pengklasifikasian Tutupan Lahan Pertanian dan Contoh Visualisasinya

G. MIND MAP GENERATOR OTOMATIS BERITA BENCANA ALAM INDONESIA

Automatic mind map generator dibangun untuk memahami isi suatu artikel kebencanaan dengan mengekstrak ide atau informasi utama dari sebuah artikel. Input dari alat ini adalah sebuah artikel dan output-nya adalah visualisasi *mind map*. Pembangunan *automatic mind map generator* membutuhkan model klasifikasi akurat yang digunakan untuk mengekstrak ide-ide utama dari artikel input. Model dapat mengklasifikasikan kalimat-kalimat dalam paragraf apakah itu mewakili informasi atau tidak. Artikel dapat menjadi informasi dengan struktur yang dapat menjelaskan *what, when, where, why, who, or how* suatu berita terkait bencana. Pemodelan artikel dilakukan menggunakan algoritma *SVM one vs rest* dengan kernel linier yang merupakan turunan dari SVM yang menyederhanakan klasifikasi *multiclass* menjadi klasifikasi biner.

H. ANALISIS FENOMENA SOSIAL MEDIA DAN BERITA

Informasi tentang fenomena dapat dikumpulkan dari berbagai sumber, salah satunya berita dari portal berita *online* dan konten di media sosial. Informasi mengenai fenomena dari berita *online* dan media sosial dikumpulkan dan diolah menggunakan salah satu metode *artificial intelligence*, yakni *natural language processing* (NLP). Pengumpulan data dilakukan setiap triwulan dengan mengumpulkan berita dan konten *online* pada hasil pencarian media sosial dari 604 kata kunci yang telah ditentukan. Data berita *online* dikumpulkan oleh aplikasi Kofax Kapow, sedangkan data dari media sosial Twitter dikumpulkan dengan memanfaatkan fasilitas *application programming interface* (API) yang disediakan oleh Twitter.

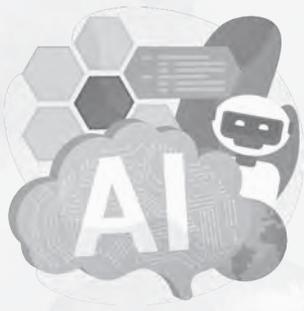
Data dianalisis menggunakan metode *named entity recognition* (NER) dan metode analisis sentimen. Data fenomena yang telah dianalisis disajikan melalui platform *website* yang disebut “Fenomena BPS”. Di situs ini, pengguna (internal BPS) dapat mencari berita online dan konten media sosial serta fenomena yang ada di dalamnya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. V. Henderson, A. Storeygard, dan D. N. Weil, "Measuring economic growth from outer space," *American Economic Review*, vol. 102, no. 2, pp. 994–1028, April 2012, doi: 10.1257/aer.102.2.994.
- [2] X. Chen dan W. D. Nordhaus, "Using luminosity data as a proxy for economic statistics," in *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, vol. 108, no. 21, Mei 2011, pp. 8589–8594, doi: 10.1073/pnas.1017031108.
- [3] S. D. Miller, S. P. Mills, C. D. Elvidge, D. T. Lindsey, T. F. Lee, dan J. D. Hawkins, "Suomi satellite brings to light a unique frontier of nighttime environmental sensing capabilities," dalam *Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America*, 2012 Sep 25, doi: 10.1073/pnas.1207034109
- [4] K. Ivan, I. H Holobăca, J. Benedek, dan I. Török, "VIIRS nighttime light data for income estimation at local level," *Remote Sensing*, vol. 12, no. 18, pp. 1–19, Sept. 2020, doi: 10.3390/rs12182950.
- [5] C. N. H. Doll dan S. Pachauri, "Estimating rural populations without access to electricity in developing countries through night-time light satellite imagery," *Energy Policy*, vol. 38 no. 10, pp. 5661–5670, Okt. 2010, doi: 10.1016/j.enpol.2010.05.014.
- [6] C. D. Elvidge, K. E. Baugh, E. A Kihn, H. W. Kroehl, E. R. Davis, dan C. W. Davis, "Relation between satellite observed visible-near infrared emissions, population, economic activity and electric power consumption," *International Journal of Remote Sensing*, Vol. 18, no. 6, pp. 1373–1379, Nov. 2010, doi: 10.1080/014311697218485.
- [7] D. Purnawanto, R. Nooraeni, dan N. W. K. Projo, "Estimating village development index based on satellite imagery using machine learning application," in *2020 International Conference on Applied Science and Technology (iCAST)*, 2020, pp. 527-531, doi: 10.1109/iCAST51016.2020.9557623.
- [8] D. Kristiyani dan A. W. Wijayanto, "Preserving women public restroom privacy using convolutional neural networks-based automatic gender detection," in *International Conference on Data Science and Official Statistics (ICDSOS) 2021*, 2021.
- [9] G. Tilottama, R. L. Powell, C. D. Elvidge, K. E. Baugh, P. C. Sutton, dan S. Anderson, "Shedding light on the global distribution of economic activity," *The Open Geography Journal*, vol. 3, no.1, pp. 1–31, Jan. 2010.
- [10] A. R. S Nugroho, A. R. M. N. S. P. Munaf, W. O. Z. Madjjida, A. P. Putra, dan I. A. Setyadi, "Home and work identification process using mobile positioning data," in *Conference Of European Statisticians: Expert Meeting on Statistical Data Collection*, UNECE, Sept 2021.
- [11] P. D. Prabawa, H. T. Soblia, Y. F. Amin, W. Albertha, dan E. Seriwawan, "The use of mobile positioning data (MPD) to delineate metropolitan area in Indonesia: Case study in Cekungan Bandung" in *2020 Asia-Pacific Statistics Week*, Bangkok, Thailand, United Nations ESCAP, Juni 2020.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 5

PEMANTAUAN BERKELANJUTAN MENGGUNAKAN PROCESS MINING PADA LAYANAN PUBLIK DIGITAL

Johan Tambotoh¹ & Ford Lumban Gaol²

¹ UKSW Salatiga, ² Binus University

ABSTRAK

Transformasi digital yang juga berdampak pada sektor publik membutuhkan audit proses yang berkelanjutan. Salah satu metode audit proses adalah menggunakan *process mining* (PM). Penelitian audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan PM serta bentuk penerimaan teknologinya di sektor publik masih jarang dilakukan. Penelitian ini dilakukan untuk membangun kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan PM sebagai bentuk pengukuran kinerja dan kesesuaian proses. Paradigma penelitian yang digunakan, yaitu *design science research methodology* yang mengintegrasikan beberapa metode, seperti *systematic literature review*, metode Delphi, demonstrasi, dan *structural equation modeling* untuk uji penerimaan pada digitalisasi layanan administrasi kependudukan. Hasil penelitian adalah kerangka kerja PRO-CAM yang berisi enam komponen atau alur kerja dan 40 sub-komponen atau aktivitas audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan PM. Kerangka kerja ini menjadi dasar pengembangan aplikasi yang dilengkapi dengan otomasi *event-log* sebagai bentuk audit dan pemantauan berkelanjutan. Kesesuaian dan kinerja proses dapat dihitung berdasarkan jenis PM. Hasil selanjutnya adalah tervalidasinya model penerimaan teknologi, yaitu aplikasi PRO-CAM untuk melakukan audit dan pemantauan proses bisnis secara berkelanjutan.

Kata kunci: audit, pemantauan berkelanjutan, *process mining*, layanan publik digital

A. PENDAHULUAN

Pada pertengahan tahun 2019, tidak begitu banyak pemangku kepentingan yang tertarik pada transformasi digital. Namun, ada beberapa isu yang terkait transformasi digital, seperti biaya dan adaptasi. Akibatnya, transformasi digital di sektor publik menjadi bagian dari metode kerja yang mengubah cara pelayanan kepada masyarakat [1]. Transformasi digital ini membutuhkan inovasi digital di sistem pemerintahan yang mencakup proses internal, proses eksternal, kebijakan, layanan, dan produk [2].

J. Tambotoh, & F. L. Gaol
Universitas Kristen Satya Wacana Salatiga, e-mail: johan.tambotoh@uksw.edu

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
J. Tambotoh, and F. L. Gaol, "Pemantauan berkelanjutan menggunakan process mining pada layanan publik digital," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 5, pp. 55-66, doi: 10.55981/brin.668.c539
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

Pada awal 2020, tepatnya Maret, pandemi Covid-19 terjadi di Indonesia. Kemudian, kegiatan kita dipaksa untuk berpindah dari konvensional ke digital. Proses transformasi digital adalah proses iteratif, di mana proses bisnis perlu dipantau, dikendalikan, dan diukur (atau diaudit) prosesnya [3][4]. Transformasi digital ini harus dilakukan secara lincah (*agile*), bisa bergerak, bisa terbuka, dan berkelanjutan [5].

Salah satu hal yang diperhatikan adalah bagaimana audit proses dapat mencerminkan kebutuhan transformasi digital yang berkelanjutan (*continuous auditing and continuous monitoring*) [6]. Untuk kebutuhan audit dan pemantauan berkelanjutan tersebut, kita melakukan penggalian proses atau *process mining* [7]. PM merupakan irisan antara *data mining* dan *business process model* (BPM) [8] yang berfokus pada pemahaman proses untuk membantu menangkap temuan yang signifikan untuk kepentingan audit dan pemantauan [9]. Dengan demikian, PM menjadi teknik analitik data yang diterapkan pada audit dan pemantauan proses bisnis [10][11]. Hal ini menjadi dasar usulan kegiatan penelitian ini, yakni sebuah kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan menggunakan PM. Kerangka kerja ini diuji secara empiris pada implementasi tanda tangan elektronik (TTE) pada dokumen digital di Direktorat Jenderal Kependudukan dan Catatan Sipil, Kementerian Dalam Negeri. Penandatanganan selalu dimulai dengan proses dan kinerja sehingga dapat diaudit dan dipantau secara sistem. Sistem dapat mengetahui kesesuaian berdasarkan proses dan kinerja pada proses tanda tangan elektronik.

B. PROCESS MINING LAYANAN TANDA TANGAN ELEKTRONIK DI DUKCAPIL

Ada beberapa pertanyaan penelitian, yaitu (1) apa saja komponen yang membentuk kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM?, (2) bagaimana membangun kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM untuk mengukur kinerja dan kesesuaian proses?, (3) bagaimana evaluasi dan penerimaan kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM pada layanan digital di sektor publik.

Tujuan penelitian sebagai berikut.

1. Mengidentifikasi komponen yang membentuk kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM;
2. Membangun kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM untuk mengukur kinerja dan kesesuaian proses;
3. Mengetahui hasil evaluasi dan penerimaan kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM pada layanan digital di sektor publik.

Tujuan kedua dan ketiga adalah kebaruan penelitian ini (*novelty*).

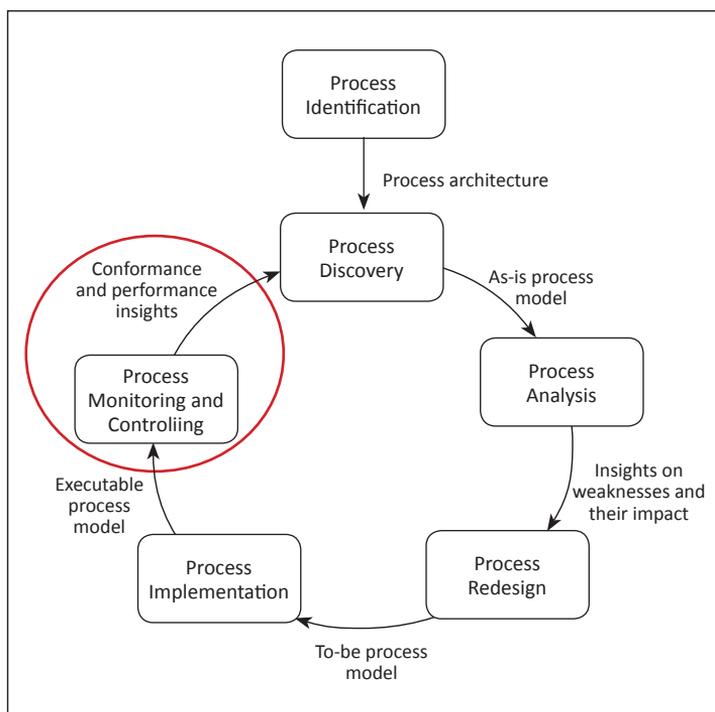
Manfaat penelitian secara teoritis adalah memberikan kontribusi teori pada penerapan *continuous auditing and monitoring*, *business process management*, dan *process mining*.

Manfaat praktis penelitian sebagai berikut.

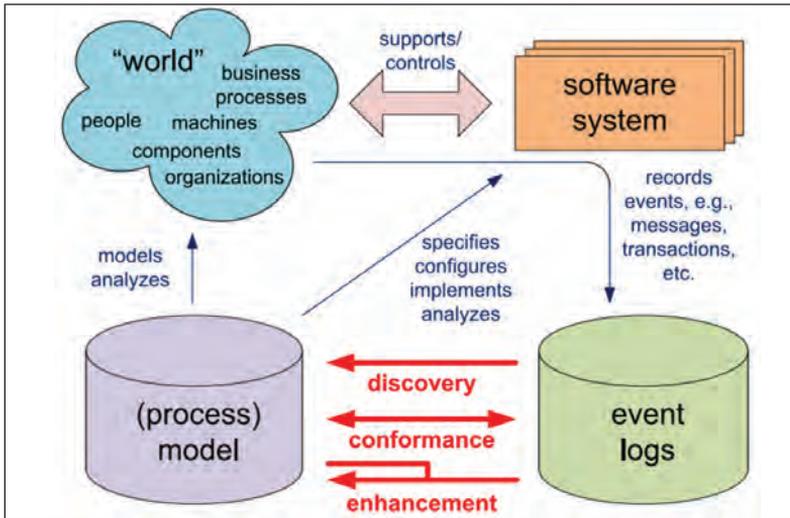
1. Kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan berdasarkan metode PM memungkinkan penggunaannya untuk melakukan audit proses secara menyeluruh dan berkelanjutan;
2. Aplikasi berdasarkan kerangka kerja PRO-CAM yang telah divalidasi melalui uji kegunaan dan penerimaan;
3. Aplikasi diharapkan mendukung perubahan dan perbaikan proses bisnis sebagaimana prinsip dan karakteristik transformasi digital.

Business process management (BPM) atau manajemen proses bisnis adalah kumpulan metode, teknik, dan alat untuk mengidentifikasi, menemukan, menganalisis, mendesain ulang, melaksanakan, dan memantau proses bisnis untuk mengoptimalkan kinerjanya. Proses pemantauan dan pengendalian adalah salah satu tahapan dari BPM.

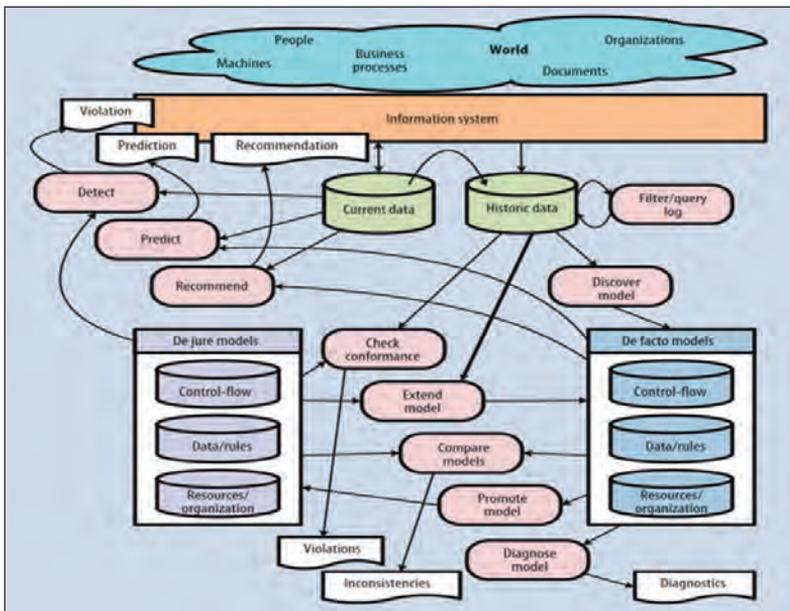
Tujuan dari PM adalah menemukan, memantau, dan meningkatkan proses nyata (sebagai lawan dari proses yang diasumsikan) dengan mengekstraksi pengetahuan dari log peristiwa (*event log*) pada sistem informasi, seperti yang kita lihat pada Gambar 2.



Gambar 1. Manajemen Proses Bisnis [12]

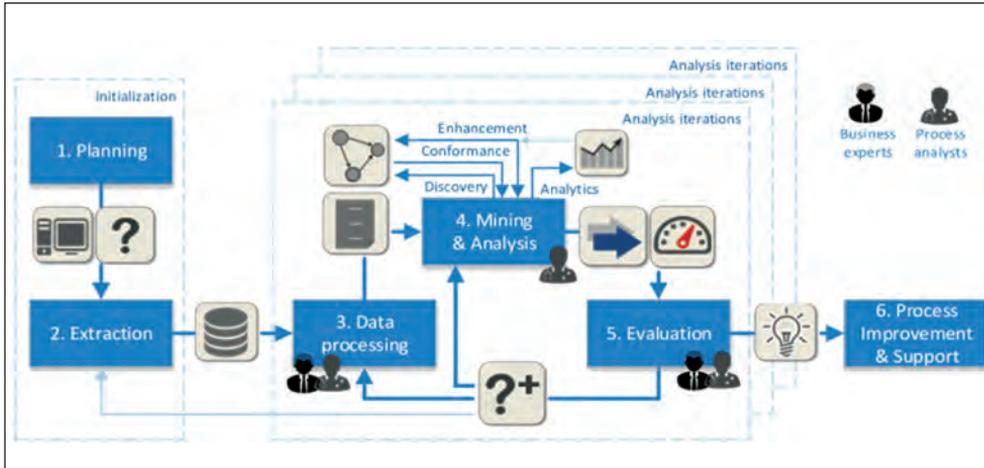


Gambar 2. Alur *Process Mining* [8]

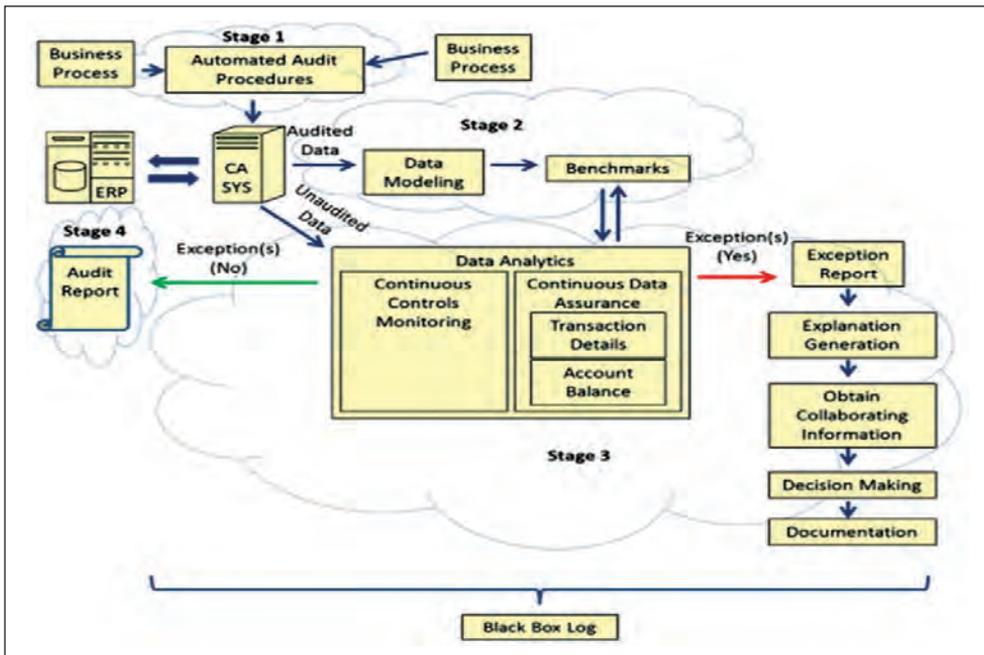


Gambar 3. Auditing 2.0 Menggunakan *Process Mining* [8]

Penggunaan PM untuk audit telah diperkenalkan oleh van der Aalst pada 2010, tetapi belum ada penelitian yang difokuskan pada pemantauan berkelanjutan, terutama pada layanan digital publik. Gambar 3 mendeskripsikan *process mining* yang diterapkan sebagai model Auditing 2.0. Dalam perkembangannya, PM memiliki metodologi yang dapat dijadikan dasar proses pemantauan berkelanjutan, sebagaimana metodologi PM yang dikembangkan oleh van Eck yang menjadi acuan metodologi yang dikembangkan dalam penelitian ini (Gambar 4).



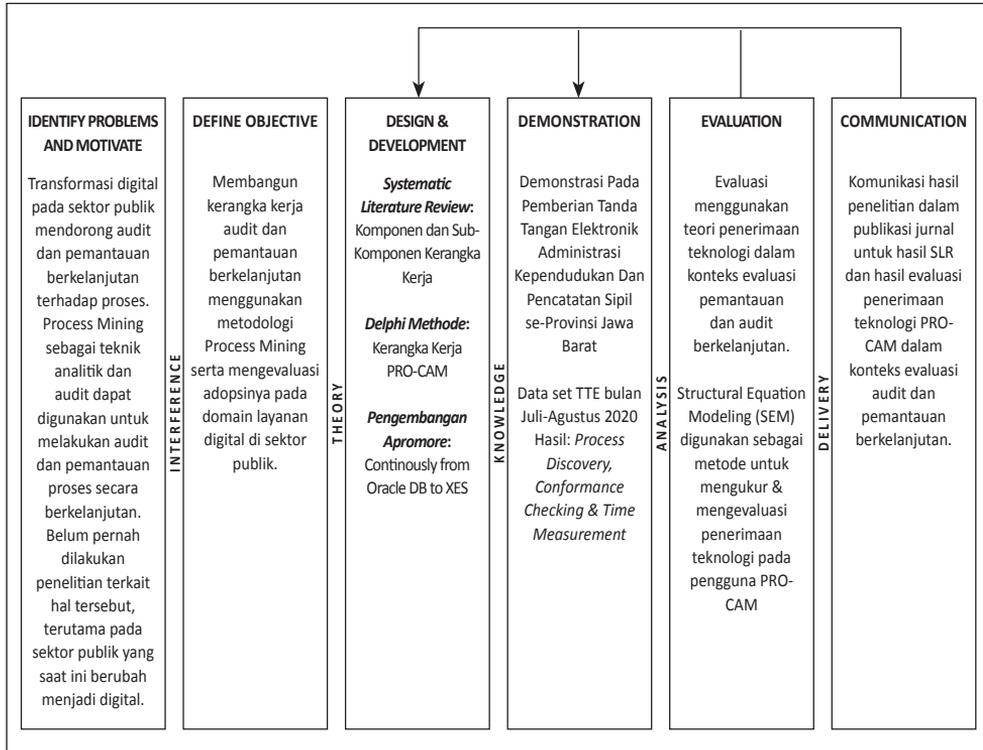
Gambar 4. Metodologi *Process Mining* [13]



Gambar 5. Metodologi Audit dan Pemantauan Berkelanjutan [6]

Gambar 5 merupakan metodologi dari aspek *continuous auditing and monitoring*, di mana terdapat otomatisasi prosedur audit, pemodelan data, dan pengembangan *benchmark*, analisis data, dan pelaporan. Proses-proses dapat dipantau melalui ekstraksi *event log* yang dihasilkan. Metodologi audit dan pemantauan berkelanjutan ini yang menjadi dasar penerapan metodologi PM yang akan dikembangkan serta diuji dalam implementasi TTE.

Pendekatan penelitian yang digunakan, yaitu *design science research methodology* [14]. Tahapan penelitian mengintegrasikan beberapa metode, seperti *systematic literature review*, metode Delphi, demonstrasi dan *structural equation modeling* untuk uji penerimaan pada digitalisasi layanan administrasi kependudukan, seperti pada Gambar 6.

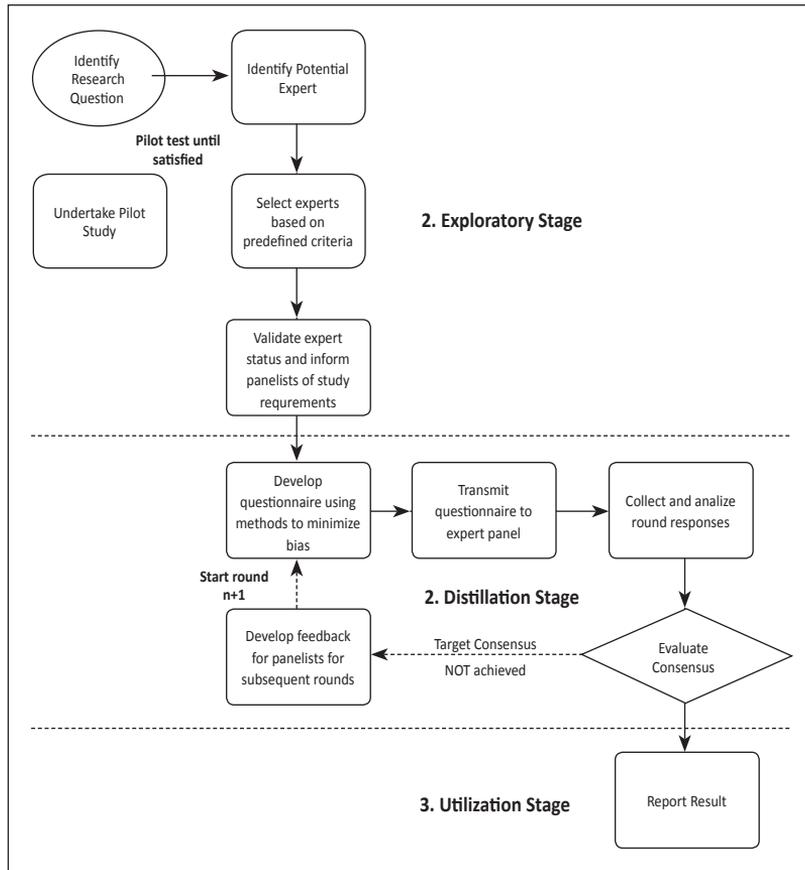


Gambar 6. Kerangka Penelitian

1. Pembangunan Kerangka Kerja

Pembangunan kerja kerja dilakukan berdasarkan metode Delphi (Gambar 7) dengan tahapan:

- a. Identifikasi RQ: pembangunan kerangka kerja *process mining for continuous auditing & monitoring* (PRO-CAM);
- b. Identifikasi pakar potensial yang terdiri dari tiga kelompok, yaitu auditor, *process mining*, dan *government/public sector*;
- c. Pemilihan dan penetapan pakar sebanyak 15 orang;
- d. Pengembangan kuesioner dan pengumpulan data;
- e. Identifikasi pendapat pakar;
- f. Konsensus;
- g. Validasi dan evaluasi PRO-CAM.



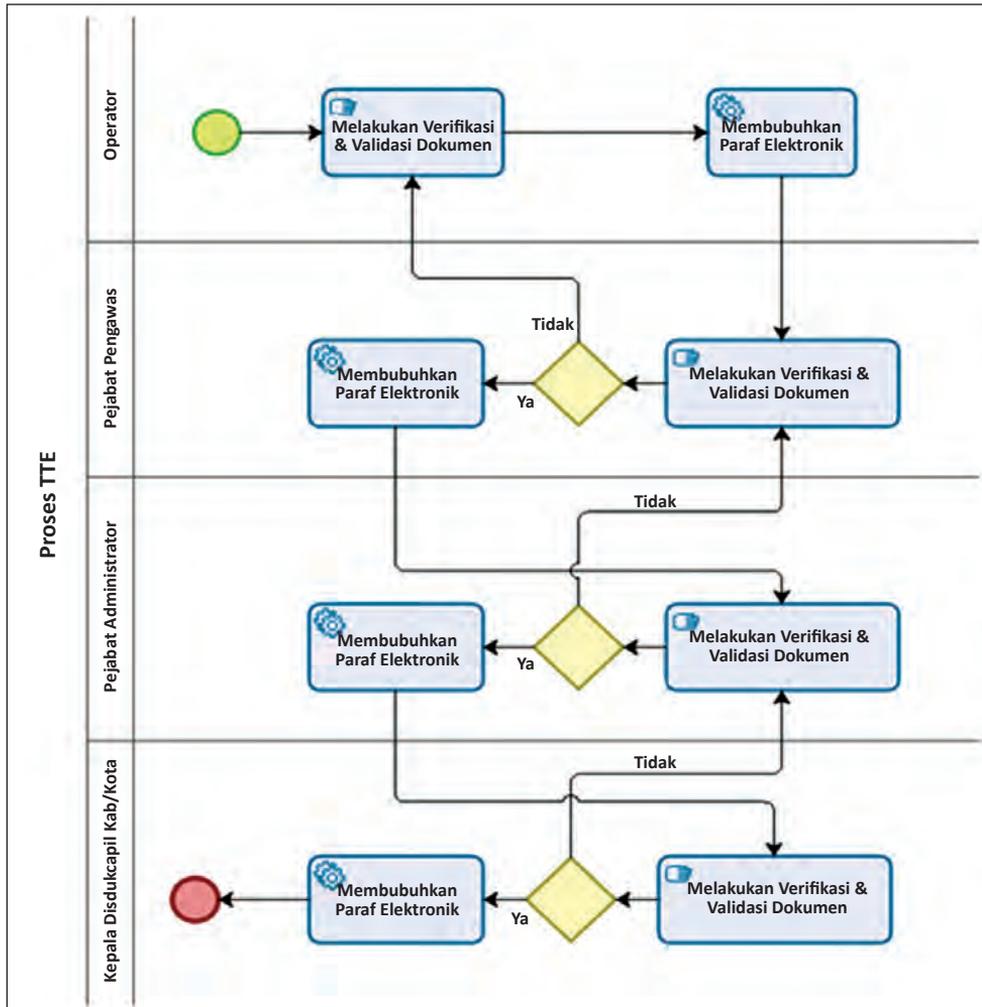
Gambar 7. Kerangka Kerja Metode Delphi [15]

2. Pemantauan Berkelanjutan Menggunakan PRO-CAM

Tahapan-tahapan yang dilakukan pada pemantauan berkelanjutan menggunakan PRO-CAM:

- Audit dan pemantauan berkelanjutan mengacu pada Audit 2.0 [8] dengan membandingkan SOP dan data aktual;
- Otomasi *event log* ke XES dilakukan setiap hari sehingga prinsip audit dan pemantauan berkelanjutan terpenuhi;
- Data yang digunakan pada demonstrasi ini adalah data harian tanggal 1 Maret 2020 dan 1 Agustus 2020;
- Data tanggal 1 Maret digunakan untuk melihat kondisi yang terjadi. Setelah dilakukan intervensi/perbaikan layanan, data tanggal 1 Agustus digunakan sebagai pembandingan;
- Data diambil harian dimulai pukul 18.00 setelah layanan administrasi kependudukan;
- Data yang digunakan adalah TTE Kartu Keluarga di Provinsi Jawa Barat.

Langkah-langkah yang ditetapkan dalam SOP tanda tangan elektronik yang ditetapkan oleh Pasal 10 ayat (1) Permendagri No.7 tahun 2019 tentang Pelayanan Administrasi Kependudukan secara Daring diterjemahkan ke dalam alur proses pada Gambar 8.



Gambar 8. Alur Proses TTE sesuai Permendagri No. 7 tahun 2019

Buku ini tidak diperjualbelikan.

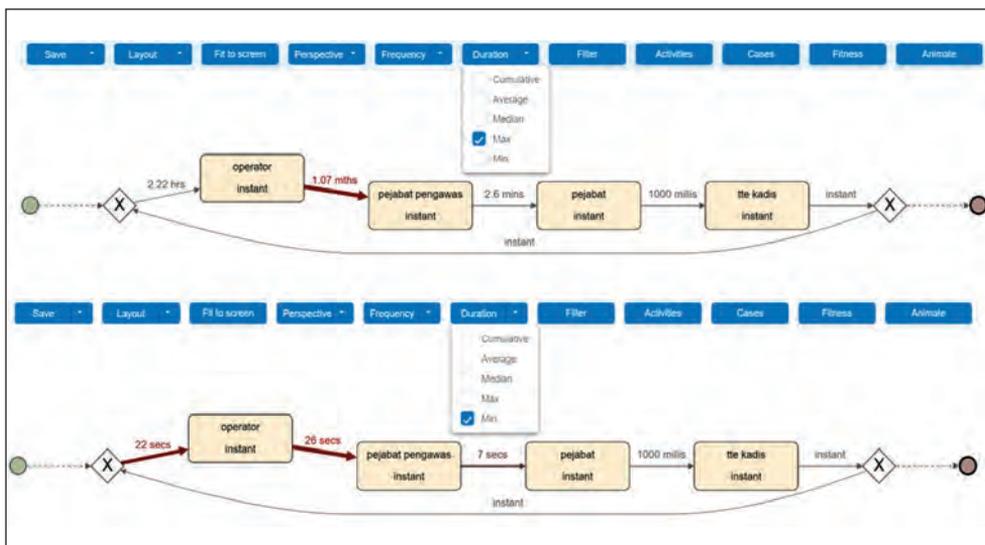
Hasil pengukuran *conformance checking* sebagai berikut.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Pengecekan Kesesuaian

No	Jenis Cases	Cases	%
1	Sesuai	891	98.78
2	Tidak Sesuai	11	1.22
Total		902	100

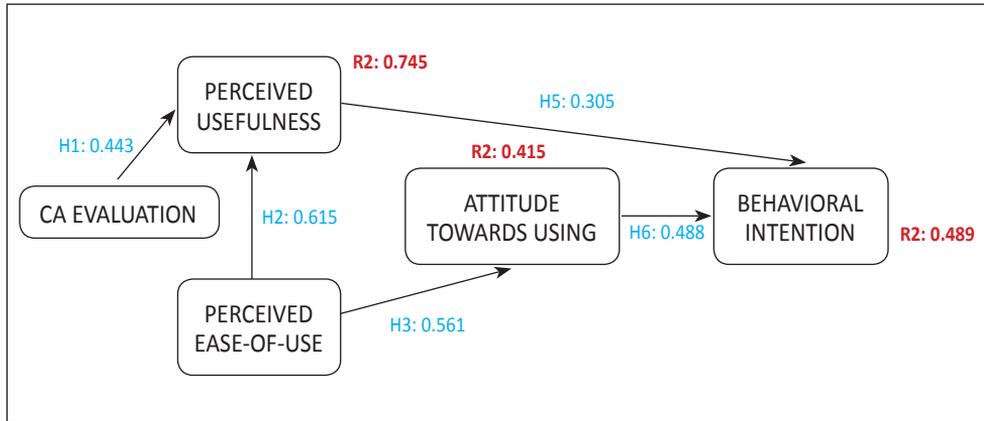
No	Cases ID	No. KK	Panjang Case	Varian ke-
1	45	320xxxxxxxxx006	8	2
2	79	320xxxxxxxxx794	8	2
3	105	320xxxxxxxxx015	8	2
4	169	321xxxxxxxxx004	8	2
5	183	320xxxxxxxxx002	8	2
6	199	320xxxxxxxxx026	8	2
7	545	327xxxxxxxxx010	8	2
8	852	320xxxxxxxxx009	8	2
9	854	320xxxxxxxxx008	8	2
10	866	320xxxxxxxxx008	8	2
11	551	320xxxxxxxxx020	12	3

Kemudian hasil pengukuran kinerja secara waktu ditunjukkan oleh Gambar 9.



Gambar 9. Hasil Pengukuran Kinerja Waktu

Selanjutnya, pada bagian akhir dilakukan uji penerimaan PRO-CAM sebagai teknologi yang membantu pengguna, yakni Kepala Dinas Kependudukan dan Pencatatan Sipil dalam memantau proses pemberian TTE. Gambar 10 merupakan hasil pengujian statistik menggunakan pendekatan SEM dengan teori penerimaan teknologi (*technology acceptance model*).



Gambar 10. Hasil Pengukuran Adopsi Teknologi

Nilai R2 menunjukkan konstruk persepsi kegunaan (PU) yang mengacu pada persepsi pengguna tentang artefak dalam memberikan manfaat bagi penggunanya memiliki kapasitas prediksi yang baik dan substansial sebesar 0,75. Persepsi penggunaan sendiri dipengaruhi variabel eksternal, yaitu evaluasi audit dan pemantauan berkelanjutan (CA). Hal ini menunjukkan persepsi kegunaan yang dilihat dari sistem memberikan pengaruh yang signifikan. Konstruk sikap terhadap pengaplikasian teknologi (AT) diartikan sebagai evaluasi dari pemakai tentang keingintahuannya dalam menggunakan teknologi dan kecenderungan perilaku (BI) untuk tetap mengaplikasikan sebuah teknologi memiliki pengaruh sedang dengan nilai R2 masing-masing sebesar 0,41 untuk AT dan 0,48 untuk BI.

Dalam uji hipotesa berdasarkan uji coba penggunaan aplikasi sebagai artefak kerangka kerja PRO-CAM, ditemukan bahwa persepsi penggunaan (PU) tidak memiliki hubungan yang signifikan terhadap sikap pengaplikasian teknologi (AT). Hal ini menunjukkan bahwa persepsi penggunaan tidak terlalu berpengaruh pada sikap untuk menggunakan karena aplikasi ini relatif baru dan aplikasi ini sifatnya wajib untuk digunakan dalam melakukan audit dan pemantauan proses bisnis secara berkelanjutan. Aplikasi memiliki sifat khusus, yaitu untuk audit dan pemantauan proses bisnis secara berkelanjutan berdasarkan PM.

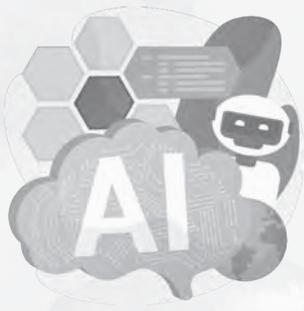
C. KESIMPULAN

1. Teridentifikasinya komponen dan subkomponen pembentuk kerangka kerja berdasarkan PM *project methodology* dan paradigma proses audit dan pemantauan berkelanjutan.
2. Terbangunnya kerangka kerja dan *tools* yang diberi nama PRO-CAM, yang dapat dijalankan secara otomatis untuk mengonversi *event-log* menjadi XES sebagai bentuk *continuously data stream* sebagaimana prinsip audit dan pemantauan berkelanjutan.
3. Audit dan pemantauan berkelanjutan menggunakan PM dapat dilakukan untuk mengukur kinerja dan kesesuaian, hasil demonstrasinya menunjukkan bahwa kinerja dan kesesuaian dapat diukur sehingga menjadi dasar pelaksanaan audit dan pemantauan berkelanjutan.
4. Tervalidasinya model penerimaan teknologi dengan aplikasi PRO-CAM pada kasus pemberian tanda tangan elektronik layanan administrasi kependudukan, hasil menunjukkan bahwa persepsi penggunaan (PU) tidak terlalu berpengaruh pada sikap untuk menggunakan (AT) karena t *valuenya* $< 1,96$. Hal ini karena aplikasi PRO-CAM relatif baru dan aplikasi ini sifatnya wajib untuk digunakan dalam melakukan audit dan pemantauan proses bisnis secara berkelanjutan.
5. Sejalan dengan hal tersebut, penelitian telah berkontribusi secara teoretis pada teori dan penelitian audit dan pemantauan berkelanjutan, pemantauan proses pada tahapan BPM, dan PM.
6. Secara praktis, penelitian ini dapat berkontribusi pada pembangunan kerangka kerja audit dan pemantauan berkelanjutan dengan metode PM melalui pengembangan *tools* audit proses yang merupakan *warning system* untuk layanan administrasi kependudukan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] E. Andrews. "Making a success of digital government." Institute for Government, 2016. [Online]. Available: <https://www.instituteforgovernment.org.uk/blog/making-success-digital-government>
- [2] P. Kokkinakos, O. I. Markaki, S. Koussouris, dan J. Psarras. "Digital transformation: Is public sector following the enterprise 2.0 paradigm?" dalam *International Conference Digital Transformation and Global Society*, pp. 96–105, 2016.
- [3] M. Werner, N. Gehrke, dan M. Nüttgens, "Towards automated analysis of business processes for financial audits," dalam *Wirtschaftsinformatik Proceedings 2013*, pp. 375–89. <http://www.wi2013.de/proceedings/WI2013 - Track 3 - Werner.pdf>
- [4] D.K.C. Delgado, "Governance model for digital transformation." 2017. [Online]. Available: <https://www.semanticscholar.org/author/D.-Delgado/2061830629>
- [5] J-L. Leignel, T. Ungaro, dan A. Staar. *Digital Transformation: Information System Governance*. London, UK: John Willey & Sons, 2016.

- [6] D. Y. Chan, V. Chiu, dan M. A. Vasarhelyi, Eds. *Continuous Auditing: Theory and Application*. United Kingdom: Emerald Publishing, 2018.
- [7] M. Jans, "Auditor choices during event log building for process mining," *Journal of Emerging Technologies in Accounting*, Vol. 16, pp. 59–67, 2019.
- [8] W. van der Aalst, "Data science in action," dalam *Process Mining*. Berlin: Springer, pp. 3–23, 2016. https://doi.org/10.1007/978-3-662-49851-4_1
- [9] J. Eggers dan A. Hein, "Turning big data into value: A literature review on business value realization from process mining," dalam *European Conference on Information Systems*, pp. 1–21, 2020.
- [10] M. J. Jans, N. Lybaert, K. Vanhoof, dan J. M. van Der Wert, "Business process mining for internal fraud risk reduction: Results of a case study," *Business*, pp. 1–8, 2008. https://www.researchgate.net/publication/254524070_Business_Process_Mining_for_Internal_Fraud_Risk_Reduction_Results_of_a_Case_Study
- [11] A. Kurniati, G. Kusuma, dan G. A. A. Wisudiawan, "Designing application to support process audit using process mining," *Journal of Theoretical and Applied Information Technology*, Vol. 80, pp. 473–80, Oktober 2015.
- [12] M. Dumas, M. La Rosa, J. Mendling, dan H. A. Reijers. *Fundamentals of Business Process Management*. Germany: Springer, 2018.
- [13] M. L. van Eck, X. Lu, S. J.J. Leemans, dan W. van der Aalst, "PM2: A process mining project methodology," dalam J. Zdravkovic, M. Kirikova, dan P. Johannesson, Eds., *Advanced Information Systems Engineering. CAiSE 2015. Lecture Notes in Computer Science*, pp.297–313, 2015.
- [14] K. Peffers, T. Tuunanen, M. A. Rothenberger, dan S. Chatterjee. "A design science research methodology for information systems research," *Journal of Management Information Systems*, Vol. 24, pp. 45–77, 2007.
- [15] R. Skinner, R. R. Nelson, W. W. Chin, dan L. Land, "The Delphi method research strategy in studies of information systems," *Communications of the Association for Information Systems*, Vol., pp. 31–63, Januari 2015. Skinner



CHAPTER 6

ROBOT RAISA: ROBOT PELAYAN UNTUK RUANG PERAWATAN PASIEN COVID-19

I Ketut Eddy Purnama^{a,1}, Muhtadin^{a,2}, Ahmad Zaini^{a,3}, & Rudy Dikairono^{b,4}

^aDepartemen Teknik Komputer, ^bDepartemen Teknik Elektro
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS)

ABSTRAK

Penyakit Coronavirus (Covid-19) diidentifikasi sebagai penyebab wabah penyakit pernapasan yang telah menginfeksi banyak negara di dunia dan menyebabkan banyak kasus kematian. Di Indonesia, virus tersebut telah menginfeksi ratusan orang serta menimbulkan kasus kematian, di antaranya terdapat dua dokter spesialis dan satu orang perawat yang meninggal karena terinfeksi virus ini dari pasien yang dirawatnya. Seperti halnya penyakit menular lainnya, tenaga kesehatan memiliki risiko yang sangat tinggi ketika merawat pasien dengan kasus infeksi penyakit menular. Kondisi ini sangat tidak menguntungkan bagi sistem kesehatan sebuah negara karena tenaga medis yang seharusnya menjadi garda depan dalam menangani pasien, malah dapat menjadi pasien karena terinfeksi oleh pasien lain. Hal ini akhirnya menyebabkan kekurangan tenaga medis untuk menghadapi kasus-kasus epidemik maupun pandemik, seperti halnya kasus Covid-19. ROBOT Raisa berhasil dikembangkan, yaitu robot pelayan (*service robot*) yang digunakan oleh tenaga medis untuk memberikan pelayanan kepada pasien dengan risiko penularan yang tinggi. Robot pelayan ini membawa logistik ke pasien dengan cara dikendalikan dari jarak jauh oleh tenaga medis, dengan menggabungkan berbagai sensor yang diletakkan pada robot berbasis kecerdasan artifisial. Robot RAISA sudah tersedia di beberapa rumah sakit pemerintah maupun swasta untuk membantu dokter melayani pasien dengan meminimalisasi kontak dengan pasien.

Kata kunci: Covid-19, robot service, robot pelayan, robot RAISA

¹ **I Ketut Eddy Purnama**, lulus dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya, Indonesia, dengan gelar sarjana teknik elektro pada 1994. Pada 1999, ia mendapatkan gelar magister dari Institut Teknologi Bandung, Indonesia. Pada 2007, ia menerima gelar Ph.D. dari Universitas Groningen, Belanda. Minat penelitiannya meliputi *medical image analysis*, *computer vision*, dan *image understanding*.

² **Muhtadin** menyelesaikan pendidikan sarjana dan master dari Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), masing-masing pada 2006 dan 2009. Minat penelitiannya meliputi robotik, IoT, *machine learning*, dan kecerdasan artifisial.

³ **Ahmad Zaini** menyelesaikan pendidikan sarjana dan master dari Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), masing-masing pada 2000 dan 2009. Minat penelitiannya meliputi *embedded system*, dan IoT.

⁴ **Rudy Dikairono** menyelesaikan pendidikan sarjana dan master dari Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) masing-masing pada 2005 dan 2009. Setelah lulus program magister dari ITS, dia menyelesaikan program doktor di departemen yang sama pada 2021. Minat penelitiannya meliputi *robotic* dan *embedded system*.

I. K. E. Purnama, Muhtadina, A. Zaini, and R. Dikaironob
Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS), e-mail: ketutedi@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
I. K. E. Purnama, Muhtadina, A. Zaini, and R. Dikaironob, "Robot RAISA: Robot pelayan untuk ruang perawatan pasien Covid-19," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 6, pp. 67-73, doi: 10.55981/brin.668.c540

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

Penyakit *coronavirus* (Covid-19) diidentifikasi sebagai penyebab wabah penyakit pernapasan di Wuhan, Provinsi Hubei, Cina, mulai Desember 2019. Per tanggal 22 Maret 2020, epidemi ini telah diubah statusnya oleh WHO menjadi pandemi dan telah menyebar ke 188 negara, menginfeksi 308.257 orang, dan mengakibatkan 13.068 kasus kematian. Di Indonesia, sampai dengan tanggal 22 Maret 2020, telah terkonfirmasi ada 450 orang yang terinfeksi Covid-19 dengan 392 orang dalam perawatan dan korban jiwa sebanyak 38 orang, di antaranya terdapat dua dokter spesialis dan satu orang perawat yang meninggal karena terinfeksi virus ini dari pasien yang dirawatnya.

Coronavirus merupakan keluarga virus yang dapat menyebabkan berbagai gejala, seperti radang paru-paru, demam, kesulitan bernapas, dan infeksi paru-paru [1]. Virus ini diduga berasal dari hewan yang berpindah ke manusia yang mengakibatkan efek buruk bagi pernapasan manusia [2].

Berdasarkan pedoman terbaru dari otoritas kesehatan Tiongkok [3], virus Covid-19 dapat dengan mudah menular melalui tiga transmisi, yaitu transmisi tetesan, transmisi kontak, dan transmisi aerosol. Penularan tetesan terjadi ketika tetesan pernapasan (ketika orang yang terinfeksi batuk atau bersin) dicerna atau dihirup oleh orang-orang di dekatnya; transmisi kontak dapat terjadi ketika subjek menyentuh permukaan atau objek yang terkontaminasi virus dan kemudian menyentuh mulut, hidung, atau mata mereka; transmisi aerosol dapat terjadi ketika tetesan pernapasan bercampur ke udara, membentuk aerosol dan dapat menyebabkan infeksi ketika menghirup aerosol dosis tinggi ke dalam paru-paru di lingkungan yang relatif tertutup [3]. Wabah yang disebabkan oleh Covid-19 menegaskan bahwa begitu mudahnya penyakit yang diakibatkan oleh virus sejenis untuk menular ke orang lain. Di lain pihak, tenaga kesehatan di rumah sakit harus menyediakan berbagai keperluan bagi kesembuhan pasien termasuk keperluan logistik (makanan dan obat) bagi pasien. Dengan semakin seringnya berinteraksi dengan pasien, risiko bagi tenaga medis untuk tertular penyakit dari pasien menjadi sangat tinggi.

Oleh karena itu, robot servis yang dinamakan RAISA dikembangkan. Artikel ini membahas pengembangan robot tersebut. Terdapat dua jenis robot yang dibuat yang mempunyai fungsi berbeda. Pertama adalah robot RAISA untuk *high care unit* (HCU) bagi pasien yang masih bisa berinteraksi. Fungsi robot ini membawakan makanan, minuman, obat, dan barang milik pasien yang dibawa oleh keluarga, serta fungsi untuk berinteraksi dengan pasien. Kedua adalah robot untuk *intensive care unit* (ICU) bagi pasien yang tidak dapat *mobile* dan tidak dapat berinteraksi. Robot ini berperan mewakili mata petugas medis dalam mengawasi pasien di ICU.

Kedua jenis robot ini dikendalikan dari jarak jauh melalui *joystick* oleh perawat di ruang HCU atau dokter jaga untuk robot yang akan ditempatkan di ruang ICU. Kedua jenis robot ini juga mempunyai kemampuan mendeteksi halangan, misalnya ada orang yang berdiri di depan robot dan memperingatkan melalui suara.

Kemampuan mendeteksi halangan ini diimplementasikan dengan mempergunakan sensor jarak atau sensor LiDAR dengan mengintegrasikan sensor odometri dan LiDAR menggunakan *iterative closets point* [4][5].

B. HASIL PENGEMBANGAN

Dua jenis robot RAISA sudah berhasil dikembangkan, yaitu robot yang dioperasikan untuk ruang *high care unit* (HCU) dan robot untuk *intensive care unit* (ICU), seperti yang ditunjukkan pada Gambar 1. Kedua jenis robot ini dikendalikan dari jarak jauh melalui *joystick* oleh perawat.

Robot servis yang dibuat terdiri dari tiga komponen besar, yaitu bagian elektronik, bagian mekanik, dan bagian sistem kontrol serta sistem *remote*.

Sistem elektronik meliputi sistem catu daya, sistem sensor, *driver* aktuator, dan sistem kontrol. Sistem daya berfungsi menyediakan daya bagi seluruh bagian robot, baik sensor, aktuator maupun controller. Sistem catu daya ini terdiri dari baterai *rechargeable* 48VDC dengan perangkat *charging* dari sumber 220VAC. Sumber catu daya dibagi menjadi catu 12 VDC, 24VDC, dan 5 VDC dengan menambahkan perangkat regulator. Sistem sensor menggunakan kamera omni sebagai pengganti mata robot untuk keperluan navigasi bagi operator. Kamera ini memberikan informasi video 360° lingkungan sekitar robot sehingga memudahkan bagi operator dalam mengendalikan gerakan robot. Sistem aktuator merupakan penggerak utama robot dengan empat penggerak motor DC 24 VDC yang terhubung dengan omni *wheel* sehingga memungkinkan robot bergerak secara fleksibel dengan manuver dan akselerasi yang baik. Sistem kontroler menggunakan mikrokontroler untuk mengatur sistem aktuator dan komunikasi data sensor dengan *single board computer* (SBC).

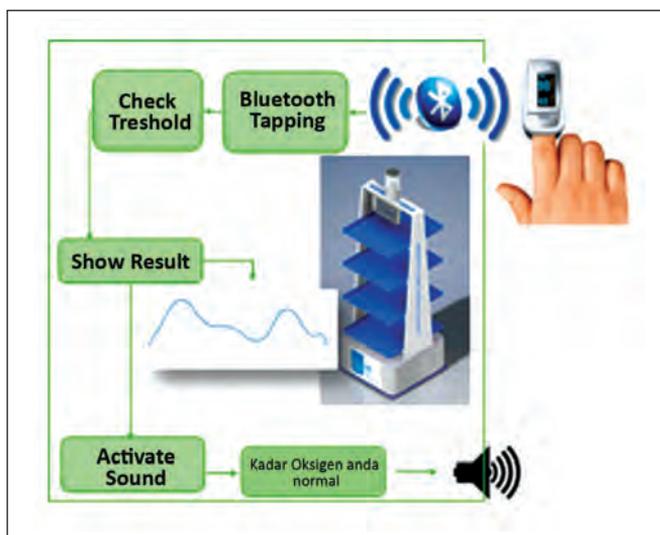


Gambar 1. Robot RAISA untuk ruang *high care unit* atau HCU (kiri) dan robot RAISA untuk ruang *intensive care unit* atau ICU (kanan)

Sistem mekanik terdiri dari sistem penggerak utama, kerangka bawah, dan struktur robot lainnya. Sistem penggerak utama terdiri dari empat motor DC dengan roda *omniwheel* yang terhubung pada sistem kerangka bawah. Sistem kerangka bawah didesain sedemikian rupa untuk mampu menahan beban 100 kg, termasuk beban robot. Struktur robot lainnya juga didesain untuk dapat menahan beban perangkat elektronika dan navigasi serta beban di luar robot dengan estimasi beban dari luar sebesar 50 kg. Jadi, diperlukan struktur dan material yang kokoh dan tidak mengganggu sistem navigasi dan gerakan robot.

Sistem kontrol dan *remote* terdiri dari sistem kontrol pada robot dan sistem kontrol pada operator. Sistem kontrol pada robot menggunakan SBC yang terhubung dengan kamera omni, kamera komunikasi *wide camera*, sistem *sound* untuk komunikasi verbal operator dengan pasien, serta sistem komunikasi nirkabel Wifi yang menghubungkan sistem kontrol robot dengan sistem kontrol operator. Sistem kontrol operator terdiri dari perangkat komputer yang berfungsi sebagai *user interface* operator dengan robot. Pada sistem kontrol operator, ditampilkan video dari kamera omni 360 sehingga operator bisa mengetahui kondisi sekitar robot. *Joystick* sebagai kontrol gerakan robot digunakan untuk kemudahan operator dalam mengoperasikan robot. Pada sistem *monitoring* ini juga dapat diatur *view* yang ditampilkan pada layar robot, dapat berupa animasi logo Robot RAISA atau wajah operator dan wajah pasien saat berkomunikasi. Dengan sistem ini, pasien dan operator dapat berkomunikasi dua arah. Semua perangkat pada sistem kontrol dan *monitoring* pada operator terhubung dengan sistem kontrol robot secara nirkabel menggunakan protokol TCP/IP.

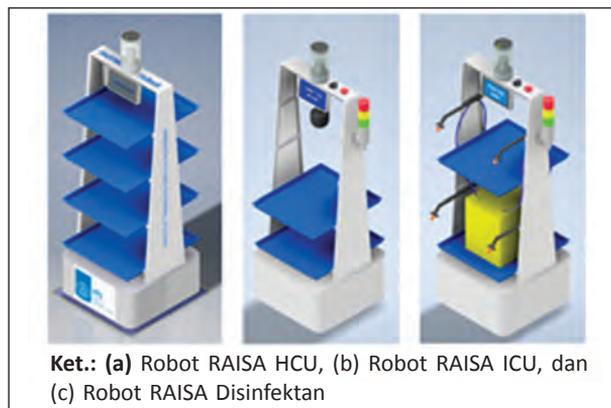
Sistem *oximeter* (ditunjukkan pada Gambar 2) yang terintegrasi dengan robot servis versi *high care unit*. Sistem yang dimaksud adalah sistem yang dapat menampilkan informasi grafis nilai kadar oksigen dalam darah (SPO) dan *heart beat*



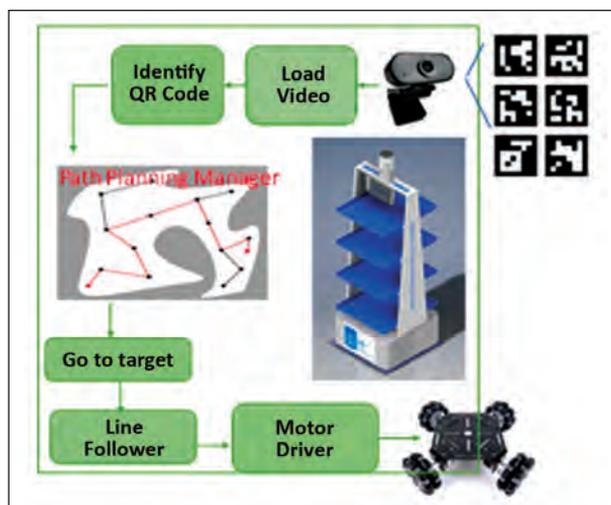
Gambar 2. Sistem Pengukur Kadar Oksigen pada Robot RAISA

rate pasien. Sistem ini hanya untuk ruang HCU dengan asumsi pasien secara mandiri bisa memasang alat pengukur SPO ke jarinya. Data SPO dikirimkan oleh robot ke operator untuk mengetahui kondisi SPO pasien saat itu juga.

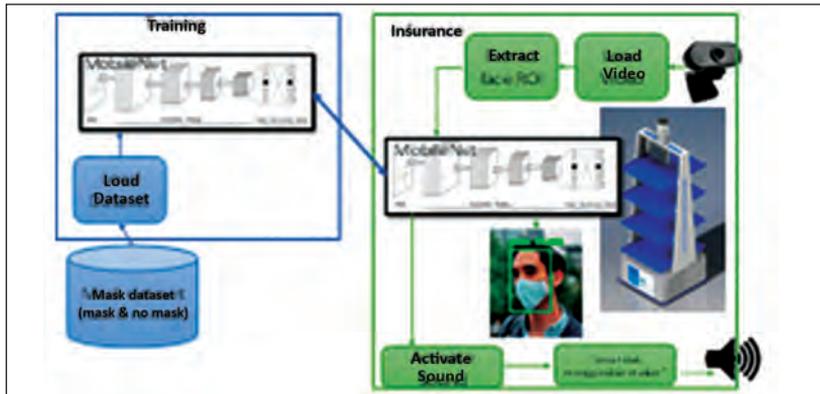
Sistem pengukuran suhu tubuh pasien terintegrasi dengan robot servis versi *high care unit*. Sistem ini dibangun untuk pasien di ruang HCU, dengan asumsi yang sama bahwa pasien dapat melakukan pengukuran secara mandiri dengan mendekatkan wajah pada alat ukur pada robot untuk diukur suhu tubuhnya. Alat ini bekerja dengan cara mengukur suhu tubuh secara keseluruhan berdasarkan citra termal tubuh manusia. Perangkat akan membaca citra termal tubuh pasien untuk dibaca suhu tubuhnya. Informasi ini ditampilkan secara langsung pada pasien dan juga dikirimkan ke operator oleh robot. Pengukuran suhu diimplementasikan dengan menggunakan sensor *thermocouple array sensor*.



Gambar 3. Varian robot RAISA dari Kiri ke Kanan,



Gambar 4. Sistem *Autonomous* pada Robot RAISA Berbasis *Line Tracking*



Gambar 5. Sistem Pendeteksi *Marker* Berbasis *Deep Learning* pada Robot RAISA

Dalam perkembangannya, kami mengembangkan beberapa versi robot RAISA (ditunjukkan pada Gambar 3), yaitu robot RAISA HCU, robot RAISA ICU, dan robot RAISA Disinfektan. Selain ketiga varian tersebut, kami juga telah mengembangkan robot RAISA yang mampu berjalan secara *autonomous* mengikuti garis dengan bantuan *magnetic track* yang umum digunakan pada sistem I (AGV), ataupun menggunakan kamera [6][7]. Sistem *autonomous* pada robot RAISA ditunjukkan pada Gambar 4.

Pada perkembangannya, beberapa rumah sakit mengaplikasikan robot RAISA bukan hanya untuk melayani pasien Covid-19, melainkan juga digunakan untuk melayani pengunjung rumah sakit atau pada bagian lain di luar ruang isolasi. Oleh karena itu, kami juga mengembangkan sistem pendeteksi masker pada robot RAISA yang dapat digunakan untuk mendeteksi apakah seseorang yang berada di hadapan robot RAISA mengenakan masker sesuai dengan protokol kesehatan yang ditentukan. Jika robot RAISA mendeteksi seseorang yang tidak mengenakan masker, robot akan memberikan peringatan dengan menggunakan suara kepada orang yang tidak memakai masker tersebut. Sistem pendeteksi masker pada robot RAISA diimplementasikan dengan menggunakan *backbone mobile-net* yang dijalankan pada *processor CPU*.

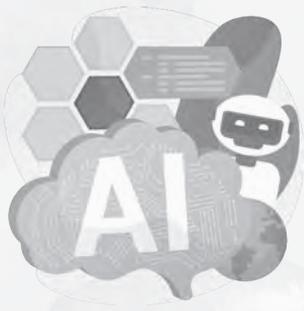
C. KESIMPULAN

Kami sudah berhasil mengembangkan robot pelayan (*service robot*) yang dapat digunakan oleh tenaga medis untuk memberikan pelayanan kepada dengan risiko penularan yang tinggi seperti Covid-19. Dua jenis robot yang mempunyai fungsi berbeda sudah dikembangkan, yaitu robot untuk *high care unit* (HCU) bagi pasien yang masih dapat berinteraksi dengan fungsi robot untuk membawakan makanan, minuman, obat, dan barang milik pasien yang dibawa oleh keluarga. Robot jenis kedua adalah jenis robot untuk *intensive care unit* (ICU) bagi pasien yang tidak dapat *mobile* dan tidak dapat berinteraksi, dan berperan mewakili mata petugas medis dalam mengawasi pasien di ICU. Kedua jenis robot ini dikendalikan dari jarak jauh melalui *joystick* oleh perawat. Saat ini, kedua jenis robot ini sudah didistribusikan ke beberapa rumah sakit pemerintah maupun swasta, terutama rumah sakit yang menjadi rujukan pasien yang terinfeksi virus yang menular seperti Covid-19.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Wuhan City Health Committee (WCHC). Wuhan Municipal Health and Health Commission's briefing on the current pneumonia epidemic situation in our city. 2020. <http://wjw.wuhan.gov.cn/front/web/showDetail/2019123108989> Diakses pada 1 Februari 2020.
- [2] N. Zhu, dkk., "A novel coronavirus from patients with pneumonia in China 2019," *N. Engl. J. Med.*, vol. 382, no. 8, pp. 727–733, Feb 2020, doi: 10.1056/NEJMoa2001017.
- [3] M. Shen, Z. Peng, Y. Xiao, dan L. Zhang, "Modelling the epidemic trend of the 2019 novel coronavirus outbreak in China," *Innovation (Camb)*, vol. 1, no. 3, Nov 2020, Art no. 100048, doi: 10.1016/j.xinn.2020.100048
- [4] Roland Siegwart dan I. R. Nourbakhsh, *Introduction to Autonomous Mobile Robots*. Cambridge, MA, USA: MIT Press, 2011.
- [5] W. -S. Choi, Y. -S. Kim, S. -Y. Oh, dan J. Lee, "Fast iterative closest point framework for 3D LIDAR data in intelligent vehicle," in *2012 IEEE Intelligent Vehicles Symposium*, 2012, pp. 1029–1034, doi: 10.1109/IVS.2012.6232293.
- [6] M. De Ryck, M. Versteyhe, dan F. Debrouwere, "Automated guided vehicle systems, state-of-the-art control algorithms and techniques," *Journal of Manufacturing Systems*, vol. 54, no.1, pp. 152-173, Jan. 2020.
- [7] A. G. Howard, dkk., "Mobilenets: Efficient convolutional neural networks for mobile vision applications," *arXiv preprint arXiv:1704.04861*, April 2017, doi: 10.48550/arXiv.1704.04861.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 7

PERKEMBANGAN PENERAPAN KECERDASAN ARTIFISIAL DI BIDANG KESEHATAN DAN PERAN REGULASI KOTAK PASIR (*REGULATORY SANDBOX*) DALAM MEMODULASI PROSESNYA

Tauhid Nur Azhar, Hammam Riza, Rizal Rickieno

Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA)

ABSTRAK

Perkembangan teknologi biomedis dan informasi serta komunikasi telah melahirkan berbagai produk inovasi yang berperan penting dalam proses pelayanan kesehatan. Genre teknologi tersebut meliputi metode diagnostik, pengobatan dan terapi, serta pencegahan dan pengawasan. Sementara itu, teknologi informasi yang mulai banyak digunakan di bidang pelayanan kesehatan antara lain kecerdasan artifisial, seperti *machine learning* dan *deep learning*. Selain itu, teknologi dan data kesehatan juga banyak menggunakan pendekatan mega data (*big data*) dan *blockchain*. Regulasi kotak pasir (*regulatory sandbox*, RS) merupakan teknologi yang dapat dimanfaatkan secara mendalam dan terperinci di bidang riset dan pelayanan kesehatan. Anatomi kecerdasan artifisial (KA) saat ini telah dan terus akan berkembang. Secara umum, KA kerap digunakan dalam ranah ilmu kesehatan, termasuk dalam proses penemuan obat atau vaksin baru dalam bioinformatika. Dalam hal ini, RS dapat memainkan peran antisipatif untuk mengembangkan regulasi seiring dengan perubahan teknologi produk dan layanan baru. Melalui proses ini, penyedia *telemedicine*, misalnya, dapat diberi ruang untuk menguji praktik terbaik saat ini dalam pengelolaan, berbagi, dan perlindungan data. Seiring dengan tuntutan regulasi tersebut, Kementerian Kesehatan telah melakukan inisiasi RS di bidang kesehatan digital, sebagaimana telah diinisiasi melalui uji coba penerapan RB e-malaria. RS ini juga diharapkan dapat mendukung peta jalan transformasi kesehatan digital dari sisi regulasi dan teknologi tahun 2021 sampai dengan 2024.

Kata kunci: *regulatory sandbox*, kecerdasan artifisial, *telemedicine*

T. N. Azhar, H. Riza, and R. Rickieno

Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA), e-mail: tauhid.nurazhar@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN

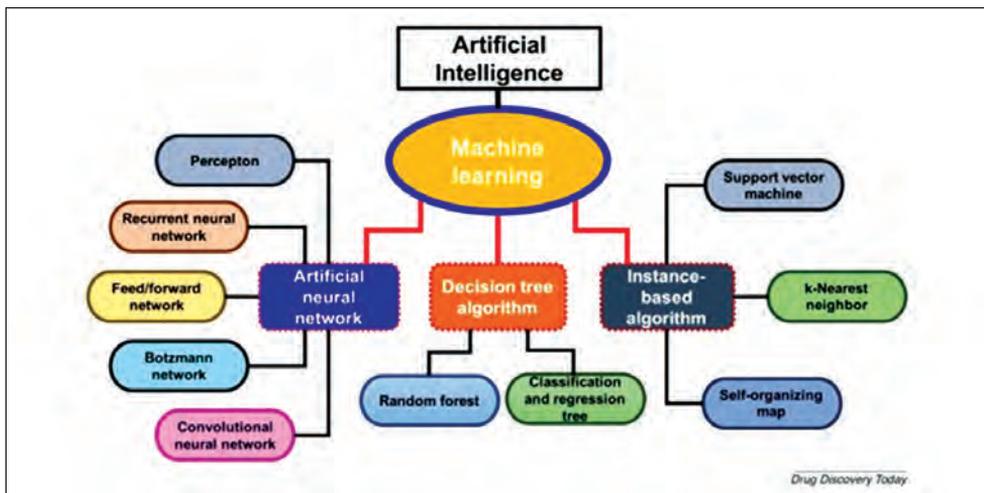
T. N. Azhar, H. Riza, and R. Rickieno, "Perkembangan penerapan kecerdasan artifisial di bidang kesehatan dan peran regulasi kotak pasir (*regulatory sandbox*) dalam memodulasi prosesnya," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 7, pp. 75-84, doi: 10.55981/brin.668.c542

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

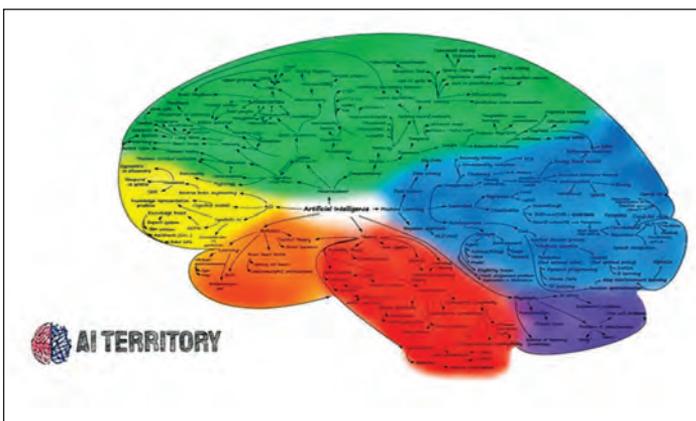
A. PENDAHULUAN

Perkembangan produk layanan teknologi kesehatan yang menjadi solusi bagi permasalahan saat ini biasanya telah mengintegrasikan kemajuan di bidang mikroelektronika (sensor) dan kecerdasan artifisial (KA) dalam pengolahan data. Saat ini, otoritas dan regulator yang memiliki kewenangan untuk memberikan izin penggunaan teknologi kesehatan tersebut sebagian besar masih mengacu kepada aturan sebelumnya yang belum sepenuhnya mampu mengakomodasi perkembangan yang terjadi.

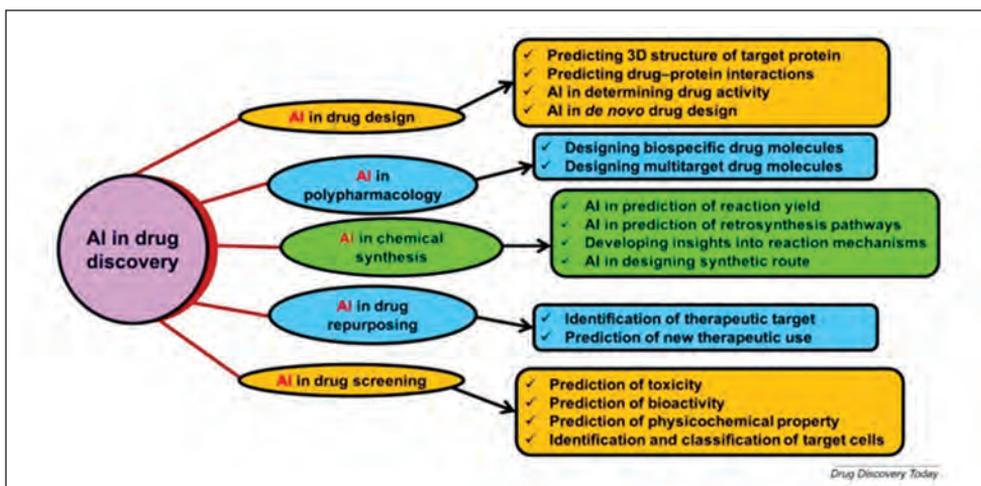
Regulasi kotak pasir (*Regulatory Sandbox*, RS) merupakan teknologi yang dapat dimanfaatkan secara mendalam dan terperinci di bidang riset dan pelayanan kesehatan. Anatomi KA saat ini telah dan terus akan berkembang. KA yang kerap digunakan dalam ranah ilmu kesehatan, termasuk proses penemuan obat atau vaksin baru dalam bioinformatika, sebagaimana tergambar pada Gambar 1. Tentu ada pula



Gambar 1. Diagram Metode Utama Kecerdasan Artifisial [1]



Gambar 2. Peta Teritorial Kecerdasan Artifisial [2]



Gambar 3. Peran Kecerdasan Artifisial dalam Penemuan Obat [3]

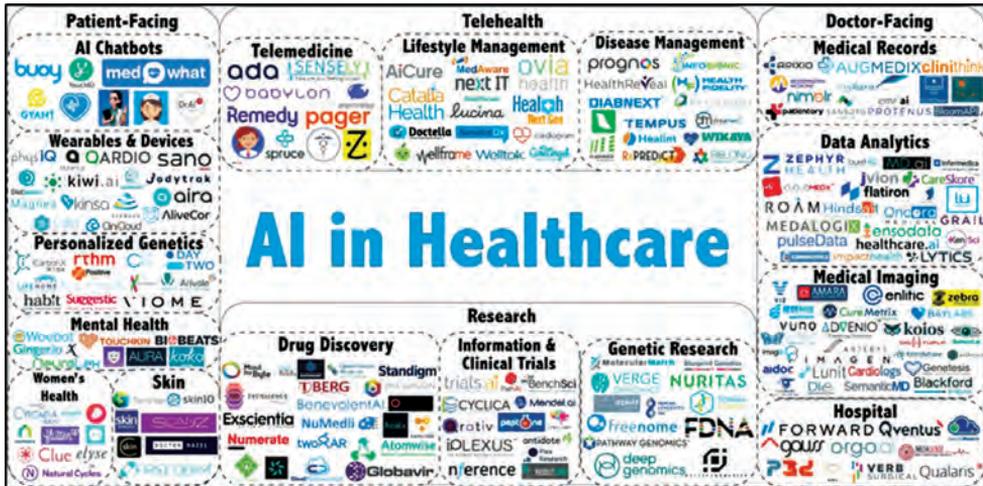
konsep *deep learning* dan *cognitive artificial intelligence* yang salah satu modelnya adalah *knowledge growing system* (KGS) karya peneliti Ahmad (Prof. Dr. Ir. Adang Suwandi Ahmad, Dr.Ing, Ir, IPU dan Kolonel Lek A/Prof. Dr. Ir. Arwin Datumaya Wahyudi Sumari, S.T., M.T., IPU, ASEAN Eng., ACPE).

Peta teritorial KA dari Osaulenko [2] ini memberikan gambaran kepada kita mengenai berbagai proses neurofisiologi yang mendasari proses pengembangan dan cakupan fungsi kecerdasan artifisial yang dapat mengoptimasi berbagai fungsi esensial komputasi yang berkorelasi dengan optimasi utilitas kognisi-kognisi. Ini tentu termasuk beberapa fungsi dan kapasitas kompetensi yang dapat dipergunakan di ranah pelayanan kesehatan.

B. AI DALAM HEALTHCARE DAN TF-RIC

Kecerdasan artifisial di bidang kesehatan dapat dimanfaatkan sebagai peranti bantu dalam perancangan obat dan vaksin, misalnya dalam mendesain obat secara molekuler berbasis data struktur dan genomik, analisis struktur, fungsi, dan sintesis zat kimia organik dan organik sebagai bahan baku obat atau zat aktif yang berpotensi obat, analisis interaksi antarzat dan antarobat dalam polifarmasi, pencarian senyawa bioaktif, simulasi uji toksisitas, kecocokan dengan sel target, dan kemungkinan munculnya efek samping yang tidak diharapkan. KA juga mendukung pendekatan kedokteran presisi yang mengacu pada data genom, transkriptomik, proteomik, dan metabolomik.

Dalam peta rupa wilayah industri kesehatan dengan produk berbasis KA, dapat terlihat bahwa penetrasi penerapan KA telah merambah ke hampir semua fungsi esensial dari pelayanan kesehatan, mulai dari proses komunikasi kesehatan (*chatbot*), riset genetik, pengelolaan megadata dan rekam medik, pengembangan obat, pengolahan citra, sistem pembantu penegakan diagnosis klinik, manajemen



Gambar 4. Peta Sebaran Ranah Penggunaan Kecerdasan Buatan untuk Revolusi Layanan Kesehatan[4]

faskes, asuransi dan jaminan kesehatan, telemedisin dan pengembangan IoT (*wearable device*) beserta platformnya, bioinformatika, simulasi uji klinik, manajemen gaya hidup-olahraga-nutrisi, sampai perancangan penelitian presisi dalam ranah segitiga patobiologi (pejamu-patogen-lingkungan), juga pencarian dan penemuan potensi sumber daya hayati berpotensi obat seperti pemetaan genetik mikroba dan perancangan material nano untuk keperluan terapeutik.

Dengan demikian, dalam praktik RS, termasuk peran *living labs* atau RegLabs, perlu mempertimbangkan berbagai aspek terkait yang bersifat fundamental, seperti etika, keselamatan pengguna, akurasi dan validasi hasil dari sebuah teknologi yang wajib terverifikasi secara sah dan benar, validitas metode yang terukur dan teruji secara objektif, dan mitigasi risiko yang mungkin ditimbulkan sebagai implikasi penerapan kecerdasan artifisial dalam teknologi kesehatan.

Peran RS yang ditujukan untuk memfasilitasi dan mengakselerasi inovasi teknologi berbasis KA harus memenuhi persyaratan sebagai berikut.

1. Menguasai sepenuhnya pengetahuan esensial terkait dengan teknologi kecerdasan artifisial yang digunakan dan diterapkan untuk mengetahui sepenuhnya model layanan ataupun produk kesehatan yang dihasilkan, bahkan setiap detail prosesnya.
2. Mengetahui dengan baik segenap proses yang ada saat ini, termasuk prosedur formalnya. Hal ini meliputi proses perizinan dan pengujian yang selama ini diterapkan, baik untuk teknologi produk dan layanan kesehatan, maupun untuk keamanan dan keselamatan penggunaan teknologi KA, sebelum merumuskan sebuah panduan regulasi yang mengintegrasikan kedua aspek tersebut dalam sebuah teknologi atau sistem yang di-RS-kan.

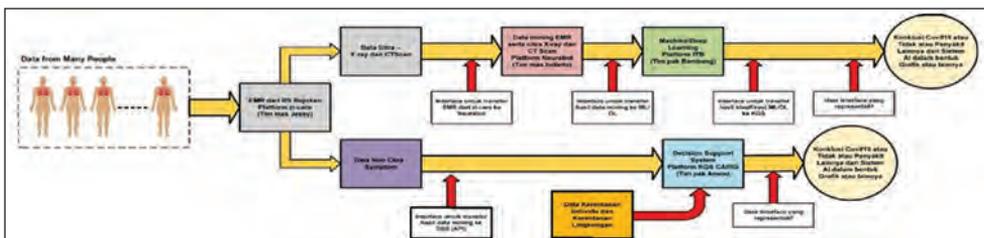
- Oleh karena itu, diperlukan sumber daya dan serangkaian proses perumusan yang melibatkan berbagai elemen pemangku kepentingan dan kebijakan agar didapatkan sebuah panduan dengan indikator objektif dan terukur secara sistematis, termasuk kelayakan dalam proses pengembangan model RS yang dapat dianggap cukup komprehensif serta mampu mengakomodasi beberapa prasyarat dasar yang telah dibahas tersebut.



Gambar 5. Platform Penggunaan Kecerdasan Artifisial dalam Penanganan Pandemi Covid-19 di Indonesia [5]

Ruang lingkup penerapan KA dalam bidang kesehatan meliputi beberapa aktivitas berikut.

- Diagnostic support system* yang meliputi proses analisis citra, data laboratorium dan klinis, serta mahadata yang diakuisisi melalui peranti guna pakai (*wearable*).



Sumber: presentasi Prof. Dr. Ir. Bambang Riyanto Trilaksono - Sub TF3 TFRIC-19 (2021)

Gambar 6. Mekanisme *Diagnostic Support System*

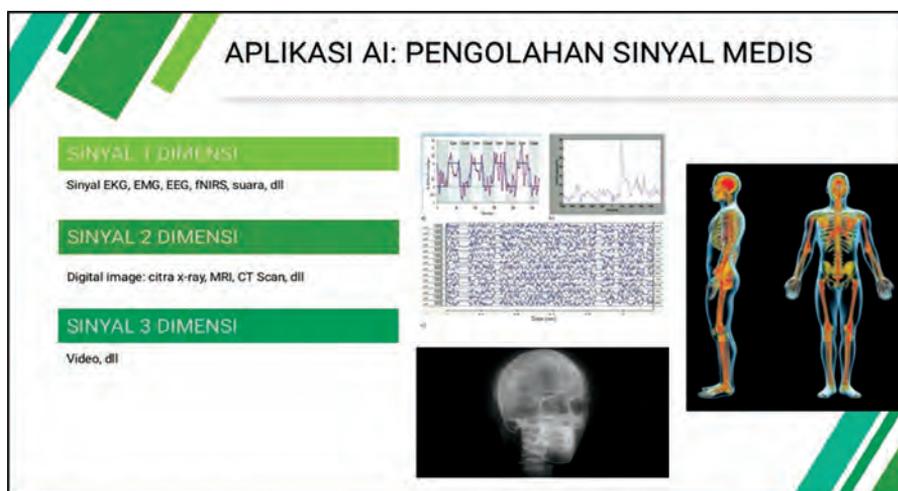
2. *Public health forecasting system* yang meliputi proses analisis mahadata terkait risiko kesehatan secara multidimensi dari sumber data multiaspek. Fungsi ini dapat mengoptimasi pengembangan mitigasi dan manajemen risiko beserta krisis kesehatan yang dapat menajamkan fungsi manajemen rantai pasok (*supply chain*) dan alokasi sumber daya (manusia dan logistik kesehatan) serta perencanaan infrastruktur fasilitas kesehatan dari tingkat primer sampai rujukan. Ranah ini dapat dikategorikan sebagai bagian dari sistem manajemen kebijakan kesehatan.



Sumber: Presentasi Dr. Hilman Fauzi TSP, Ph.D. - Teknik Biomedik Telkom University (2021)

Gambar 7. Pengaplikasian Kecerdasan Artifisial di Berbagai Bidang

3. *Biomedical and healthcare research* meliputi fungsi bioinformatika untuk mengidentifikasi potensi bahan alam, riset *in siliko*, sampai ke optimasi metode penelitian laboratorium terkait terapi dan tindakan medis.



Sumber: Presentasi Dr. Hilman Fauzi TSP, Ph.D. - Teknik Biomedik Telkom University (2021)

Gambar 8. Kecerdasan Artifisial Pengolahan Sinyal Medis Pasien dalam Bidang Kesehatan

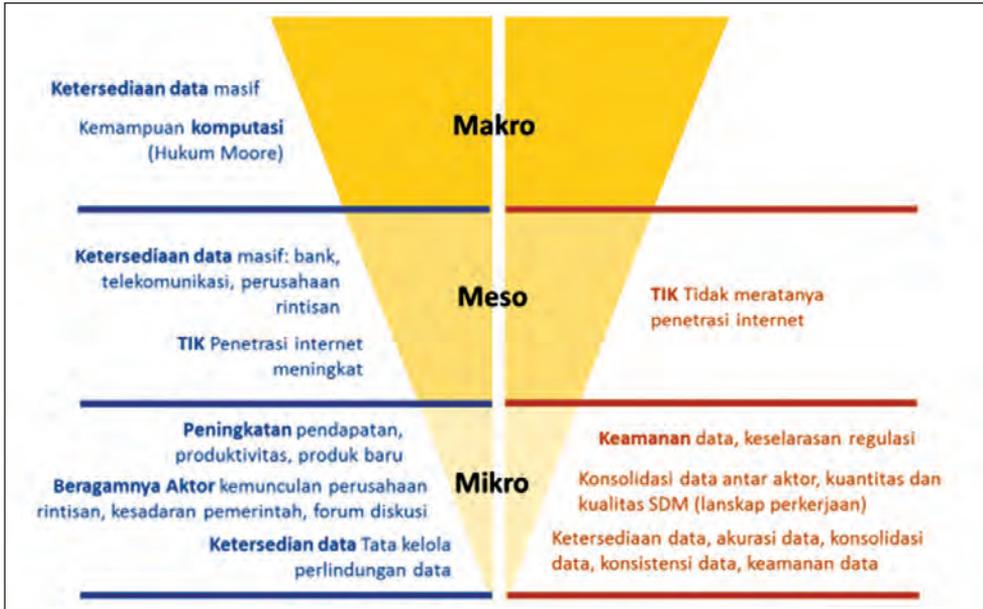
4. *Medical and health economics* meliputi analisis aktuarial yang berhubungan dengan penjaminan kesehatan terkait dengan prevalensi penyakit, angka morbiditas, cakupan jaminan kesehatan, psikologi peserta, sampai analisis struktur pembiayaan jaminan kesehatan nasional.
5. Sistem edukasi kesehatan virtual meliputi model komunikasi berbasis *intelligence chatbot*, *immersive experience*, dan gamifikasi edukasi kesehatan (Roblox like).

Sesuai dengan aturan yang berlaku, produk inovasi dalam ranah pelayanan kesehatan wajib melalui serangkaian proses yang meliputi mekanisme uji klinis, sertifikasi dan registrasi, sampai memperoleh izin edar. Prosedur uji klinis yang saat ini berlaku meliputi uji pre-klinis, klinis, dan *post market* untuk menjamin keamanan dan keselamatan pengguna serta membuktikan efikasi atau kemanjuran dari produk layanan kesehatan yang dimaksud.

Teknologi kesehatan berbasis kecerdasan buatan adalah produk yang mengintegrasikan teknologi kedokteran dengan program komputasi yang dapat membuat mesin bekerja layaknya kecerdasan manusia, seperti mengambil keputusan, memecahkan masalah, dan melakukan prediksi [6]. Kecerdasan buatan juga didefinisikan sebagai inteligensi eksternal. Kecerdasan buatan bekerja menggunakan algoritma dengan *machine learning* dan *deep learning* sebagai dua metode yang paling populer untuk pemrosesan data. *Machine learning* adalah sub-set dari kecerdasan buatan yang bekerja dengan menggunakan algoritma untuk mempelajari data yang diberikan [7].

Machine learning didefinisikan sebagai proses pelatihan suatu mesin dengan data set yang terulang-ulang yang dapat menjadikan mesin mampu memprediksi dan meniru fungsi kecerdasan manusia. *Deep learning* adalah turunan dari *machine learning* yang dapat bekerja dengan lebih mandiri, dengan cara melakukan pelatihan menggunakan data yang lebih banyak dan berlapis-lapis [8]. Dalam pengembangan inovasi, terdapat beberapa faktor pendukung dan penghambat (Gambar 9). Warna biru mengidentifikasi faktor yang mendukung transisi inovasi dan warna oranye mengidentifikasi faktor yang menghambat.

Menyimak penjelasan pada Gambar 9 dan mengantisipasi laju perkembangan riset dan teknologi dalam bidang layanan kesehatan, diperlukan suatu pendekatan yang tidak biasa dalam hal proses pengujian, perizinan, regulasi, dan pengawasan. *Regulatory sandbox* (RS) adalah suatu lembaga mandiri yang diharapkan dapat membantu percepatan proses pengujian, pengaturan (regulasi), perizinan, dan pengawasan yang bersifat adaptif terhadap perkembangan teknologi yang terjadi. Hal yang perlu menjadi bahan pertimbangan adalah pesatnya pertumbuhan perusahaan rintisan (*start up*) di bidang teknologi kesehatan yang juga menggunakan kecerdasan artifisial.



Sumber: Direktorat Jenderal Aplikasi Informatika, Kementerian Komunikasi dan Informatika (2018)

Gambar 9. Faktor Pendukung dan Penghambat Inovasi

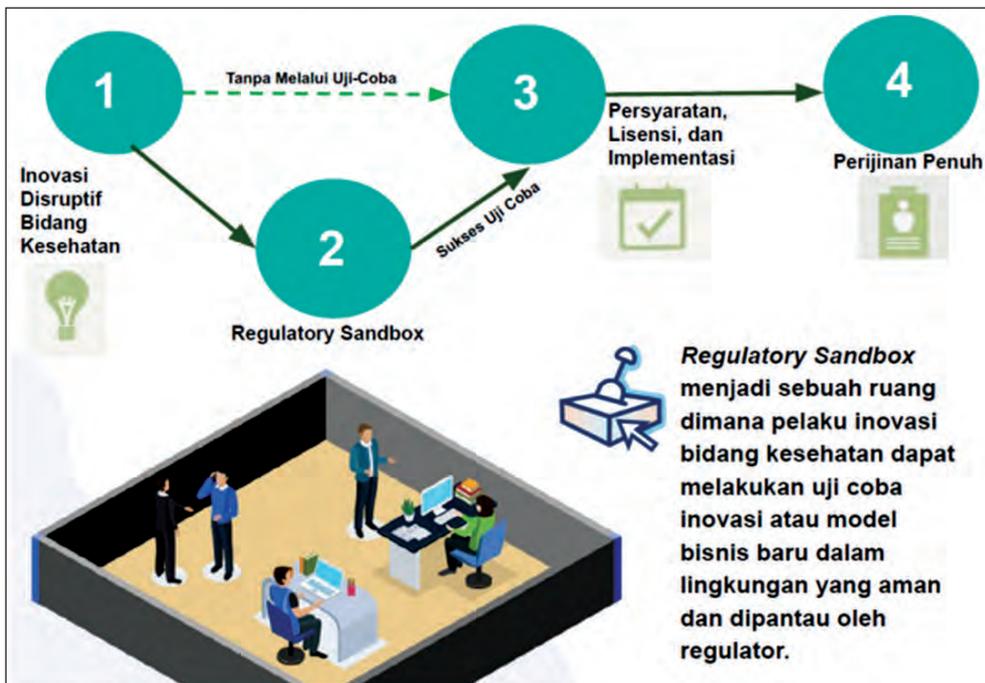
Sementara itu, kebutuhan pemerataan infrastruktur pelayanan kesehatan di tanah air memerlukan upaya percepatan yang signifikan. Keberadaan lembaga mandiri RS diharapkan dapat menjembatani terjadinya proses percepatan adaptasi teknologi dengan tetap mengedepankan kaidah akademis, etik, dan berbagai asas kepatutan ilmiah. Oleh karena itu, RS memerlukan aspek representasi dari unsur akademis, otoritas regulator, lembaga pengujian, serta perwakilan pengguna dan lembaga inkubasi.

Lebih lanjut, adopsi cepat *telemedicine* dan platform kesehatan digital lainnya telah mengubah lanskap layanan kesehatan di Indonesia, meskipun harus menghadapi ketidakpastian peraturan. Namun, regulasi yang mengatur layanan kesehatan digital masih terbatas [9], yaitu Permenkes 20/2019 tentang Pelayanan Telemedis Sebagai Bagian dari Fasilitas Pelayanan Kesehatan dan Peraturan Badan Pengawas Obat dan Makanan (BPOM) Nomor 8 Tahun 2020. Untuk mengisi kekosongan tersebut, Konsil Kedokteran Indonesia (KKI) juga telah mengeluarkan Peraturan Nomor 74 Tahun 2020 tentang Kewenangan Klinik dan Praktik Kedokteran Melalui Telemedis Selama Pandemi Covid-19 di Indonesia. Meskipun demikian, semua peraturan tersebut memberikan ketentuan yang terbatas tentang standar perlindungan data konsumen.

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Dalam hal ini, RS dapat memainkan peran antisipatif untuk mengembangkan regulasi seiring dengan perubahan teknologi produk dan layanan baru. Melalui proses ini, penyedia *telemedicine*, misalnya, dapat diberi ruang untuk menguji praktik terbaik saat ini dalam pengelolaan, berbagi, dan perlindungan data. Dari uji coba tersebut, regulator kemudian dapat diinformasikan tentang tahap teknologi saat ini dalam industri dan bagaimana menyediakan kerangka peraturan yang mendukung inovasi untuk sektor ini. Sebagai tempat uji coba bagi perusahaan rintisan yang inovatif, RS dalam kesehatan digital juga dapat diterapkan untuk memajukan interoperabilitas platform dengan berbagai layanan terkait kesehatan, seperti asuransi swasta dan publik serta pembayaran elektronik.

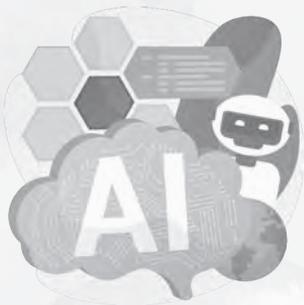
Seiring dengan tuntutan regulasi tersebut, Kementerian Kesehatan telah melakukan inisiasi RS di bidang kesehatan digital sebagaimana telah diinisiasi melalui uji coba penerapan RS e-malaria, di mana inovasi disruptif di bidang kesehatan yang semula terkendala dalam pemenuhan persyaratan, lisensi, dan implementasinya dapat difasilitasi melalui RS sehingga dapat memperoleh perizinan penuh [10]. RS ini juga diharapkan dapat mendukung peta jalan transformasi kesehatan digital dari sisi regulasi dan teknologi tahun 2021 sampai dengan 2024, sebagaimana juga telah masuk dalam strategi transformasi digital kesehatan Kemenkes yang diluncurkan Menteri Kesehatan, Budi Gunadi Sadikin, pada 16 Desember 2021.



Gambar 10. Rancangan Regulasi Kotak Pasir (*Regulatory Sandbox*) di Bidang Kesehatan [10]

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Srivastava, "Transformation of Drug Discovery towards Artificial Intelligence: An in Silico Approach", in *Density Functional Theory - Recent Advances, New Perspectives and Applications*. London, United Kingdom: IntechOpen, 2021 [Online]. Available: <https://www.intechopen.com/chapters/78052> doi: 10.5772/intechopen.99018
- [2] V. Osaulenko. "The map of artificial intelligence." Medium.com. Accessed: Nov 13, 2022. [Online]. Available: <https://medium.com/swlh/the-map-of-artificial-intelligence-2020-2c4f446f4e43>
- [3] Sushmita. "Artificial intelligence in pharmaceutical industry: Exciting applications in 2021." JaanoandSeekho:Know and Learn Everything Here. Accessed: Nov 13, 2022. [Online]. Available: <http://jaanoandseekho.com/artificial-intelligence-in-pharmaceutical-industry-exciting-applications-in-2021/>
- [4] R. Saracco. "Is AI in Healthcare at the end of the rainbow?". IEEE Future Directions. Accessed: Nov 13, 2022. [Online]. Available: <https://cmte.ieee.org/futuredirections/2019/04/28/is-ai-in-healthcare-at-the-end-of-the-rainbow/>
- [5] TFRIC-19. "Petunjuk penggunaan web upload data gambar radiologi-TFRIC-19." Accessed: Nov 13, 2022. [Online]. Available: <https://platform.tfric-19.id/>
- [6] S. Russel dan P. Norvig, "Artificial intelligence: A modern approach, global edition." Foundations, vol. 19, pp. 1–1166, 2021.
- [7] D. E. Goldberg dan J. H. Holland, "Genetic algorithms and machine learning," *Mach. Learn.*, vol. 3, no. 2, pp. 95–99, 1988, doi: 10.1023/A:1022602019183.
- [8] Y. LeCun, Y. Bengio, dan G. Hinton, "Deep learning," *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015, doi: 10.1038/nature14539.
- [9] A. E. Sugiyanto. "Infrastruktur digital untuk mewujudkan keadilan digital bagi seluruh rakyat." *Kaldera News*. Accessed: Nov 13, 2022. [Online]. Available: <https://www.kalderanews.com/2021/07/infrastruktur-digital-untuk-mewujudkan-keadilan-digital-bagi-seluruh-rakyat/>
- [10] Setiaji, "Langkah Strategis Transformasi Kesehatan Digital Kesehatan Komitmen Transformasi Sistem Kesehatan," November. Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022.



CHAPTER 8

DATABASE MORFOLOGI DAN SENYAWA MIKROB SEBAGAI DATASET ARTIFICIAL INTELLIGENCE UNTUK PERCEPATAN PENGEMBANGAN OBAT ANTI-INFEKSI DARI SUMBER DAYA MIKROB INDONESIA

Danang Waluyo, Anis Herliyati Mahsunah, Dyah Noor Hidayati, Avi Nurul Oktaviani, Ariza Yandwiputra Besari, Kiki Rizkia Afrianti, Kristiningrum, Suryani, Amila Pramisanidi, Imam Civi Caratealy, Bayu Rizki Maulana, Nuki Bambang Nugroho, & Erwahyuni Endang Prabandari

Organisasi Riset Pengkajian dan Penerapan Teknologi (OR PPT) BRIN

ABSTRAK

Dalam rangka mengetahui potensi keragaman mikrob Indonesia sebagai sumber senyawa alami, Balai Bioteknologi-BRIN mengoleksikan mikrob dari berbagai lokasi di Indonesia. Selanjutnya, BRIN bekerja sama dengan mitra riset dari Indonesia dan Jepang dalam proyek Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program (SATREPS) dalam fase I dari tahun 2015 sampai 2020 dan dalam fase II dari tahun 2021 hingga 2026 untuk penemuan senyawa obat dari mikrob. Alur pencarian senyawa obat dari mikrob dimulai dari kegiatan eksplorasi mikrob (isolasi dan identifikasi mikrob) dari berbagai jenis sampel alami (tanah, tumbuhan, serasah, hewan laut, dan lain-lain) melalui waktu yang cukup panjang, yakni antara 10–20 tahun. Salah satu tahap kritis dalam proses penemuan senyawa obat (*drug discovery*) dari mikrob adalah tahap identifikasi mikrob. Secara umum, proses identifikasi mikrob dilakukan secara molekuler. Namun, proses ini membutuhkan waktu dan biaya yang besar, terlebih bila menangani mikrob dalam jumlah yang banyak dan khususnya mikrob dari golongan fungi yang memiliki bentuk morfologi mikrob tertentu. Proses identifikasi berbasis morfologi dilakukan melalui pengamatan dengan mikroskop. Namun, identifikasi mikrob ini sangat tergantung dari pengalaman yang dimiliki personel pelaksana dan akan menyulitkan apabila mengidentifikasi mikrob yang baru.

Kecerdasan artifisial (KA) dapat membantu mengidentifikasi mikrob berbasis morfologi. Dalam hal ini, KA membantu personel dalam menganalisis gambar morfologi suatu mikrob, sehingga proses ini dapat dilakukan secara cepat dan akurat. TKA juga diharapkan dapat membantu personel dalam menemukan mikrob baru yang belum pernah ditemukan sebelumnya, sehingga dapat meningkatkan nilai dari mikrob asli Indonesia tersebut.

Kata kunci: kecerdasan artifisial, identifikasi mikrob, morfologi, senyawa mikrob, *drug discovery*

D. Waluyo, A. H. Mahsunah, D. N. Hidayati, A. N. Oktaviani, A. Y. Besari, K. R. Afrianti, Kristiningrum, Suryani, A. Pramisanidi, I. C. Caratealy, B. R. Maulana, N. B. Nugroho, and E. E. Prabandari
Organisasi Riset Pengkajian dan Penerapan Teknologi (OR PPT) BRIN, e-mail: anis003@brin.go.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
D. Waluyo, A. H. Mahsunah, D. N. Hidayati, A. N. Oktaviani, A. Y. Besari, K. R. Afrianti, Kristiningrum, Suryani, A. Pramisanidi, I. C. Caratealy, B. R. Maulana, N. B. Nugroho, and E. E. Prabandari, "Database Morfologi dan senyawa mikrob sebagai *dataset artificial intelligence* untuk percepatan pengembangan obat anti-infeksi dari sumber daya mikrob Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksana, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 8, pp. 85-96, doi: 10.55981/brin.668.c543
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

Indonesia dikenal sebagai salah satu negara yang memiliki keragaman hayati terbesar di dunia. Sumber daya hayati yang meliputi bakteri, hewan, hingga tumbuhan ini telah dimanfaatkan oleh manusia untuk mengatasi berbagai permasalahannya, termasuk untuk mengatasi penyakit. Makhluk hidup ini membuat berbagai macam jenis senyawa kimia unik, yang kemudian dikenal secara luas sebagai senyawa alami (*natural compounds*). Dari sekitar satu juta senyawa alami yang telah ditemukan hingga saat ini, 40% di antaranya dibuat oleh mikrob [1]. Lebih dari itu, 85% senyawa dari mikrob tersebut dibuat oleh fungi (jamur) dan aktinomiset (bakteri berfilamen) [1][2]. Hal ini menunjukkan pentingnya kedua golongan mikrob ini sebagai sumber senyawa alami. Untuk mengetahui potensi keragaman mikrob Indonesia sebagai sumber senyawa alami, Balai Bioteknologi-BRIN mengisolasi mikrob dari berbagai lokasi di Indonesia. Hingga saat ini, lebih dari 27 ribu isolat mikrob dari golongan fungi dan aktinomiset telah dikoleksi dan disimpan di dalam Biotech Center-BRIN Microbial Culture Collection (BioMCC) [3]. Sebanyak 21% spesies koleksi aktinomiset dan 11% genus fungi di BioMCC diketahui unik dari Indonesia, mengindikasikan potensinya yang besar sebagai sumber untuk pengembangan berbagai produk yang bermanfaat untuk manusia [3].

Di sisi lain, penyakit menular masih menjadi permasalahan kesehatan. Indonesia masih menjadi negara endemik untuk beberapa penyakit menular utama dunia, termasuk tuberkulosis, demam berdarah dengue (DBD), malaria, dan amebiasis [4]. Hampir seluruh bahan baku obat (>90%) di Indonesia diimpor dari luar negeri [5]. Selain itu, kasus resistansi obat penyakit menular banyak dilaporkan akhir-akhir ini, sebagaimana terjadi pada penyakit malaria dan tuberkulosis [6][7]. Beberapa penyakit menular bahkan belum ditemukan obatnya, termasuk DBD dan Covid-19 yang saat ini menjadi pandemi global.



Gambar 1. Koleksi Mikrob Balai Bioteknologi-BRIN

Penyakit infeksi di Indonesia

- Penyakit menular masih menjadi ancaman kesehatan Indonesia
- Lebih dari 90% bahan baku obat masih diimpor
- Semakin banyak kasus resistensi obat anti-infeksi
- Beberapa penyakit infeksi bahkan belum ada obatnya

Ekplorasi Sumberdaya Hayati

Senyawa aktif dari mikroba Indonesia

Altenusin
 Producer: BioMCC-I.T.3979
 (Talaromyces pinaphilus)
 Origin: Manokwari, Papua

Gentisyl alcohol
 Producer: BioMCC-I.T.7495
 (Aspergillus assistensis)
 Origin: Ambon, Maluku

Borrelidin
 Producer: BioMCC-a.EP.1039
 (Streptomyces sp.)
 Origin: Jember, East Java

Butyrolactone I
 Producer: BioMCC-I.T.1757
 (Aspergillus sp.)
 Origin: Flores, NTT

Cosmomycin A
 Producer: BioMCC-a.T.3335
 (Streptomyces sp.)
 Origin: Madura, East Java

Tuberculosis **Dengue** **Amebiasis** **Malaria**

Produksi Ekstrak **Skринing Senyawa Aktif**

Purifikasi dan Elusidasi Struktur Senyawa Aktif **Uji Pra-klinis Senyawa Aktif di Hewan Uji**

SATREPS
 Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program

BRIN, JICA, nite, 東京大学, UNIVERSITY OF MALAYA, NAGOYA INSTITUTE OF TECHNOLOGY

Gambar 2. Pengembangan Obat dari Sumber Daya Mikrob Indonesia

Keragaman sumber daya hayati Indonesia, khususnya sumber daya mikrob, menjadi sumber yang menarik dalam upaya pengembangan obat baru. Pemanfaatan sumber daya mikrob Indonesia untuk pengembangan obat telah dilakukan oleh BRIN bersama dengan mitra riset dari Indonesia dan Jepang melalui proyek Science and Technology Research Partnership for Sustainable Development Program (SATREPS) sejak tahun 2015 hingga 2020 [3] dan dilanjutkan ke fase II mulai tahun 2021 hingga 2026 mendatang. Beberapa senyawa aktif anti-malaria dan anti-amebiasis telah berhasil ditemukan dan ini menunjukkan besarnya potensi mikrob sebagai sumber untuk pencarian obat [3][8][9][10][11].

Sampling **Isolasi** **Identifikasi** **Skринing** **Purifikasi senyawa aktif** **Elusidasi struktur kimia**

Identifikasi mikroba dilakukan dengan pengamatan mikroskop
 → Sangat tergantung pengalaman
 → Banyak mikroba yang belum pernah ditemukan sebelumnya

Teknologi kecerdasan buatan untuk membantu proses identifikasi mikroba

Aspergillus fumigatus !!

Penicillium, Geomyces, Nigrospora

Gambar 3. Alur Pencarian Senyawa Obat dari Mikrob

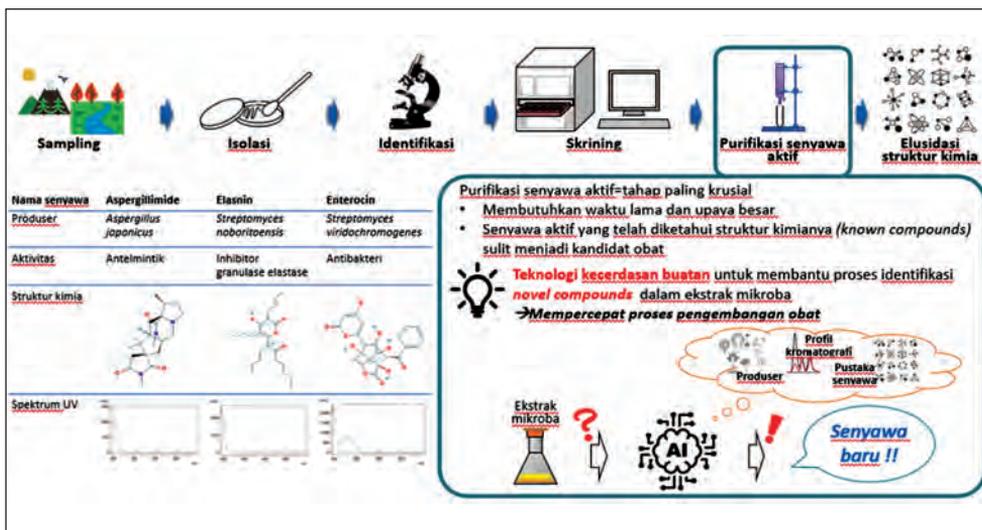
Buku ini tidak diperjualbelikan.

Alur pencarian senyawa obat dari mikroba dimulai dari kegiatan eksplorasi mikroba (isolasi dan identifikasi mikroba) dari berbagai jenis sampel alami (tanah, tumbuhan, serasah, hewan laut, dan lain-lain). Ekstrak dari mikroba yang didapatkan itu diuji potensinya melalui proses skrining. Senyawa aktif di dalam ekstrak yang menunjukkan potensi diisolasi dan dimurnikan, untuk selanjutnya dielusidasi strukturnya. Senyawa aktif yang dapat menjadi senyawa kandidat obat adalah senyawa yang memenuhi beberapa kriteria, antara lain memiliki aktivitas penghambatan patogen yang tinggi dan aktivitas toksisitas yang rendah, dan dibuktikan melalui serangkaian uji praklinis dan uji klinis. Selain itu, senyawa kandidat obat perlu berupa senyawa baru (novel), karena industri farmasi sangat peduli dengan kekayaan intelektual dari senyawa obat yang akan diproduksi. Untuk itulah, biasanya pengembangan senyawa obat membutuhkan waktu yang cukup panjang antara 10–20 tahun [12].

Salah satu tahap kritis dalam proses penemuan senyawa obat (*drug discovery*) dari mikroba adalah tahap identifikasi mikroba. Secara umum, proses identifikasi mikroba dilakukan secara molekuler. Namun, proses ini membutuhkan waktu dan biaya yang besar, terlebih bila menangani mikroba dalam jumlah yang banyak. Selain itu, khusus untuk mikroba dari golongan fungi, bentuk morfologi mikroba menjadi faktor utama dalam proses identifikasi [13]. Proses identifikasi berbasis morfologi ini mudah dan cepat karena dilakukan melalui pengamatan dengan mikroskop. Namun, identifikasi mikroba berbasis morfologi ini sangat tergantung pada pengalaman yang dimiliki personel pelaksana karena banyak sekali jenis fungi yang memiliki bentuk morfologi yang berbeda. Selain itu, masih banyak mikroba yang belum pernah ditemukan selama ini, sehingga menyulitkan proses identifikasi.

Teknologi kecerdasan artifisial (TKA) telah banyak digunakan untuk membantu dan mempercepat suatu proses yang berbasis pada pengalaman [14]. Dalam proses identifikasi mikroba berbasis morfologi, TKA dapat membantu personel dalam menganalisis gambar morfologi suatu mikroba sehingga proses ini dapat dilakukan secara cepat dan akurat [15]. TKA juga diharapkan dapat membantu personel dalam menemukan mikroba baru yang belum pernah ditemukan sebelumnya sehingga dapat meningkatkan nilai dari mikroba asli Indonesia tersebut.

Tahap purifikasi senyawa aktif juga menjadi tahap kritis dalam proses pencarian senyawa obat dari mikroba. Purifikasi senyawa aktif dilakukan dengan melihat karakteristik fraksi ekstrak mikroba berupa profil kromatografi dan tingkat aktivitasnya melalui analisis bioassay. Tahap ini membutuhkan waktu dan upaya yang besar. Sebagaimana telah disampaikan sebelumnya, senyawa aktif yang telah diketahui struktur kimianya (*known compounds*) akan sulit untuk dikembangkan menjadi senyawa kandidat obat dengan alasan kekayaan intelektual (paten). Jadi, prediksi dini senyawa aktif yang ada di dalam ekstrak mikroba yang menjadi target proses purifikasi senyawa aktif menjadi salah satu kunci keberhasilan pengembangan obat dari mikroba.



Gambar 4. Tahap Kritis pada Purifikasi Senyawa Aktif

Teknologi kecerdasan artifisial (TKA) dapat pula diaplikasikan untuk membantu proses identifikasi *known compounds* di dalam ekstrak mikroba berdasarkan data-data yang tersedia, termasuk profil kromatografi dan jenis produsernya. Prediksi senyawa aktif yang terdapat dalam ekstrak dapat membantu pemilihan ekstrak aktif yang akan menjadi target purifikasi senyawa aktif sehingga efisiensi proses pencarian senyawa aktif dapat ditingkatkan.

B. TUJUAN DAN TARGET LUARAN

1. Tujuan

Menguasai dan mengaplikasikan teknologi kecerdasan artifisial dapat mempercepat pengembangan obat anti-infeksi dari sumber daya mikroba Indonesia melalui pembuatan sistem identifikasi mikroba Indonesia dan sistem identifikasi *known compounds* dalam ekstrak mikroba.

2. Target Luaran

TAHUN	IDENTIFIKASI SUMBER DAYA MIKROB	BIOASSAY SUMBER DAYA MIKROB
2021	Satu buah database yang berisi 5000 gambar morfologi isolat mikroba Indonesia yang telah teridentifikasi sebagai dataset model AI untuk identifikasi mikroba	Satu buah database yang berisi 50 senyawa dari sumber daya mikroba/hayati lainnya sebagai dataset model AI untuk identifikasi <i>known compounds</i> di dalam ekstrak mikroba

C. PETA JALAN KEGIATAN

Sebagaimana dijelaskan sebelumnya, jumlah *dataset* yang akan digunakan dalam pengembangan model kecerdasan artifisial akan menentukan keakuratan model tersebut. Untuk sistem identifikasi mikrob, *database* yang tengah dibangun ini ditargetkan memiliki lebih dari 40 ribu gambar morfologi mikrob dari berbagai jenis fungi di tahun 2023. Sementara itu, untuk *database* senyawa mikrob, senyawa-senyawa yang telah dipublikasi sebelumnya akan diintegrasikan dalam *database* yang akan digunakan oleh sistem identifikasi *known compounds*.



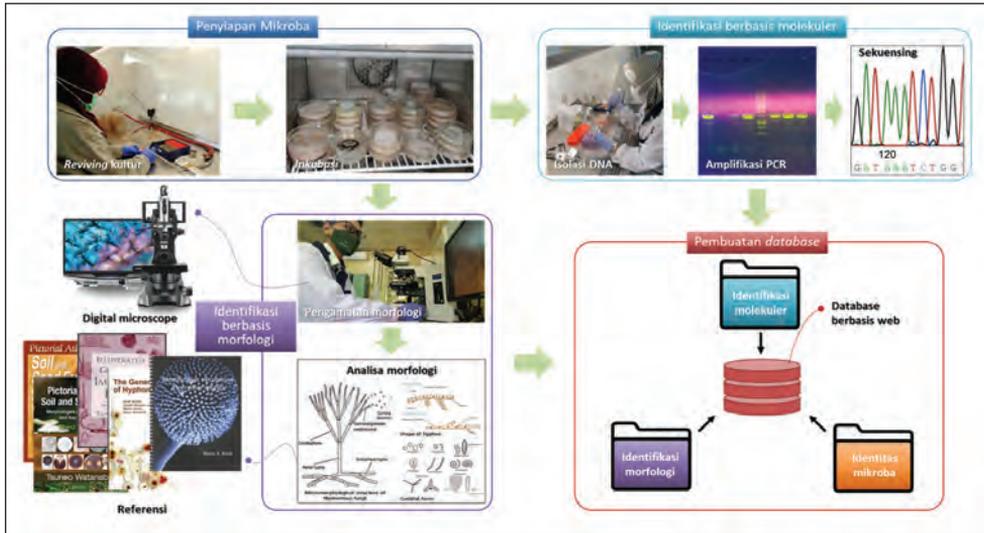
Sumber: diolah dari Program Manual Kegiatan SDHI 2021

Gambar 5. Peta Jalan Kegiatan

D. METODE

1. Pembuatan *Database* Morfologi Mikrob

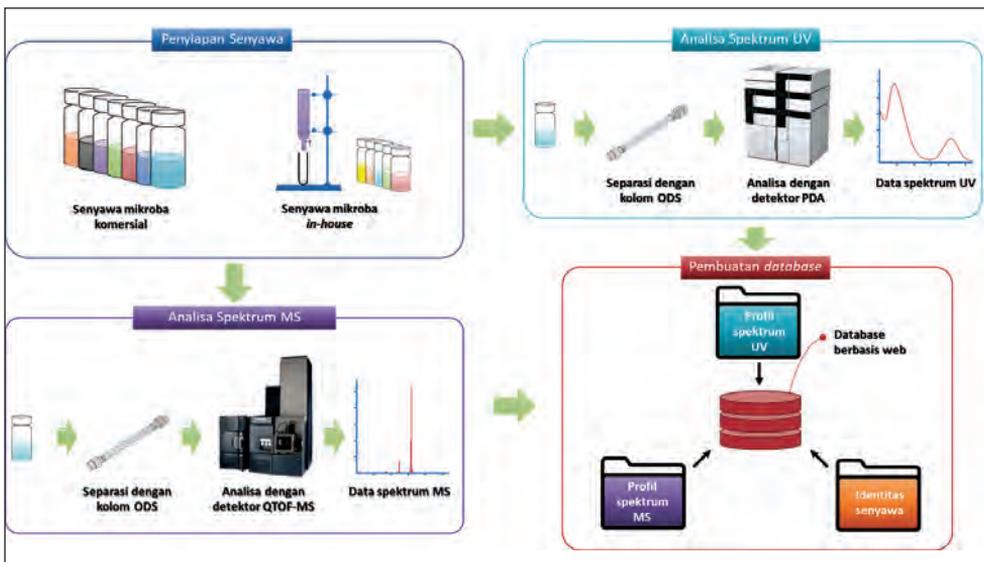
Pengembangan *database* morfologi mikrob dilakukan dengan metode sebagai berikut. Mikrob dibangunkan (*reviving*) dari stok kultur yang disimpan dalam *deep freezer* (-80°C) di media pertumbuhan. Setelah diinkubasi selama beberapa hari, morfologi dari mikrob tersebut diamati menggunakan mikroskop digital. Morfologi mikrob tersebut dianalisis berdasarkan referensi yang biasa digunakan secara umum oleh para taksonom mikrob di dunia. Identitas mikrob tersebut juga dianalisis secara molekuler sehingga hasil identifikasi mikrob dapat terjamin kebenarannya. Data gambar morfologi mikrob, data identifikasi secara molekuler, serta data identitas mikrob lainnya (lokasi, jenis sumber sampel, metode isolasi, dan lain-lain) diintegrasikan dalam suatu *database* berbasis web untuk kemudahan akses.



Gambar 6. Metode Pembuatan *Database* Morfologi Mikrob

2. Pembuatan *Database* Senyawa Mikrob

Pengembangan *database* senyawa mikrob dilakukan dengan metode sebagai berikut. Senyawa mikrob, baik komersial maupun yang didapat dari hasil penelitian sebelumnya, disiapkan dalam bentuk larutan di dalam pelarut tertentu. Profil kromatografi (UV dan MS) dianalisis dengan HPLC-PDA dan UPLC-QTOF/MS. Data spektrum UV dan MS yang didapatkan diintegrasikan dengan data identitas senyawa tersebut (produser, bioaktivitas, dan lain-lain) dalam bentuk *database* berbasis web untuk kemudahan akses.

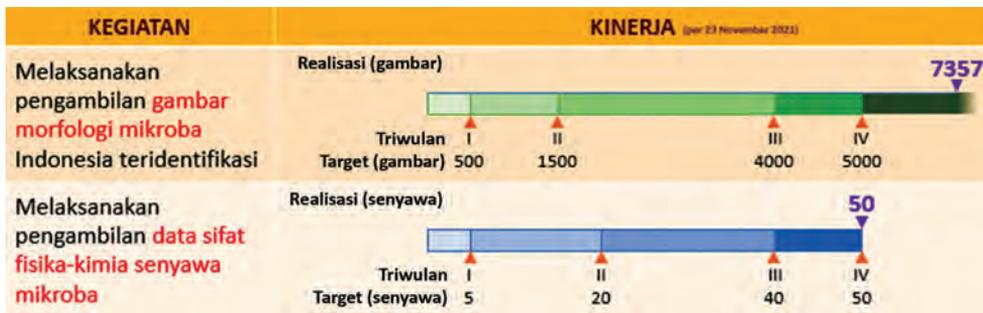


Gambar 7. Metode Pembuatan *Database* Senyawa Mikrob

E. KEMAJUAN KEGIATAN

Progres kegiatan tahun 2021 ditampilkan pada Gambar 7. Gambar morfologi mikrob yang telah terkumpul hingga akhir November 2021 sebanyak 7.357 buah. Jumlah ini telah melebihi target pengumpulan gambar sebanyak 5.000 buah pada akhir 2021. Penggunaan mikroskop digital terbukti membantu mempercepat proses pengambilan data gambar morfologi mikrob ini dibandingkan mikroskop konvensional karena dapat melakukan pengamatan morfologi secara langsung dari media dengan tingkat perbesaran yang tinggi tanpa harus melakukan preparasi sampel secara khusus. Jumlah senyawa yang telah didapatkan data spektrum UV dan MS adalah sebanyak lima puluh senyawa pada akhir November 2021 sehingga target pada 2021 ini telah tercapai.

Tabel 1. Progres Kegiatan Pengembangan *Database* Mikrob



Dari 7.357 data gambar morfologi mikrob yang telah didapatkan, sebanyak 5.108 gambar (69%) memiliki kualitas yang baik (ciri utama yang digunakan dalam identifikasi mikrob berbasis morfologi terlihat jelas). Data gambar ini didapatkan dari total 51 genus/kelas mikrob. Data morfologi ini telah diintegrasikan ke dalam *database* mikrob BioMCC.

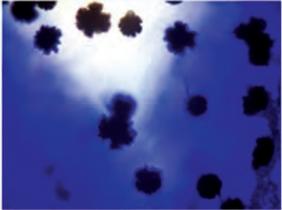
Database senyawa mikrob yang telah dibangun berisi senyawa mikrob yang dibuat oleh mikrob dari kelas aktinomiset, fungi, dan bakteri. Seluruh larutan senyawa mikrob ini disimpan pada suhu rendah (-30°C). Data spektrum UV dan MS dari masing-masing senyawa telah didapat dan diintegrasikan dengan *database* senyawa mikrob. *Database* ini telah diintegrasikan dengan laman web BioMCC untuk memudahkan akses.

Ringkasan koleksi mikrob di dalam *database* mikrob BioMCC ditampilkan dalam Gambar 7. Selain komposisi genus/kelas mikrob yang dikoleksi, *database* ini juga menampilkan jumlah mikrob yang dikoleksi berdasarkan sumber sampel, kategori, dan tahun saat mikrob tersebut diisolasi.

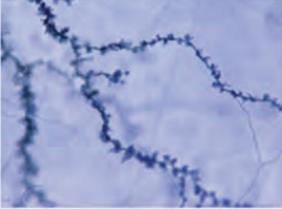
BioMCC Home Collection Compound Services Research Resources About Us Portal

FIND DATA 

Aspergillus assiutensis
f.EP.2337
 Owner : Balai Bioteknologi BPPT
 Location : Gresik
 Source : Diseased plant
 Growth Medium : MEA
 Isolation Method : Surface sterilization method
 IMG : f.EP.2337_Aspergillus_1.JPG



Aureobasidium melanogenum
f.PL.1138
 Owner : Balai Bioteknologi BPPT
 Location : Tangerang Selatan
 Source : Litter
 Growth Medium : MEA
 Isolation Method : Washing Method
 IMG : f.PL.1138_Aureobasidium_1.JPG



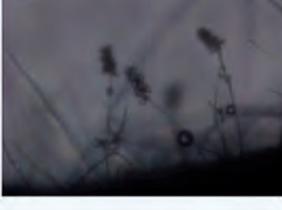
Calcarisporium sp.
f.MO.176
 Owner : Balai Bioteknologi BPPT
 Location : Kebumen
 Source : Binatang laut
 Growth Medium : PDA
 Isolation Method : Serial dilution
 IMG : f.MO.176_Calcarisporium_1.JPG



Purpureocillium sp.
f.T.7282
 Owner : Balai Bioteknologi BPPT
 Location : Ambon
 Source : Tanah
 Growth Medium : PDA
 Isolation Method : Wet Method
 IMG : f.T.7282_Purpureocillium_1.JPG



Rhinocladiella sp.
f.PL.488
 Owner : Balai Bioteknologi BPPT
 Location : Jogjakarta
 Source : Litter
 Growth Medium : PDA
 Isolation Method : Moist chamber method
 IMG : f.PL.488_Rhinocladiella_1.JPG



Gambar 8. Contoh Database Senyawa Mikrob di BioMCC

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Daftar nama dan identitas utama mikroba yang dikoleksi di BioMCC ditampilkan dalam *database*, seperti pada Gambar 10. Detail identitas masing-masing mikroba dapat dilihat dengan klik tombol “*view*” di bagian kanan layar.

Database mikroba tersebut telah diintegrasikan ke dalam laman BioMCC dengan alamat sebagaimana yang tercantum sehingga *database* tersebut dapat menjadi salah satu referensi bagi masyarakat, khususnya untuk studi taksonomi. *Database* senyawa mikroba yang telah dibangun berisi senyawa mikroba yang dibuat oleh mikroba dari kelas aktinomiset, fungi, dan bakteri. Jenis senyawa yang telah masuk dalam *database* ditampilkan dalam tabel yang ada di sebelah kanan layar. Seluruh larutan senyawa mikroba ini disimpan di suhu rendah (-30°C). Data spektrum UV dan MS dari masing-masing senyawa telah didapatkan dan diintegrasikan dengan *database* senyawa mikroba. *Database* ini telah diintegrasikan dengan laman web BioMCC untuk memudahkan akses.

F. KESIMPULAN

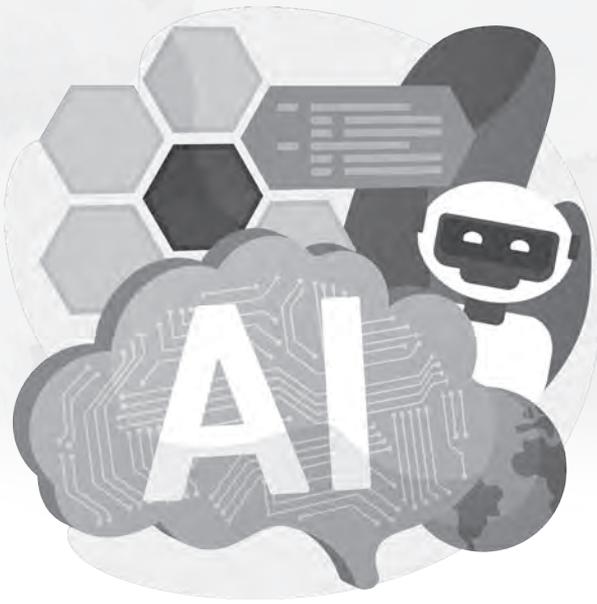
Melalui kegiatan ini, sebanyak lebih dari 5.000 data morfologi mikroba dan lima puluh data fisiko-kimia senyawa mikroba telah didapatkan. Sistem *database* gambar morfologi mikroba dan senyawa mikroba juga telah dikembangkan, dan data-data tersebut telah dimasukkan dalam *database* ini. *Database* ini juga telah diintegrasikan dalam laman web BioMCC untuk kemudahan akses.

Di masa mendatang, jumlah data gambar morfologi mikroba dari beberapa jenis fungi lainnya akan ditingkatkan. Sistem identifikasi mikroba berbasis morfologi menggunakan TKA akan ditingkatkan akurasi menggunakan teknik *machine learning*. Selain itu, sistem prediksi senyawa mikroba dalam ekstrak berbasis spektrum UV dan MS akan dikembangkan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Bérdy, “Bioactive microbial metabolites,” *J. Antibiot. (Tokyo)*, vol. 58, no. 1, pp. 1–26, Jan. 2005, doi: 10.1038/ja.2005.1.
- [2] J. Solecka, J. Zajko, M. Postek, dan A. Rajnisz, “Biologically active secondary metabolites from *Actinomycetes*,” *Cent. Eur. J. Biol.*, vol. 7, no. 3, pp. 373–390, 2012, doi: 10.2478/s11535-012-0036-1.
- [3] D. Waluyo dkk., “Exploring natural microbial resources for the discovery of anti-malarial compounds,” *Parasitol. Int.*, vol. 85, p. 102432, 2021, doi: 10.1016/j.parint.2021.102432.
- [4] Kementerian Kesehatan RI, *Profil Kesehatan Indonesia Tahun 2020*. Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2021.

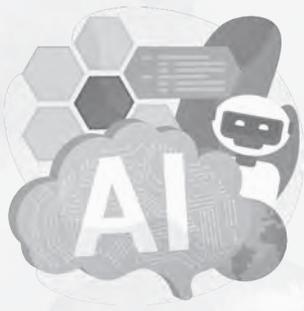
- [5] R. Raharni, S. Supardi, dan I. D. Sari, “Kemandirian dan ketersediaan obat era Jaminan Kesehatan Nasional (JKN): Kebijakan, harga, dan produksi obat,” *Media Penelit. dan Pengemb. Kesehat.*, vol. 28, no. 4, pp. 219–228, Dec. 2018, doi: 10.22435/mpk.v28i4.269.
- [6] A. M. Dondorp dkk., “Artemisinin Resistance in *Plasmodium falciparum* Malaria,” *N. Engl. J. Med.*, vol. 361, no. 5, pp. 455–467, Jul. 2009, doi: 10.1056/NEJMoa0808859.
- [7] K. J. Seung, S. Keshavjee, dan M. L. Rich, “Multidrug-Resistant Tuberculosis and Extensively Drug-Resistant Tuberculosis,” *Cold Spring Harb. Perspect. Med.*, vol. 5, no. 9, p. a017863, Sep. 2015, doi: 10.1101/cshperspect.a017863.
- [8] A. Pramisandi, H. Harmita, dan A. H. Mahsunah, “Bioguided-fractionation of butanolic extract of Banjarmasin soil fungus biomcc-F.T.3762 fermentative broth against *plasmodium falciparum* Dihydroorotate Dehydrogenase,” *J. Ilmu Kefarmasian Indones.*, vol. 15, no. 1, p. 1, Apr. 2017, doi: 10.35814/jifi.v15i1.445.
- [9] A. Pramisandi dkk., “Gentisyl alcohol and homogentisic acid: *Plasmodium falciparum* dihydroorotate dehydrogenase inhibitors isolated from fungi,” *J. Gen. Appl. Microbiol.*, vol. 67, no. 3, p. 2020.08.004, 2021, doi: 10.2323/jgam.2020.08.004.
- [10] A. Pramisandi dkk., “Microbial inhibitors active against *Plasmodium falciparum* dihydroorotate dehydrogenase derived from an Indonesian soil fungus, *Talaromyces pinophilus* BioMCC-f.T.3979,” *J. Gen. Appl. Microbiol.*, vol. 66, no. 5, pp. 273–278, Jul. 2020, doi: 10.2323/jgam.2019.11.007.
- [11] M. Mori dkk., “Identification of natural inhibitors of *Entamoeba histolytica* cysteine synthase from microbial secondary metabolites,” *Front. Microbiol.*, vol. 6, no. SEP, pp. 1–10, 2015, doi: 10.3389/fmicb.2015.00962.
- [12] N. Berdigaliyev dan M. Aljofan, “An overview of drug discovery and development,” *Future Med. Chem.*, vol. 12, no. 10, pp. 939–947, Mei 2020, doi: 10.4155/fmc-2019-0307.
- [13] W. Tsuneo, *Pictorial Atlas of Soil and Seed Fungi: Morphologies of Cultured Fungi and Key to Species, Third Edition*. CRC Press, 2010.
- [14] H. Zhu, “Big data and artificial intelligence modeling for drug discovery,” *Annu. Rev. Pharmacol. Toxicol.*, vol. 60, no. 1, pp. 573–589, Jan. 2020, doi: 10.1146/annurev-pharmtox-010919-023324.
- [15] K. P. Smith, A. D. Kang, dan J. E. Kirby, “Automated Interpretation of blood culture gram stains by use of a deep convolutional neural network,” *J. Clin. Microbiol.*, vol. 56, no. 3, Mar. 2018, doi: 10.1128/JCM.01521-17.



KLASTER: KOTA CERDAS DAN KEBENCANAAN

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 9

AI KEBENCANAAN DAN KEWILAYAHAN

Agustan

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

ABSTRAK

Indonesia terletak di daerah khatulistiwa, jalur pertemuan beberapa lempeng tektonik, dan dilalui jalur gunung api dunia. Kondisi ini membuat Indonesia menjadi daerah rawan bencana alam berupa gempa, tsunami, letusan gunung api, dan bencana turunan dari kondisi hidrometeorologi, seperti banjir, longsor, kekeringan, dan kebakaran lahan. Wilayah daratannya seluas 1,9 juta kilometer persegi didiami oleh populasi dengan laju pertumbuhan 1,49% per tahun dan diproyeksikan berjumlah 285 juta jiwa pada 2025. Pertumbuhan ekonomi dan hasil pembangunan memproyeksikan bahwa 65% dari populasi ini berdiam di wilayah perkotaan dan beberapa di antaranya rawan bencana. Selain itu, infrastruktur dibangun mengikuti populasi dan pusat kegiatan yang kadang terletak di zona rawan bencana sehingga terdapat potensi kerusakan jika terjadi bencana. Terkait dengan bencana, upaya yang dilakukan berupa mitigasi dan adaptasi. Fenomena bencana hidrometeorologi sudah dapat dimodelkan berdasarkan data dan teknologi utamanya kecerdasan artifisial yang saat ini terus berkembang. Selain itu, untuk pengembangan wilayah dan tata ruang, model spasial dinamis dikembangkan berbasis sistem cerdas.

Saat ini, Pusat Teknologi Pengembangan Sumber Daya Wilayah mengkaji satu purwarupa, yaitu Sistem Informasi Simulasi Spasial Dinamik Tata Guna Lahan (SIMULAN). Sistem ini dikembangkan untuk memahami perubahan lahan secara spasial, dinamika perkembangan wilayah dan perkotaan secara *real time*, dan memodelkan kemungkinan perubahan lahan. Saat ini, SIMULAN fokus pada wilayah pesisir dan menghasilkan model simulasi dalam perubahan lahan terkait dengan mitigasi bencana tsunami. Dalam hal ini, diikaji dua skenario, yaitu skenario perubahan lahan pada kondisi normal (sesuai dengan arahan dokumen rencana tata ruang) dan skenario dengan adanya potensi bahaya tsunami. Wilayah yang dipilih adalah kawasan Kuta Selatan (Kabupaten Badung, Bali). Selain itu, SIMULAN juga diarahkan untuk dapat memahami dan menilai kerusakan lingkungan yang disebabkan alih fungsi lahan dan bencana alam dengan memanfaatkan data pengindraan jauh dan sistem informasi geografis yang diolah menjadi sebuah model prediksi perubahan guna lahan spasial berbasis *cellular automata*. Pengembangan teknologi ini diharapkan menjadi salah satu dasar dalam pengambilan keputusan oleh para pemangku kebijakan yang terkait dengan penataan ruang dan perencanaan pembangunan wilayah dengan menganalisis tren perubahan lahan dengan berbagai skenario yang dikembangkan serta dampak perubahan lahan (seperti lingkungan dan ekonomi) pada level lokal, regional, dan nasional.

Kata kunci: simulasi, kebencanaan, alih fungsi lahan, wilayah, kecerdasan artifisial

Agustan

Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, e-mail: agustan@ieeee.org

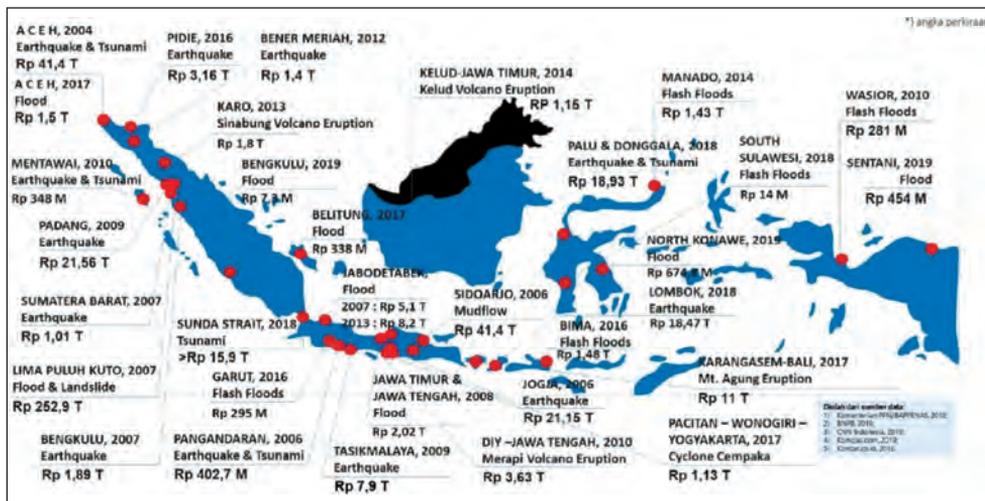
@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN Agustan, "AI Kebencanaan dan Kewilayahan," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksana, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 9, pp. 99-106, doi: 10.55981/brin.668.c544

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

Secara geografis, wilayah Indonesia merupakan daerah rawan bencana alam, seperti gempa, tsunami, letusan gunung api dan bencana turunan dari kondisi hidrometeorologi seperti banjir, longsor, kekeringan dan kebakaran lahan. Seringnya terjadi bencana tentu menyebabkan korban jiwa dan kerugian ekonomi yang cukup signifikan. Berdasarkan data Kementerian Koordinator Bidang Perekonomian, kerugian ekonomi akibat bencana alam dari tahun 2004–2019 mencapai 235,26 triliun. Sebagai contoh, gempa di Yogyakarta yang berkekuatan 6,3 SR pada 2006 menelan korban tiga kali lebih banyak daripada gempa Padang pada 2009 yang notabene lebih kuat (7,6 SR). Hal ini disebabkan oleh bangunan dan sapuan air. Bencana yang terjadi dari tahun 2004–2010 memakan korban 178.000 jiwa dengan estimasi kerugian 105 triliun.

Berdasarkan dampak dan kerugian yang terjadi, perlu pembangunan berkelanjutan berbasis risiko. Penting untuk dapat melakukan pengusutan pertimbangan risiko bencana terhadap kegiatan infrastruktur vital dalam sebuah wilayah.



Gambar 1. Ilustrasi Sebaran Bencana dan Estimasi Kerugian Ekonomi [1]

B. TEKNOLOGI 4.0 UNTUK KEBENCANAAN

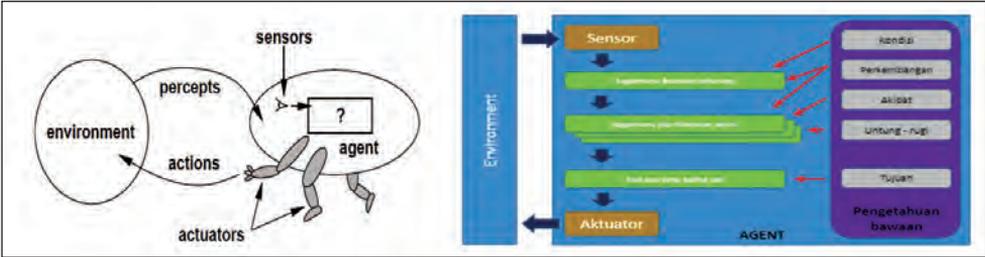
Peran teknologi kebencanaan harus dapat diterapkan pada tiga tahap utama kejadian bencana, yaitu sebelum, sesaat, dan sesudah kejadian bencana. Sebelum kejadian bencana, terdapat dua komponen yang harus diantisipasi, yaitu mitigasi (*mitigation*) dan kesiapsiagaan (*preparedness*). Pada saat kejadian bencana, komponen aksi tanggap darurat merupakan hal yang utama untuk operasi penanggulangan, pertolongan, dan penyelamatan (*response*). Setelah kejadian bencana, terdapat dua komponen utama, yaitu pemulihan (*recovery*) dan pencegahan (*prevention*). Kecerdasan artifisial diharapkan mampu berkontribusi pada tahap sebelum kejadian (mitigasi) dan pada saat terjadi bencana (*emergency response*).



Gambar 2. Teknologi 4.0 untuk Kebencanaan [2][3]

1. Kecerdasan Artifisial dan Kebencanaan

Untuk dapat memaksimalkan mitigasi dan kesiapsiagaan dalam menghadapi bencana, diperlukan sebuah sistem mandiri yang dapat melakukan pembelajaran berdasarkan eksisting data (*self-training*). Konsep dasar penerapan kecerdasan artifisial adalah pengumpulan data berdasarkan agen tertentu. Agen adalah segala sesuatu yang dapat “menangkap” lingkungan via sensor, kemudian melakukan tindakan ke lingkungan tersebut via aktuator. Untuk setiap urutan persepsi yang ada, agen harus memilih tindakan yang diharapkan dapat memaksimalkan ukuran kinerjanya dengan mengacu pada bukti yang diberikan (dari sensor) dan pengetahuan bawaan. Potensi aplikasi yang dikembangkan dengan metode kecerdasan artifisial, misalnya aplikasi karhutla, aplikasi tsunami, estimasi luas panen, dan zonasi perkembangan kota.



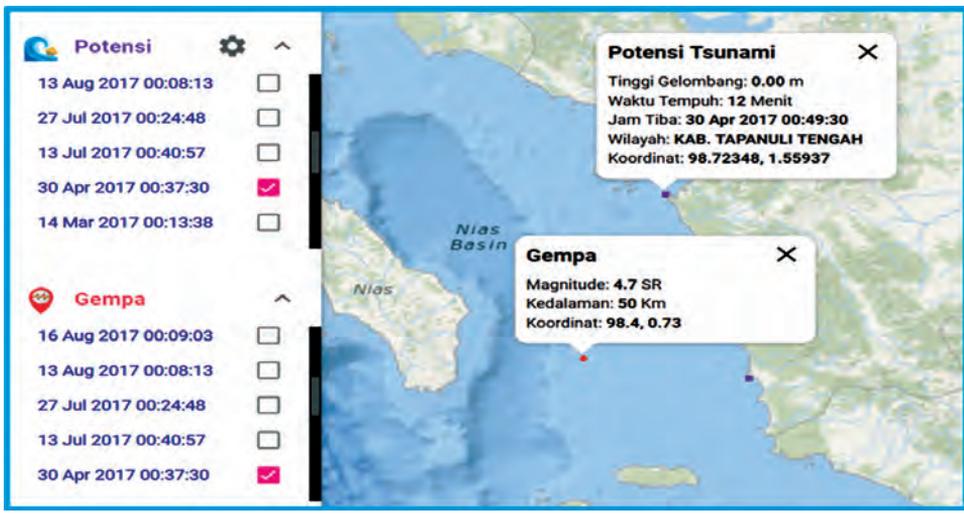
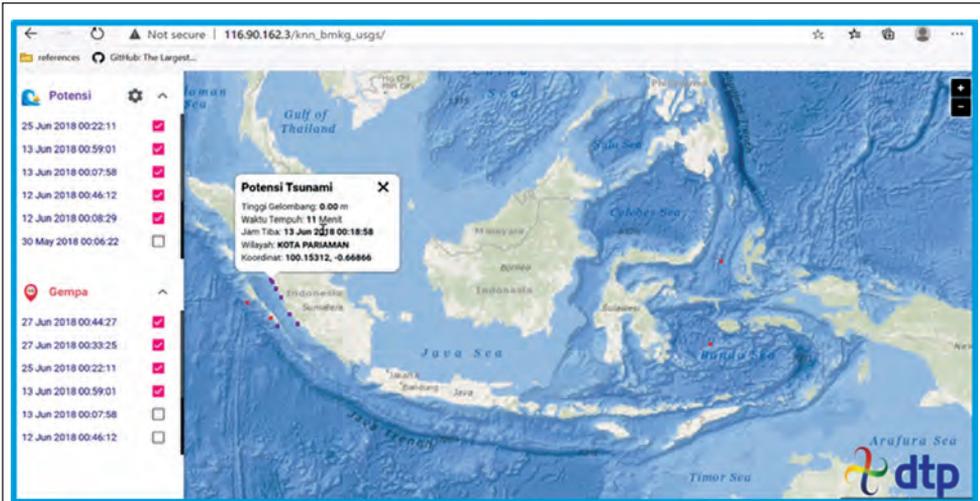
Gambar 3. Prinsip kerja sistem kecerdasan artifisial untuk diterapkan pada sektor kebencanaan [4]

B. DESKRIPSI USE CASE

1. Aplikasi Kecerdasan Artifisial Permodelan Tsunami

Kecerdasan buatan telah banyak digunakan terakit dengan pengelolaan air. Sebagai contoh, perangkat lunak kecerdasan buatan (AI) dikembangkan untuk mengidentifikasi dan mengukur berbagai jenis bakteri *cyanobacteria* atau ganggang biru-hijau yang dapat mengancam kebersihan air. Hal ini bisa dilakukan dengan data satelit dan penggunaan algoritma pembelajaran mesin untuk menentukan dinamika spasial-temporal area hijau dan kawasan kedap air. Data satelit juga dapat digunakan sebagai inputan untuk sistem permodelan tsunami.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Gambar 4. Aplikasi AI Pemodelan Tsunami [5]

Sistem tersebut dikembangkan menggunakan *machine learning* dan dapat melakukan prediksi tsunami jika terjadi gempa bumi dengan skala tertentu pada wilayah tertentu. Sistem ini juga dapat memprediksi waktu tempuh, lokasi tertentu di sepanjang pantai, dan perkiraan tinggi gelombang (*run-up*) pada saat mencapai daratan. Hal ini karena sistem dilengkapi dengan *hyperparameter input* dengan menggunakan data simulasi, sensor Buoy, CBT, dan parameter lainnya.

2. Sistem Simulasi Perubahan Guna Lahan (SIMULAN)

Metodologi pada simulasi perubahan guna lahan menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode berbasis spasial temporal menggunakan data raster dengan unit analisis piksel. Ukuran piksel yang digunakan pada proses simulasi, yakni 10 x 10 m. Pada simulasi perubahan guna lahan ini, faktor pendorong yang digunakan, yaitu faktor fisik (jarak ke pusat kota, jarak ke hutan mangrove, dan sebagainya), ekonomi (akomodasi pariwisata, pusat pariwisata, perdagangan dan jasa, dan sebagainya), faktor sosial dan sarana prasarana, serta faktor ketetanggaan. Penghitungan nilai pengaruh (bobot) variabel menggunakan metode *analytical hierarchy process* (AHP). Metode AHP digunakan untuk memperoleh nilai pengaruh tiap variabel pendorong terhadap perkembangan perubahan penggunaan lahan dengan memprediksi perubahan penggunaan lahan akibat pengaruh bencana tsunami di kawasan Kuta Selatan.

Tahapan analisis yang dilakukan dalam penelitian sebagai berikut.

a. Analisis Guna Lahan

Analisis ini bertujuan mengidentifikasi penggunaan lahan eksisting yang menjadi input awal dalam membangun model perubahan guna lahan. Dalam kasus ini, digunakan guna lahan tahun 2017 yang merupakan hasil pengolahan citra satelit yang divalidasi dengan data survei lapangan. Klasifikasi penggunaan lahan ditetapkan pada tahap ini. Dalam kasus kawasan Kuta Selatan, digunakan 10 kelas guna lahan dengan 3 guna lahan di antaranya yang akan dimodelkan perubahan gunanya.

b. Membangun Model Perubahan Guna Lahan

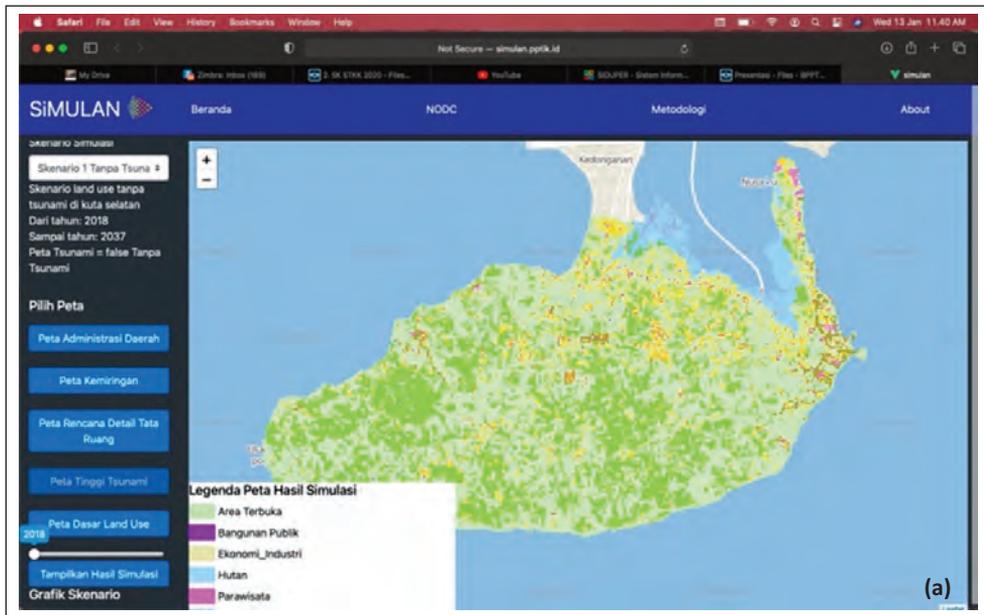
Simulasi perubahan guna lahan ini menggunakan konsep *cellular automata* (CA). CA merupakan sistem otomatisasi yang memproses informasi dengan program yang ada di dalamnya yang terbentuk dari unsur *cell*, *state set*, *neighbourhood*, *transition rules*, dan *time-step*. Aplikasi CA diperkenalkan pada pemodelan geografis [6] dan mulai berkembang penerapannya ke pemodelan bentuk kota [7], perkembangan fisik perkotaan [8], perencanaan *land use* [9], dan perencanaan wilayah dan kota [10]. Setiap *cell* pada CA akan bergantung pada keadaan sel awal dalam lingkungan (ketetanggaan) berdasarkan aturan transisi yang dibuat oleh peneliti atau pemangku kebijakan. Penyusunan peta simulasi perubahan guna lahan dilakukan dengan mengidentifikasi penggunaan lahan eksisting dan rasio pertumbuhan penggunaan lahan. Setelah itu, dilakukan pembuatan peta

potensi perkembangan perubahan guna lahan serta menentukan *neighbourhood filter* dan *constraint variable*. Aturan transisi akan dapat menentukan bagaimana suatu simulasi perubahan penggunaan lahan berjalan. Simulasi perubahan guna lahan ini menggunakan perangkat LanduseSim [11]. LanduseSim merupakan aplikasi berbasis sel/raster yang dapat membantu perencana kota untuk memahami dinamika pola ruang dengan cara yang lebih mudah, terutama membantu menyimulasikan dinamika pola ruang meliputi pembentukan dan pemekaran kota di masa yang akan datang atas dasar faktor-faktor yang memengaruhinya.

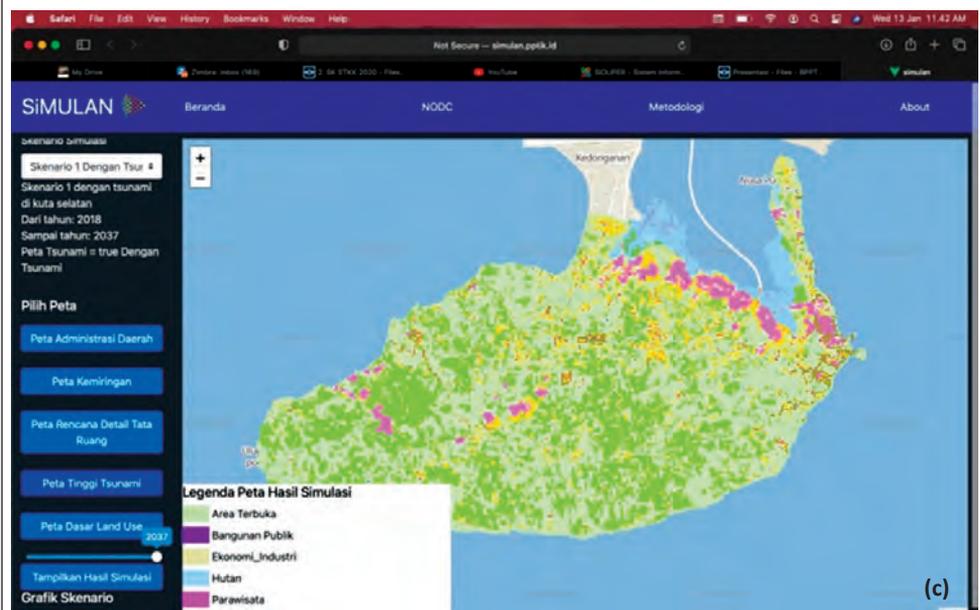
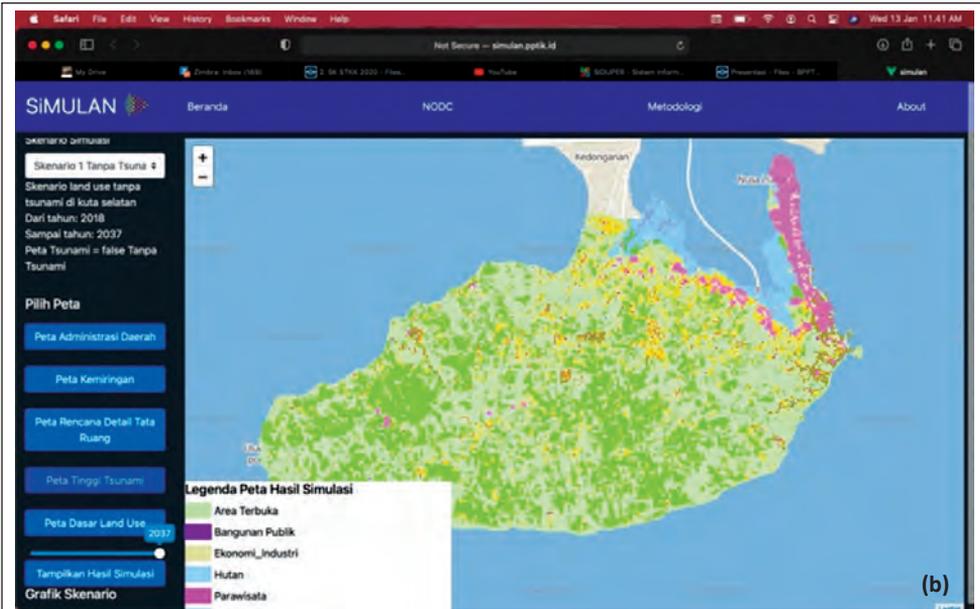
Prototipe simulasi perubahan guna lahan di daerah Kuta, Badung, Provinsi Bali, dengan dua skenario sebagai berikut.

- Skenario normal (dengan asumsi keadaan normal saat ini tanpa adanya bencana);
- Skenario dengan adanya tsunami.

Tiga gambar berikut merupakan contoh tangkapan layar aplikasi SIMULAN menggunakan data real kondisi tahun 2018, simulasi kondisi tahun 2037 dengan skenario tanpa tsunami, dan simulasi kondisi tahun 2037 dengan skenario terjadi tsunami.



Buku ini tidak diperjualbelikan.



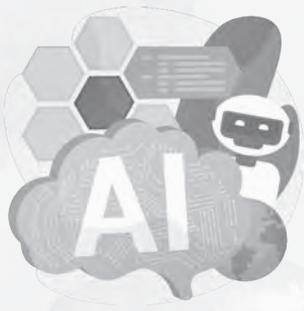
Gambar 5(a). mengilustrasikan kondisi tutupan dan peruntukan lahan secara nyata pada tahun 2018. Kemudian, dengan menggunakan model perkembangan kota dan wilayah, dapat disimulasikan perubahan fungsi lahan pada tahun 2037 dengan asumsi kondisi normal yang dilustrasikan pada Gambar 5(b). Apabila potensi bahaya tsunami diperhitungkan dalam tata ruang, simulasi perubahan fungsi lahan pada tahun 2037 dapat dilihat pada Gambar 5(c).

Gambar 5. Sistem Simulasi Perubahan Guna Lahan [12]

Buku ini tidak diperjualbelikan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Deputi Bidang Koordinasi Pengembangan Wilayah dan Tata Ruang, paparan dalam FGD Kajian Kebutuhan Pascabencana (JITUPASNA), 5 Mei 2021.
- [2] Geospatial Media and Communications, “Global Geospatial Industry Outlook 2017.” [Online]. Available: <https://geospatialmedia.net/pdf/Industry-Outlook-report-2017.pdf>
- [3] G. L. Cozannet, dkk., “Space-based earth observations for disaster risk management,” *Surv Geophys*, vol. 41, pp. 1209–1235, Maret 2020, doi:10.1007/s10712-020-09586-5.
- [4] S. Yulianto, “Artificial intelligence from dummy,” Paparan pada acara Ngobrol Santai Reguler Wawasan Hidup (Ngosreg Wahid) PTPSW, 12 Februari 2020.
- [5] W. Kongko, “Penanganan kebencanaan menggunakan kecerdasan artifisial (PEKA) tsunami,” Paparan pada Diskusi Pemanfaatan Kecerdasan Artifisial untuk Ketahanan Kebencanaan dan Ketahanan Pangan, Asdep Ketahanan Kebencanaan & Pemanfaatan Teknologi, Kemenko Bidang Perekonomian RI, 10 Februari 2021.
- [6] W. R. Tobler, “Cellular geography”, dalam *Philosophy in Geography*, S. Gale dan G. Olsson, Eds. Dordrecht, Netherlands: D. Reidel, 1979, pp. 379–386.
- [7] M. Batty, H. Couclelis, dan M. Eichen, “Urban systems as cellular automata,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, vol. 24, pp. 159-164, April 1997, doi: 10.1068/b240159.
- [8] K. C. Clarke, S. Hoppen, S., dan L. Gaydos., “A self-modifying cellular automaton model of historical urbanization in the San Francisco Bay area,” *Environment and Planning B: Planning and Design*, Vol. 24, pp. 247–261, Februari 1997, doi:10.1068/b240247.
- [9] X. Li dan A. G. O. Yeh, “Modelling sustainable urban development by the integration of constrained cellular automata and GIS,” *International Journal of Geographical Information Science*, vol. 14 pp. 131–152, Agustus 2010.
- [10] G. Engelen, S. Geertman, P. Smits, dan C. Wessels, “Dynamic GIS and strategic physical planning support: a practical application,” dalam *Geographical Information and Planning*. Berlin, Jerman: Springer, 1999, pp. 87–111.
- [11] N. A. Pratomoatmojo, “LanduseSim algorithm: Land use change modelling by means of cellular automata and geographic information system,” dalam *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, Vol. 202, No. 1, p. 012020, November 2018, IOP Publishing.
- [12] BPPT, “Sistem informasi simulasi spatial dinamik tata guna lahan (Simulan).” [Online]. Available: <http://simulan.bppt.go.id/>



CHAPTER 10

PEMANFAATAN KECERDASAN ARTIFISIAL UNTUK MENINGKATKAN MITIGASI BENCANA BANJIR

**Hammam Riza, Eko Widi Santoso, Iwan G. Tejakusuma,
Firman Prawiradisastra, & Prihartanto**

Pusat Teknologi Reduksi Risiko Bencana
Kedepuan Teknologi Pengembangan Sumberdaya Alam (TPSA)
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi

ABSTRAK

Bencana banjir merupakan salah satu kejadian bencana yang mendominasi di Indonesia. Frekuensi dan intensitas bencana ini cenderung meningkat dari tahun ke tahun, demikian pula kerugian yang ditimbulkan akibat bencana ini semakin besar. Untuk mengurangi risiko bencana dan kerugian akibat banjir, diperlukan inovasi dalam mitigasi bencana. Kecerdasan artifisial dan pembelajaran mesin merupakan inovasi teknologi yang telah banyak diterapkan di berbagai bidang kehidupan dan dapat juga digunakan untuk meningkatkan mitigasi bencana banjir. Studi literatur yang dilakukan pada penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan kecerdasan artifisial dengan pembelajaran mesin terbukti mampu dan berhasil secara cepat dan akurat melakukan prediksi banjir, pemetaan risiko banjir, tanggap darurat banjir maupun pemetaan kerusakan akibat banjir. ANNs, SVM, SVR, ANFIS, WNN, dan DTs merupakan metode populer yang digunakan untuk mitigasi banjir dalam tahap prabencana dan direkomendasikan untuk menggunakan gabungan atau hibrid dari metode tersebut. Penerapan untuk tahap tanggap darurat bencana banjir masih belum banyak dilakukan dan masih perlu dikembangkan. Contoh pemanfaatannya adalah penggunaan *big data* dari media sosial Twitter dan pembelajaran mesin, baik *supervised learning* dengan Random Forest maupun *unsupervised learning* dengan CNN yang telah menunjukkan hasil yang baik dan mempunyai prospek yang bagus untuk diterapkan. Pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam tahap pascabencana banjir juga masih belum banyak dilakukan karena memerlukan data aktual kondisi di lapangan, dan ke depan menjadi program penting kaji terap pemanfaatan kecerdasan artifisial.

Kata kunci: banjir, mitigasi, kecerdasan artifisial, *supervised learning*, *unsupervised learning*

H. Riza, E. W. Santoso, I. G. Tejakusuma, F. Prawiradisastra, and Prihartanto
Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi, e-mail: hammam.riza@korika.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
H. Riza, E. W. Santoso, I. G. Tejakusuma, F. Prawiradisastra, and Prihartanto, "Pemanfaatan kecerdasan artifisial untuk meningkatkan mitigasi bencana banjir," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 10, pp. 107-120, doi: 10.55981/brin.668.c545
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

Kecerdasan artifisial (*artificial intelligence* atau AI), saat ini telah digunakan di berbagai bidang sektor kehidupan kita, tidak terkecuali di bidang kebencanaan. Penelitian kecerdasan artifisial pada bidang ini telah berkembang dalam beberapa tahun belakangan ini, contohnya penerapan pada bidang bencana banjir, kebakaran hutan dan lahan, gempa, pemantauan gunung api, dan cuaca ekstrem.

Seperti disampaikan dalam ringkasan eksekutif Kongres Teknologi Nasional (KTN) [1] dalam 15 tahun terakhir atau periode 2003–2017, bencana di Indonesia semakin meningkat, baik dari jumlah kejadian maupun skala intensitasnya. Bencana hidrometeorologi (banjir, kekeringan, kebakaran hutan dan lahan, longsor, puting beliung, gelombang pasang) sebagai dampak dari perubahan iklim mendominasi peristiwa bencana di Indonesia, yakni >90%. Dalam sepuluh tahun terakhir atau periode 2011–2020, data bencana alam di Indonesia secara jelas menunjukkan peningkatan kejadian bencana (Gambar 1). Berdasarkan data BNPB (Gambar 1), kejadian bencana banjir juga menunjukkan tren yang meningkat. Kecenderungan meningkatnya jumlah kejadian dan intensitas bencana tidak saja terjadi di Indonesia, tetapi juga terjadi di seluruh dunia.

Upaya pengurangan risiko bencana perlu dilakukan untuk mereduksi bencana yang kian meningkat tersebut. Sendai Framework for Disaster Risk Reduction atau SFDRR 2015–2030 menyepakati perlunya perubahan paradigma pengurangan



Gambar 1. Tren Kejadian Bencana Alam di Indonesia dalam Sepuluh Tahun Terakhir (2011–2020) [2][19]

risiko bencana (PRB) dari prakiraan dan peringatan dini menjadi prakiraan berbasis dampak dan peringatan dini berbasis risiko (*impact based forecasting and risk based warning*). Selanjutnya, Paris Agreement 2015 yang telah diratifikasi oleh Indonesia pada 31 Oktober 2016 melalui Undang-Undang (UU) Nomor 16 Tahun 2016 menggarisbawahi upaya mitigasi, adaptasi, perhitungan *loss-and-damage*, dan *capacity building*, termasuk mekanisme pembiayaannya, serta proses *monitoring* pelaporan setiap negara melalui Nationally Determined Contribution (NDC).

Di Indonesia, kerugian materi yang diakibatkan oleh bencana periode 2004–2013, rata-rata per tahun mencapai 22,8 triliun [3]. Kondisi ini hanya jika tidak terjadi kondisi yang ekstrem, misalnya *el nino* atau tsunami. Kerugian ekonomi akibat *el nino* tahun 2015 mencapai 250 triliun rupiah atau 0,2% dari produk domestik bruto (PDB). Besarnya rerata per tahun kerugian ekonomi tersebut disebabkan oleh masyarakat yang tinggal di daerah bencana atau rentan bencana, tidak tersedianya sistem peringatan dini, semakin tingginya tingkat kerentanan wilayah, dan masyarakat tidak memahami gejala bahaya menjadi bencana.

Dalam Undang-Undang (UU) Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana [20][4], penyelenggaraan penanggulangan bencana dibagi menjadi tiga tahap, yaitu prabencana, saat tanggap darurat, dan pascabencana. Upaya pengurangan risiko bencana (PRB), seperti halnya diamanahkan oleh Sendai Framework for Disaster Risk Reduction (SFDRR) 2015–2030 maupun UU tersebut, sangat memerlukan pengkajian dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi. Sebagai contoh, perlu pengkajian dan penerapan ilmu pengetahuan dan teknologi dalam memahami, mengamati, memprediksi, serta memantau bahaya, kerentanan, dan risiko bencana. Selain itu, diperlukan pula ilmu pengetahuan dan teknologi dalam melakukan upaya peringatan dini, diseminasi informasi, dan pengembangan teknologi baru agar upaya reduksi risiko bencana dapat tercapai secara lebih cepat dan akurat.

Perkembangan ilmu pengetahuan dan teknologi saat ini telah memasuki tahapan Revolusi Industri 4.0 yang berbasis teknologi informasi, seperti penggunaan *big data*, *internet of things* (IoT), kecerdasan artifisial atau *artificial intelligence* (AI), *crowdsorce*, dan otomatisasi. Secara khusus, penerapan kecerdasan artifisial membuka peluang luas inovasi teknologi untuk mendukung upaya pengurangan risiko bencana melalui sistem cerdas *smart risk reduction*.

Untuk mengetahui perkembangan terkini, diperlukan evaluasi penerapan kecerdasan artifisial dan pembelajaran mesin. Oleh karena itu, dalam tulisan ini akan diuraikan perkembangan penelitian kecerdasan artifisial dan pembelajaran mesin serta penerapannya untuk meningkatkan mitigasi bencana banjir.

B. BAHAN DAN METODE

1. Bahan

Dalam penelitian ini, sumber daya yang digunakan berupa data dan artikel-artikel yang diperoleh dari buku, laporan ataupun jurnal ilmiah terkait studi yang diterbitkan secara nasional maupun internasional. Hasil dari studi literatur terhadap artikel-artikel tersebut digunakan sebagai referensi dalam penulisan makalah ini.

2. Metode

Penelitian dilakukan dengan metode *literature review* atau studi literatur, khususnya pada publikasi terkini tentang penerapan kecerdasan artifisial atau *artificial intelligence* (AI) dalam bidang mitigasi bencana banjir. Penelusuran literatur dilakukan dari berbagai sumber, seperti buku, lembaran negara, jurnal, situs web tertentu dari badan dunia, dan sumber lainnya melalui internet. Tujuannya adalah didapatkannya gambaran terkini penelitian dan penerapan kecerdasan artifisial dalam upaya mitigasi bencana dan mendeteksi bidang spesifik dari aplikasi kecerdasan artifisial yang dilakukan serta model tertentu yang diaplikasikan. Berdasarkan studi tersebut, dapat diuraikan perkembangan penerapan terkini yang telah berhasil dilakukan. Selanjutnya, prospek pengembangan dan penerapan kecerdasan artifisial di masa depan serta saran aplikasi kecerdasan artifisial dalam tahapan penanggulangan bencana dapat diberikan.

C. PEMBAHASAN

1. Penelitian Kecerdasan Artifisial pada Bencana Banjir

Banjir merupakan bencana yang paling sering terjadi di wilayah Asia Pasifik dan memiliki dampak yang signifikan terhadap perekonomian di wilayah tersebut [5]. Wagenaar dkk. [6] menyatakan bahwa metode pembelajaran mesin telah diterapkan dalam penilaian risiko dan dampak banjir, khususnya dalam pengembangan langkah-langkah mitigasi, persiapan tanggap darurat, dan perencanaan pemulihan banjir. Metode ini memiliki potensi untuk meningkatkan akurasi serta mengurangi waktu penghitungan dan biaya pengembangan model. Pada bencana banjir, penerapan metode kecerdasan artifisial memiliki prospek yang baik karena model fisik hidrologi membutuhkan data yang besar untuk pemrosesannya, sedangkan model kecerdasan artifisial hanya membutuhkan data yang terbatas saja untuk proses prediksinya [7].

Beberapa penelitian lain terkait penggunaan aplikasi kecerdasan artifisial dalam prediksi banjir menyebutkan tentang pemantauan tinggi muka air banjir menggunakan kecerdasan artifisial metode *time variant inertia weight particle swarm optimization* (TVIWPSO) dan *support vector regression* (SVR) [8], serta metode jaringan syaraf tiruan *radial basis function* [9]. Sementara itu, pemanfaatan kecerdasan artifisial untuk prediksi curah hujan, debit dan banjir dengan menggunakan

backpropagation neural network (BP-NN) dan *support vector machine* (SVM) [10]. Selain itu, penggunaan teknik *machine learning* atau pembelajaran mesin dapat digunakan untuk meningkatkan ketangguhan dan kesiapsiagaan masyarakat terhadap bencana banjir, dengan mengaplikasikan dan membandingkan kinerja serta akurasi beberapa teknik, seperti *random forest* (RF), *Lazy*, *J48 tree*, *artificial neural network* (ANN), *Bayes* (NB), dan *logistic regression* (LR). Metode *artificial neural network* (ANN) digunakan untuk mengembangkan model inundasi regional [11]. Selain itu, algoritma *adaptive neuro fuzzy inference system* (ANFIS) dimanfaatkan untuk membuat model kerentanan banjir [12].

Mosavi dkk. [7] juga telah melakukan kajian literatur yang ekstensif serta membuat skema klasifikasi untuk menganalisis literatur yang ada tentang pemodelan pembelajaran mesin untuk prediksi banjir. Lebih dari 6000 artikel telah dikaji dan terdapat 180 artikel yang berpengaruh dan orisinal di mana kemampuan dan akurasi dari sedikitnya dua model pembelajaran mesin telah dibandingkan. Terdapat dua kategori model prediksi, yaitu model tunggal dan model hibrid. Hasil yang didapatkan menunjukkan keberhasilan seperti yang ditunjukkan oleh aplikasi metode pembelajaran mesin yang populer, yaitu ANNs, SVM, SVR, ANFIS, *wavelet-based neural network* (WNN) dan *decision tree* (DTs). Mosavi dkk. [7] menunjukkan bahwa kualitas prediksi banjir dapat ditingkatkan dengan beberapa cara sebagai berikut.

Melakukan kebaruan dalam hibridisasi. Hal ini dapat melalui integrasi dua atau lebih metode pembelajaran mesin atau integrasi metode pembelajaran mesin dengan cara yang lebih konvensional, dan atau cara komputasi;

- a. Penggunaan teknik dekomposisi data untuk meningkatkan kualitas data set. Hal ini sangat berkontribusi dalam meningkatkan akurasi prediksi.
- b. Penggunaan metode ansambel yang secara dramatis dapat meningkatkan kemampuan model dan mengurangi ketidakpastian dalam melakukan prediksi.
- c. Pemilihan penambahan algoritma pengoptimal untuk meningkatkan kualitas algoritma pembelajaran mesin, misalnya dengan memberikan penyesuaian yang lebih baik pada ANNs untuk mencapai arsitektur neuronal yang optimal.
- d. Penggunaan model pembelajaran mesin untuk memprediksi banjir secara spasial merupakan bidang riset yang disarankan untuk kegiatan selanjutnya. Kemajuan terbaru menunjukkan bahwa model pembelajaran mesin untuk analisis banjir secara spasial telah merevolusi bidang prediksi banjir.

2. Penerapan Kecerdasan Artifisial pada Beberapa Tahap Penanggulangan Bencana Banjir

a. Penerapan Kecerdasan Artifisial pada Tahap Prabencana Banjir

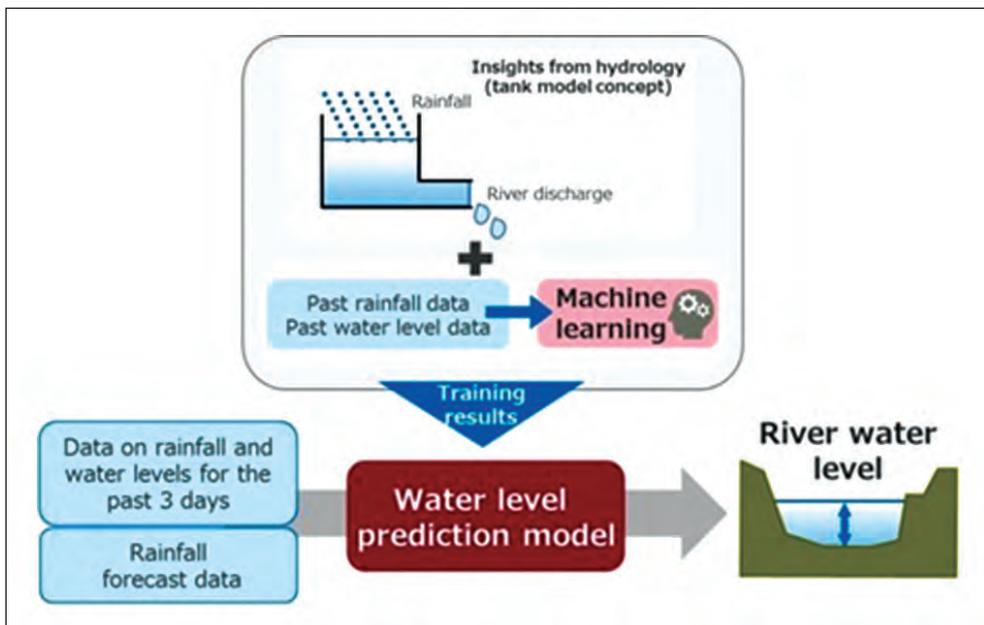
Penerapan kecerdasan buatan pada fase prabencana yang paling dominan adalah untuk memprediksi kejadian banjir. Metode pembelajaran mesin berperan penting

mempercepat prediksi kejadian banjir—terutama untuk jangka pendek—sehingga peringatan dini bisa lebih cepat diberikan kepada yang terdampak [7]. Berikut ini beberapa contoh kasus penerapan kecerdasan artifisial untuk model prediksi bencana banjir.

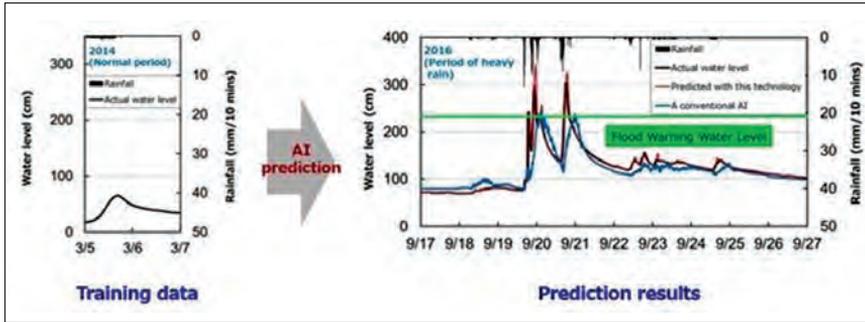
Aplikasi kecerdasan artifisial melalui pembelajaran mesin dalam upaya pengurangan risiko bencana banjir telah dilakukan oleh para peneliti melalui beberapa metode. Kejadian banjir umumnya diprediksi dengan data curah hujan dan ketinggian muka air sungai.

Sebagai contoh, aplikasi kecerdasan artifisial yang dikembangkan Fujitsu pada 2019 dapat memprediksi banjir dengan lebih akurat melalui teknologi dan teknik Fujitsu Human Centric AI Zinrai (Gambar 2). Kecerdasan artifisial yang diterapkan tersebut dapat memprediksi kenaikan muka air sungai secara lebih akurat dari data curah hujan dan muka air sungai (Gambar 3).

Penelitian lainnya menggunakan *artificial neural network* (ANN) untuk mengembangkan model inundasi regional *the self-organizing map* (SOM) dan *the recurrent nonlinear autoregressive with exogenous inputs* (RNARX) disingkat SOM-RNARX di daerah aliran sungai (DAS) Kemamam, Malaysia [11] sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 4. Model yang digunakan cukup efektif dan akurat untuk memprediksi kedalaman inundasi pada daerah tersebut dengan waktu yang cukup singkat, yakni beberapa detik saja. Dengan RMSE keseluruhan $<0,35$ dan $R^2 >0,9$ maka, model ini dapat dimanfaatkan untuk peringatan dini pada daerah tersebut.

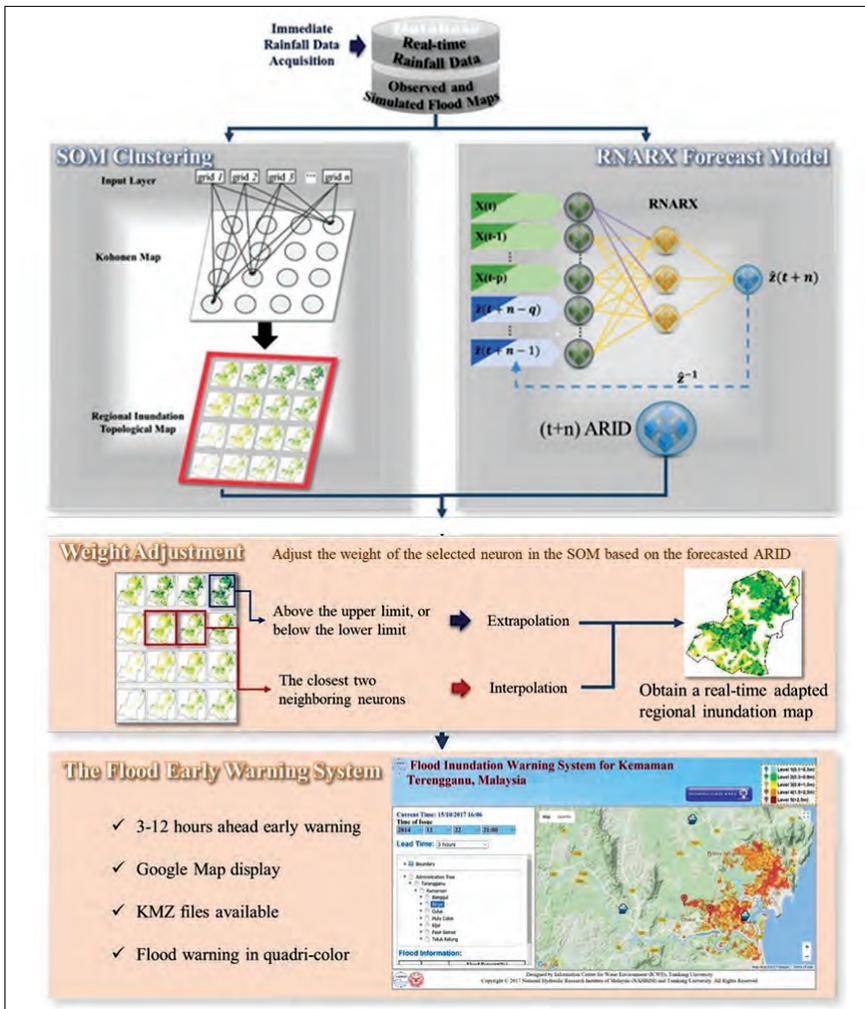


Gambar 2. Diagram ringkas prediksi muka air dengan kecerdasan artifisial [13][21]



Sumber: Fujitsu (2019).

Gambar 3. Kecerdasan artifisial Fujitsu Human Centric AI Zinrai dapat memprediksi kenaikan muka air sungai secara lebih akurat dari data curah hujan dan muka air sungai [13][21]

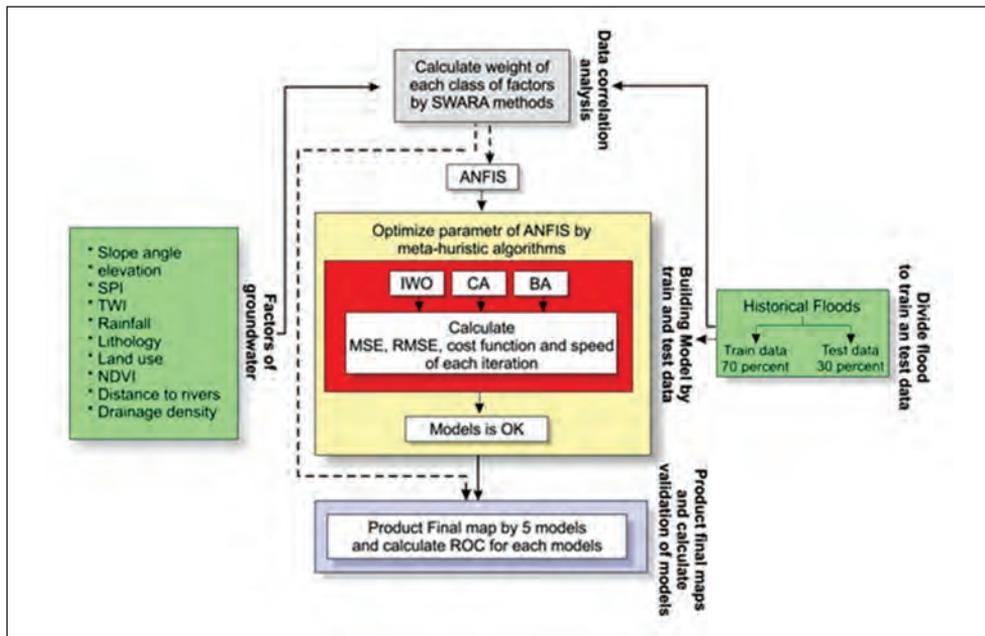


Sumber: Chang dkk. (2018).

Gambar 4. Metodologi Model SOM-RNARX [9][11]

Penelitian lain memanfaatkan algoritma ANFIS untuk membuat model kerentanan banjir di daerah aliran Sungai Haraz di Iran [12] sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 5. Sepuluh faktor pengondisi banjir kontinu dan kategori dipilih berdasarkan 201 lokasi banjir, termasuk *Topographic Wetness Index* (TWI), kepadatan sungai, aliran indeks daya (SPI), kelengkungan, jarak dari sungai, litologi, ketinggian, kemiringan tanah, penggunaan lahan, dan curah hujan. Algoritma yang dipakai adalah ANFIS *with cultural* (ANFIS-CA), *bees* (ANFIS-BA), dan *invasive weed optimization* (ANFIS-IWO). Hasil penelitian menunjukkan bahwa ANFIS-IWO dengan RMSE lebih rendah (0,359) memiliki kinerja yang lebih baik, sementara ANFIS-BA dengan AUROC lebih tinggi (94,4%) menunjukkan kemampuan prediksi yang lebih baik, diikuti oleh ANFIS-IWO (93,9%) dan ANFIS-CA (92,1%).

Moon dkk. [14] mengkaji tentang peringatan dini hujan di Korea yang dapat mengeluarkan sinyal sebelum terjadinya hujan yang ekstrem dengan teknik pembelajaran mesin. Sinyal peringatan akan keluar jika kriteria hujan lebat yang ditetapkan tercapai sehingga kejadian hujan lebat dalam tiga jam berikutnya dapat diprediksi. Hal tersebut dilakukan dengan cara melakukan diskretisasi variabel input secara selektif dan menerapkan *principal component analyses*. Regresi logistik digunakan sebagai pengklasifikasi untuk memprediksi kebutuhan peringatan.



Sumber: Bui dkk. (2018)

Gambar 5. Metodologi Penelitian Bui dkk. [10][12]

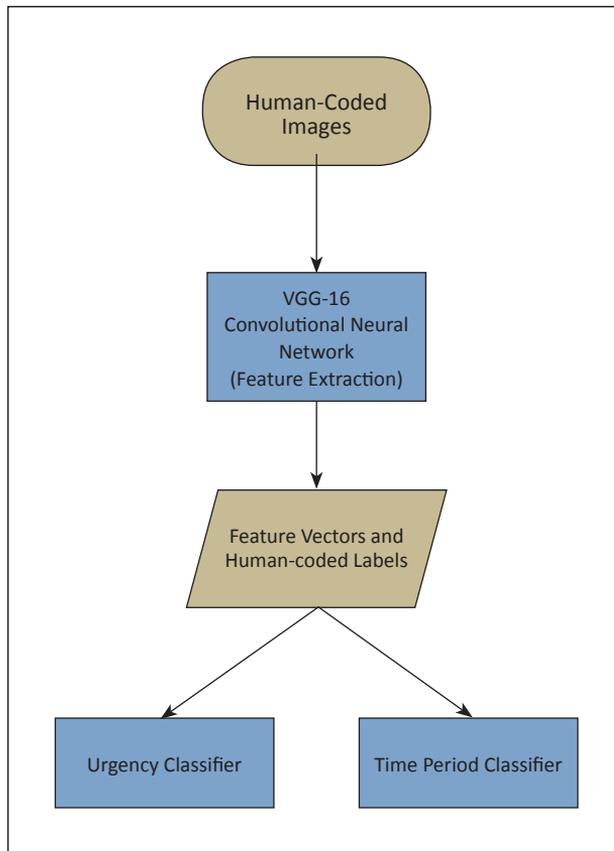
Darabi dkk. [15] melakukan penelitian tentang pemetaan risiko banjir perkotaan di Iran di Kota Sari melalui teknik pembelajaran mesin dengan menerapkan model *genetic algorithm rule-set production* (GARP) dan model *quick unbiased efficient statistical tree* (QUEST) serta membandingkan kedua aplikasi model tersebut. Untuk analisis bahaya banjir, digunakan faktor curah hujan, kemiringan, jumlah kurva, jarak ke sungai, jarak ke saluran, kedalaman ke air tanah, penggunaan lahan, dan ketinggian. Untuk analisis kerentanan banjir, digunakan faktor kepadatan kota, kualitas bangunan, usia bangunan, kepadatan penduduk, dan kondisi sosial ekonomi. Selain itu, penentuan bobot faktor ditentukan berdasarkan pengetahuan para ahli dan *fuzzy analytical network process* (FANP). Hasil yang didapatkan menunjukkan bahwa model GARP mempunyai kinerja yang lebih baik dengan nilai *Receiver-Operator Characteristic Curve* (AUC-ROC) = 93,5% dan Kappa = 0,86 dibandingkan QUEST dengan nilai AUC-ROC = 89,2% dan Kappa = 0,79. Selain itu, hasil penelitian juga menunjukkan bahwa jarak ke saluran, penggunaan lahan, dan ketinggian memainkan peran utama dalam penentuan bahaya banjir. Sementara itu, kepadatan populasi, kualitas bangunan, dan kepadatan kota menjadi faktor yang paling penting dalam hal kerentanan. Model ini dianggap sebagai metode cepat yang dapat memprediksi risiko banjir di perkotaan. Darabi dkk. [15] juga menyebutkan bahwa model pembelajaran mesin dapat membantu dalam pemetaan risiko banjir, terutama area dengan data hidrolika dan hidrologi yang terperinci tidak tersedia.

Prawiradisatra [16] melakukan pengkajian kemungkinan penerapan ANFIS, ANN, dan FIS untuk memprediksi tinggi muka air (TMA) pada Sungai Ciliwung. ANFIS dan ANN dipakai untuk membandingkan model mana yang memiliki performa paling baik untuk memprediksi tinggi muka air di pintu air Depok. Keluaran dari model yang paling baik akan dipakai sebagai masukan bagi model FIS untuk memprediksi tinggi muka air di pintu air Manggarai. RMSE dari hasil tes pada model ANN terbilang cukup tinggi. Rata-rata RMSE pada model ANN dengan 6, 24, dan 48 fitur adalah 52.5764, 35.6601, dan 70.7277 secara berurutan. Dapat disimpulkan bahwa model ANN tidak bisa diandalkan untuk memprediksi tinggi muka air di Depok. Model ANFIS memiliki performa yang lebih baik dibandingkan model ANN, dalam hal ini, ANFIS dengan tiga fitur dipilih karena memiliki performa paling baik di antara seluruh model yang diujicobakan. Rata-rata RMSE untuk ANFIS dengan 3 fitur adalah 18.2222. Oleh karena itu, hasil prediksi dari model ini akan digunakan sebagai masukan untuk model FIS. Hasil RMSE (%) dari model FIS cukup rendah, yakni rata-rata 3,43 yang artinya model FIS dapat memprediksi tinggi muka air di pintu air Manggarai dengan akurasi yang baik.

b. Penerapan Kecerdasan Artificiial pada Tahap Tanggap Darurat Bencana Banjir

Robertson dkk. [17] menggunakan data media sosial pada saat bencana untuk membantu tim penyelamat dalam menemukan korban. Penelitian Robertson dkk. [17] ini membandingkan gambar korban yang dikirim selama Hurricane Harvey tahun 2017 ke dalam klasifikasi pembelajaran mendalam atau *deep learning* yang dipelajari dengan metode pembelajaran mesin. Kerangka kerja untuk ekstraksi fitur menggunakan VGG-16 *convolutional neural network* atau klasifikasi *multilayer perceptron* untuk mengklasifikasikan urgensi dan periode waktu untuk gambar yang diberikan (Gambar 6).

Zahra dkk. [18] telah melakukan penelitian tentang penggunaan Twitter pada saat kejadian bencana dengan bantuan pembelajaran mesin yang hasilnya dapat digunakan untuk keperluan tanggap darurat bencana. Pendekatan yang dilakukan sukses untuk menggabungkan analisis *crowdsourcing* dan pembelajaran mesin, serta meningkatkan pemahaman dan kemampuan mengidentifikasi laporan saksi mata yang penting pada saat kejadian bencana.

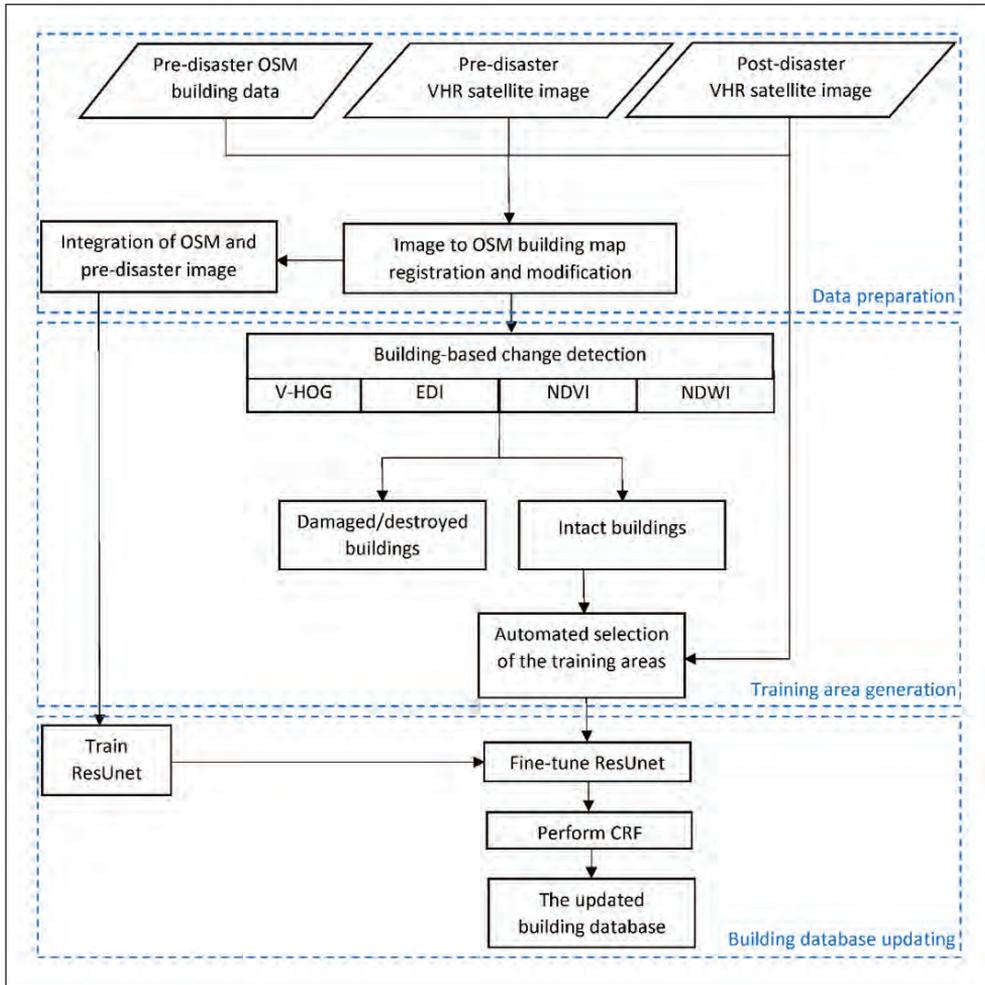


Sumber: Robertson dkk. (2019).

Gambar 6. Metode klasifikasi yang digunakan Robertson dkk. [14][17]

c. Penerapan Kecerdasan ArtificiAl Pada Tahap Pascabencana Banjir

Arinta dan Emanuel [19] mengatakan bahwa penelitian penerapan kecerdasan artifiCiAl pascabencana memang belum banyak dilakukan. *Big data* dan pembelajaran mesin di bidang ini memang masih sangat jarang. Karena untuk melakukan topik ini, ahli harus benar-benar memeriksa daerah bencana dan melakukan proses infrastruktur dari daerah yang rusak akibat bencana alam.



Sumber: Ghaffarian dkk (2019).

Gambar 7. Metode penelitian Ghaffarian dkk. [17][20]

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Penelitian mengenai penerapan kecerdasan artifisial untuk pascabencana dilakukan oleh Ghaffarian dkk. [20]. Dalam penelitian tersebut, Ghaffarian dkk. mencoba menginformasikan kerusakan gedung untuk membantu proses rekonstruksi pascabencana, yang memang tidak spesifik pada bencana banjir. Ghaffarian dkk. [20] menggunakan metode pembelajaran mendalam atau *deep learning*, khususnya pendekatan konvolusional berbasis jaringan saraf atau *Convolutional Neural Network* untuk mengekstrak informasi dari citra satelit dalam penilaian kerusakan bangunan (Gambar 7). Analisis eksperimental dilakukan pada citra satelit dengan resolusi sangat tinggi terpilih yang mewakili berbagai skenario setelah Topan Haiyan 2013 saat terjadi kerusakan dan fase pemulihannya di Tacloban, Filipina. Hasilnya menunjukkan bahwa model ini cukup tangguh seperti yang diusulkan pada kerangka kerja ResUnet-CRF dalam memperbarui peta bangunan setelah bencana untuk kerusakan dan pemulihan dengan menghasilkan skor F1 keseluruhan 84,2%.

Shyehmoussa dkk. [21] melakukan penelitian penerapan algoritma pembelajaran mesin dalam hal ini SVM untuk diimplementasikan pada fase pemulihan pascabencana Typhoon Haiyan di Tacloban, Filipina. Fase pemulihan pascabencana ini bisa disamakan untuk berbagai jenis bencana, termasuk banjir, untuk perubahan penggunaan dan tutupan lahan pascabencana. Produk akhir dari penelitian ini adalah peta pemulihan berbasis penggunaan dan tutupan lahan yang mengukur proses pemulihan pascabencana di tingkat piksel. Ditemukan bahwa pemulihan fisik dan pemulihan fungsional dapat dijelaskan melalui informasi *land cover and land use change* (LCLUC). Selain itu, peta pemulihan berbasis *land cover* (LC) dan *land use* (LU) mendukung pemahaman pemulihan secara umum dan terperinci.

D. KESIMPULAN

Data kejadian bencana banjir di Indonesia dalam dekade terakhir menunjukkan tren yang meningkat. Banjir adalah salah satu jenis bencana hidrometeorologi yang kejadiannya mendominasi setiap tahun di Indonesia dengan jumlah kejadian > 90%. Upaya mitigasi bencana banjir memerlukan terobosan ilmu pengetahuan teknologi untuk mereduksi kerugian yang ditimbulkan akibat bencana tersebut.

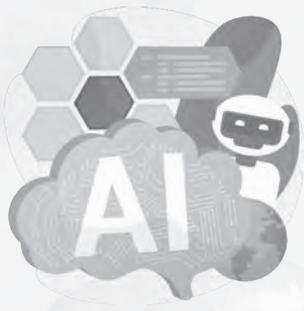
Penerapan kecerdasan artifisial atau *artificial intelligence* dan pembelajaran mesin yang berkembang cepat dalam dekade terakhir menunjukkan bahwa metode ini terbukti mampu meningkatkan mitigasi bencana banjir. Berdasarkan hasil studi literatur, didapatkan bahwa kecerdasan artifisial ini mampu dengan akurat dan cepat berperan dalam mitigasi banjir, baik dalam tahap prabencana saat tanggap darurat maupun pascabencana. Studi literatur menunjukkan bahwa metode ini mampu secara cepat dan akurat melakukan prediksi banjir, membuat pemetaan risiko banjir, dan berfungsi dalam masa tanggap darurat banjir maupun pemetaan kerusakan akibat banjir.

Metode pembelajaran mesin, seperti ANNs, SVM, SVR, ANFIS, WNN, dan DTs, merupakan metode populer yang digunakan pada saat prabencana dan direkomendasikan untuk menggunakan gabungan atau hibrid dari metode tersebut. Sementara itu, untuk tahap tanggap darurat bencana, beberapa penelitian menggunakan *big data* dari media sosial Twitter dan pembelajaran mesin *supervised learning* dengan Random Forest dan *unsupervised learning* dengan CNN. Semuanya menunjukkan hasil yang baik dan mempunyai prospek yang bagus untuk diterapkan, walaupun masih harus dilakukan pengembangan. Untuk fase pascabencana, belum banyak penelitian tentang kecerdasan artifisial yang dilakukan pada saat ini. Hal ini karena berbagai faktor, misalnya peneliti harus dengan baik memeriksa kondisi di lapangan dan data yang tersedia belum banyak untuk fase ini sehingga masih harus dilakukan penelaahan lebih lanjut.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] BPPT. 2018. Kongres Teknologi Nasional (KTN) 2018. Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi. [terhubung berkala]. <http://ktn.bppt.go.id/ktn2018/> [20 April 2020]
- [2] BNPB, April 2020, "Data Bencana Indonesia," Badan Nasional Penanggulangan Bencana [Online]. Available: <https://dibi.bnpb.go.id>
- [3] S. R. D. Setiawan, "Penanganan bencana di Indonesia masih jadi beban APBN. Kompas.com. Accessed: April 12, 2020. Available: <https://ekonomi.kompas.com/read/2018/10/10/154635126/penanganan-bencana-di-indonesia-masih-jadi-beban-apbn>
- [4] Undang Undang Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2007 tentang Penanggulangan Bencana, 2017. Accessed: April 17, 2020. Available: https://bnpb.go.id/ppid/file/UU_24_2007.pdf
- [5] "Disasters in Asia and the Pacific: 2015 Year in Review," United Nations ESCAP [online]. Accessed: April 15, 2020. Available: <https://www.unescap.org/resources/disasters-asia-and-pacific-2015-year-review>
- [6] D. Wagenaar, dkk., "Invited perspectives: How machine learning will change flood risk and impact assessment," *Natural Hazard Earth System Sciences*, vol. 20, no. 4, pp. 1149–1161, April 2020.
- [7] A. Mosavi, P. Ozturk, dan K. Chau, "Flood prediction using machine learning models: Literature review," *Water*, vol. 10, no. 11, Okt 2018, Art no.1536, doi: 10.3390/w10111536.
- [8] A. A. Soebroto, I. Cholissodin, R. C. Wihandika, M.T. Frestiyanti, dan Z. E. Arif, "Prediksi tinggi muka air (TMA) untuk deteksi dini bencana banjir menggunakan SVR-TVIWPSO," *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 2, no. 2, pp. 79–86, Okt. 2015.
- [9] A. R. Sanubari, "Pemodelan prediksi banjir menggunakan artificial neural network," skripsi, Prodi Sistem Komputer, Fakultas Teknik Elektro, Univ. Telkom, Bandung, Indonesia, 2018.
- [10] I. Fitriyaningsih, Y. Basani, dan L.M. Ginting, "Web-based application development for predicting rainfall, water discharge, and flood using machine learning method in Deli Serdang," *Jurnal Penelitian Komunikasi dan Opini Publik*, vol. 22, no. 2, pp. 132-143, Dec. 2018, doi: 10.33299/jpkop.22.2.1752.

- [11] L-C. Chang, M. Amin, S-N. Yang, dan F-J Chang, "Building ANN-based regional multi-step-ahead inundation forecast model," *Water*, vol.10, no. 9 , Sept. 2018, Art no.1283.
- [12] D. T. Bui, dkk, "New hybrids of ANFIS with several optimization algorithms for flood susceptibility modeling," *Water*, vol. 10, no. 9, Sept. 2018, Art no. 1210.
- [13] "Japan: Fujitsu develops AI disaster mitigation technology to predict river flooding with limited data." Preventionweb.net. Accessed: April 10, 2020. Available: <https://www.preventionweb.net/news/japan-fujitsu-develops-ai-disaster-mitigation-technology-predict-river-flooding-limited-data>
- [14] S-H. Moon, Y-H. Kim, Y.H. Lee, dan B-R. Moon, "Application of machine learning to an early warning system for very short-term heavy rainfall," *Journal of Hydrology*, vol. 568, pp. 1042–1054, Jan. 2019.
- [15] H. Darabi, B. Choubin., O. Rahmati, A. T. Haghghi, B. Pradhan, dan B. Kløve, "Urban flood risk mapping using the GARP and QUEST models: A comparative study of machine learning techniques," *Journal of Hydrology*, vol. 569, pp. 142–154, Feb.2019, doi: 10.1016/j.jhydrol.2018.12.002.
- [16] F. Prawiradisastra, "Development of flood prediction model using adaptive neuro fuzzy inference system (ANFIS) for Ciliwung River," thesis, IPB Univ., Bogor, Indonesia, 2017.
- [17] B. W. Robertson, M. Johnson, D. Murthy, W.R. Smith dan K. K. Stephens, "Using a combination of human insight and 'deep learning for real-time disaster communication,'" *Progress in Disaster Science*, vol. 2, pp. 1–11, Juli 2019, doi: 10.1016/j.pdisas.2019.100030.
- [18] K. Zahra, M. Imran, dan F. O. Ostermann, "Automatic identification of eyewitness messages on twitter during disasters," *Information Processing and Management*, vol. 57, Art no.102107, Jan. 2020.
- [19] R. R. Arinta dan A. W. R. Emanuel, "Natural Disaster Application on Big Data and Machine Learning: A Review," ini *The 4th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering (ICITISEE)*, Yogyakarta, Indonesia, 2019, pp. 249–254.
- [20] S. Ghaffarian, N. Kerle, E. Pasolli, dan J.J. Arsanjani, "Post-disaster building database updating using automated deep learning: An integration of pre-disaster openstreetmap and multi-temporal satellite data," *Remote Sensing*, vol. 11, no 20, pp. 1–20, Okt. 2019, doi: 10.3390/rs11202427.
- [21] M. Shyehmousa, N. Kerle, M. Kuffer, dan S. Ghaffarian, "Post-disaster recovery assessment with machine learning-derived land cover and land use information," *Remote Sensing*, vol. 11, no. 10, pp. 24, May 2019.



CHAPTER 11

SEGMENTASI BERBASIS *DEEP LEARNING* UNTUK MENDETEKSI KETINGGIAN AIR

Rizky Munggaran, Adhiguna Mahendra, Meidy Fitranto, Randy Pangestu

Nodeflux

ABSTRAK

Sebelum proses deteksi tinggi dari permukaan air, hal pertama yang yang perlu dimiliki adalah suatu pendeteksian air yang andal juga menyegmentasi air pada gambar yang diberikan. Umumnya, beberapa metode yang dapat dipakai untuk mendeteksi dan segmentasi objek air, dapat dilakukan dengan metode pemrosesan citra sederhana, seperti histogram warna (merujuk warna air) juga *thresholding* hingga metode yang lebih kompleks dengan menggunakan pembelajaran mendalam (*deep learning*). Penelitian ini difokuskan untuk mengeksplorasi beberapa metode yang potensial sebagai pendeteksi ketinggian air di area sungai, seperti pengembangan berdasarkan proyeksi balik (*histogram backprojection*) dan citra segmentasi berbasis *deep learning*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode proyeksi balik histogram tidak cukup stabil untuk diimplementasikan pada kondisi sungai yang sebenarnya. Sementara itu, segmentasi menggunakan *deep learning* memiliki stabilitas dan kinerja yang jauh lebih baik sehingga disarankan. sebagai metode utama untuk mendeteksi dan menyegmentasi air.

Kata kunci: histogram proyeksi balik, pengolahan citra, citra segmentasi, *deep learning*

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Permasalahan banjir masih saja menjadi masalah langganan yang saban tahun melanda ibu kota. Data Badan Penanggulangan Bencana Daerah (BPBD) DKI Jakarta mencatat banjir pada tahun 2021 berdampak pada 113 RW dan menurun sehari setelahnya seiring surutnya luapan air.

R. Munggaran, A. Mahendra, M. Fitranto, & R. Pangestu
Nodeflux, e-mail: rizky.munggaran@nodeflux.io

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
R. Munggaran, A. Mahendra, M. Fitranto, and R. Pangestu, "Segmentasi berbasis *deep learning* untuk mendeteksi ketinggian air," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 11, pp. 121-126, doi: 10.55981/brin.668.c547
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

Bertolak pada data dari laman Pantau Banjir Jakarta yang dikelola Pemprov DKI, sepanjang tujuh tahun terakhir, kondisi banjir tercatat fluktuatif. Hal tersebut ditunjukkan berdasarkan data daerah terdampak, ketinggian air, lama genangan hingga jumlah korban.

Pada tahun 2014, area terdampak banjir masih menembus lebih 500 RW, dari tahun ke tahun trennya menurun, meskipun kembali merangkak naik sekitar 500-an RW pada tahun 2020. Pelaksana tugas (Plt.) Kepala BPBD DKI Jakarta, Sabdo Kurnianto, mengakui bahwa hampir pasti bakal menghadapi bencana banjir setiap tahunnya. Penanganan banjir tergolong kompleks dan dipengaruhi berbagai hal, mulai dari cuaca hingga topografi Jakarta.

Berangkat dari permasalahan tersebut, Nodeflux melakukan inovasi dengan menciptakan solusi berbasis kecerdasan buatan untuk mendeteksi tinggi muka air di sungai secara *real-time* dan otomatis. Hal ini karena, dalam banjir, tindakan dini dalam pencegahan dan prediksi bencana adalah salah satu bagian penting yang tidak dapat ditinggalkan dalam sistem manajemen keamanan dan keselamatan. Dengan perkembangan teknologi, khususnya teknologi AI Computer Vision, sistem pencegahan tersebut dapat terus ditingkatkan guna meningkatkan keamanan dan efisiensi biaya.

2. Tujuan

Tujuan utama dari penelitian ini sebagai berikut.

- a. Menemukan metode yang andal untuk menyegmentasikan air di setiap *region of interest* pada berbagai kondisi air.
- b. Menemukan metode optimal dalam hal sumber daya komputasi.
- c. Memberikan informasi terkait eksperimen yang telah dilakukan dan menjelaskan kelemahan dan kelebihan metode yang telah dikembangkan.
- d. Menginformasikan alasan di balik keputusan peneliti dalam memilih metode terbaik.

3. Tolok Ukur Kondisi

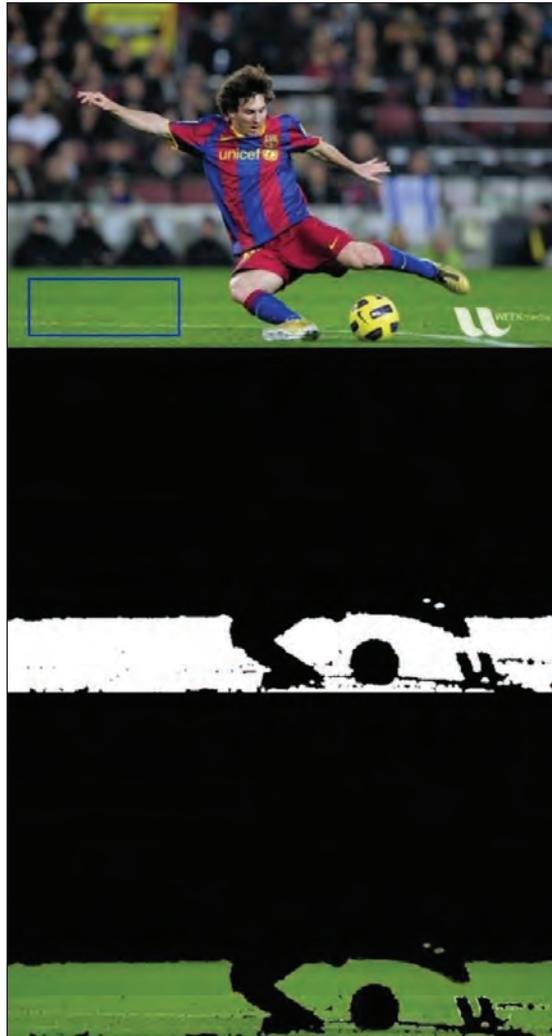
Untuk menerapkan kondisi lingkungan yang sebenarnya, perlu mempertimbangkan beberapa kondisi air yang mungkin terjadi. Kondisi air yang digunakan untuk memutuskan metode terbaik untuk deteksi air adalah tekstur air yang homogen dan tidak homogen yang kinerjanya dinilai berdasarkan kemampuan dan keterbatasan metode saat menangani dua kondisi tersebut.

4. Metodologi

Penelitian ini membandingkan dua metode untuk mendeteksi ketinggian air, yaitu proyeksi balik histogram [1] (*histogram backpropagation*) dan segmentasi berbasis *deep learning* [2][3].

a. Proyeksi Balik Histogram (*Histogram Backprojection*)

Metode ini digunakan untuk mengetahui seberapa bagus piksel dari suatu sampel citra yang diberikan sesuai dengan distribusi suatu piksel dalam model histogram citra atau sampel pengujian. Pada dasarnya, metode ini melihat fitur warna dari histogram sampel yang diberikan kemudian melakukan segmentasi terhadap citra pengujian berdasarkan fitur tersebut.



Gambar 1. Contoh masukan *proyeksi balik histogram* dan Hasil Segmentasinya [4]

Secara statistik, nilai-nilai yang disimpan dalam proyeksi balik histogram mewakili probabilitas bahwa sebuah piksel dalam citra uji yang diwakili oleh bingkai penuh citra, termasuk dalam area tertentu. Berikut adalah langkah metode proyeksi balik histogram.

- 1) Hitung histogram warna dari kedua objek yang perlu kita temukan ('M') beserta gambar yang akan dicari ('I').
- 2) Tentukan rasio $R=MI$ dan *backproject* R menggunakan R sebagai palet dan membuat gambar baru dengan setiap piksel dengan probabilitas yang sesuai untuk menjadi target, yaitu $B(x,y) = R[h(x,y),s(x,y)]$, di mana h adalah *hue* dan s adalah saturasi piksel pada (x,y) . Setelah itu, terapkan kondisi $B(x,y)=\min[B(x,y),1]$.
- 3) Terapkan konvolusi dengan $B=D*B$, di mana D adalah kernelnya.

Hasil proyeksi tersebut memperlihatkan lokasi intensitas maksimum dan lokasi objek. Jika mengharapkan wilayah dalam gambar, perlu memberi ambang batas (*threshold*) yang sesuai untuk memberikan hasil yang bagus.

b. Segmentasi Berbasis *Deep Learning*

Metode ini dikembangkan menggunakan Resnet-18 dan PPM Deepsup [2][3][5] dengan langkah sebagai berikut.

- 1) Membagi data citra ke dalam dua kelas, yaitu *air* dan *background*, yang dapat digunakan sebagai *groundtruth*.
- 2) Melakukan *training* semua citra berlabel menggunakan Resnet-18 dan PPM Deepsup dengan komposisi 60% untuk pelatihan, 20% untuk validasi, dan 20% untuk pengujian (*testing*). Segmentasi semantik mengklasifikasikan setiap piksel dalam gambar berdasarkan kelas untuk menghasilkan peta segmentasi sebagai keluaran (*output*) yang memiliki ukuran sama dengan input. Arsitektur segmentasi semantik umumnya terdiri dari jaringan *encoder-decoder*. *Encoder* biasanya menggunakan jaringan klasifikasi yang telah dilatih sebelumnya untuk membedakan kelas dengan melakukan *downsampling*, sedangkan *decoder* melakukan operasi *upsampling*.
- 3) Menerapkan augmentasi data untuk mengatasi permasalahan keterbatasan data, misalnya refleksi cahaya dapat ditambahkan secara acak dalam dataset pelatihan.
- 4) Melakukan konfigurasi *hyperparameter* untuk pelatihan, seperti *learning rate*, *epoch*, dan ukuran *batch size*, sehingga mendapatkan model segmentasi yang optimal.

B. PEMBAHASAN

Segmentasi air menggunakan *deep learning* menunjukkan hasil yang lebih menjanjikan. Meskipun model hanya dilatih pada kurang dari 500 citra dan dihaluskan menggunakan beberapa dataset negatif, hasil segmentasi pada sebagian besar kondisi dapat dikatakan sangat baik. Selain itu, metode ini lebih baik daripada proyeksi balik histogram dalam hal akurasi kinerja segmentasi, baik pada video maupun gambar. Namun, di antara beberapa keunggulannya, segmentasi *deep learning* masih memiliki kelemahan pada kondisi tertentu karena beberapa hasil segmentasi pada kondisi tertentu menunjukkan hasil yang kurang baik, antara lain

1. *false positive* masih terjadi pada dinding abu-abu dan jalan abu-abu;
2. masih menemukan kesulitan untuk menyegmentasi air yang hitam; dan
3. garis lurus pada permukaan air, seperti kabel yang panjang, akan mengurangi kinerja segmentasi.

Kelemahan-kelemahan tersebut terjadi karena proses latih yang menggunakan data sangat sedikit dan mudah diselesaikan dengan bertambahnya data latih yang diambil pada saat pengimplementasian metode segmentasi dengan *deep learning* ini.

Berdasarkan hasil eksperimen yang dilakukan, hasil evaluasi secara kualitatif menunjukkan bahwa metode *deep learning* memiliki peningkatan yang signifikan dari segi performa jika dibandingkan metode sebelumnya, yaitu proyeksi balik histogram. Berikut perbandingan hasil uji secara kualitatif dua metode yang diujikan dengan skenario perubahan air.



Gambar 2. Hasil Segmentasi dengan Proyeksi Balik Histogram



Gambar 3. Hasil Segmentasi dengan Metode *Deep Learning*

Pada Gambar 2 dan Gambar 3, warna biru merupakan hasil deteksi air, sedangkan poligon dengan garis coklat merupakan *region of interest* (ROI). Hasil eksperimen menunjukkan bahwa perubahan kondisi air sangat berpengaruh terhadap ketepatan dan konsistensi dari segmentasi. Penggunaan proyeksi balik histogram (Gambar 2) menunjukkan proses segmentasi lebih sensitif terhadap perubahan air yang terjadi. Hal ini dapat dilihat dari banyaknya *false positive* (salah dalam mendeteksi air). Namun sebaliknya, untuk metode *deep learning*, pendeteksian lebih stabil dan konsisten sehingga terlihat lebih tepat dalam menyegmen air hal ini ditunjukkan pada Gambar 3.

Selain itu, proses peningkatan performa dengan metode *deep learning* akan menjadi jauh lebih mudah jika dibandingkan metode proyeksi balik histogram. Hanya dengan penambahan data yang telah dianotasi ke dalam proses pelatihan, tidak seperti proyeksi balik histogram yang mengharuskan perbaikan di algoritma dan perhitungan segmentasi. Jadi kelemahan-kelemahan yang masih ada pada metode *deep learning*, akan dapat diatasi dengan lebih mudah seiring dengan bertambahnya data latih. Berikut adalah tampilan pada sistem *Visionaire Nodeflux*.



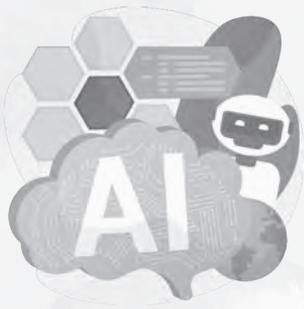
Gambar 4. Tampilan Hasil segmentasi pada Platform *Visionaire*

C. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan bahwa segmentasi *deep learning* berbasis Resnet-18 jauh lebih baik daripada proyeksi balik histogram dalam hal stabilitas dan keandalan. perubahan kondisi air dan pencahayaan dapat diatasi dibandingkan metode proyeksi balik histogram yang sangat sensitif terhadap perubahan. Penelitian berikutnya akan difokuskan pada segmentasi air menggunakan *deep learning* dengan arsitektur yang lebih baik seperti DeepLabv3, untuk mengoptimalkan biaya komputasi dan akurasi.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Swain, M. J. dan Ballard, D. H. Indexing via color histograms. Dalam *Active perception and robot vision*, pp. 261—273, 1992.
- [2] Zhou, B., Zhao, H., Puig, X., Fidler, S., Barriuso, A., & Torralba, A., “Scene parsing through ade20k dataset,” Dalam *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2017, pp. 633—641.
- [3] Zhou, B., Zhao, H., Puig, X., Xiao, T., Fidler, S., Barriuso, A., “Torralba, A. Semantic understanding of scenes through the ade20k dataset.” *International Journal of Computer Vision*, vol. 127, no. 3, pp. 302—321, 2019.
- [4] OpenCV, “Histogram-4: Histogram backpropagation.” [Daring]. https://docs.opencv.org/4.x/dc/df6/tutorial_py_histogram_backprojection.html
- [5] Zhao, H., Shi, J., Qi, X., Wang, X., dan Jia, J., “Pyramid scene parsing network,” Dalam *Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition*, 2017, pp. 2881—2890.



CHAPTER 12

SMARTLAND SURVEILLANCE SYSTEM (SLSS): APLIKASI SISTEM INFORMASI BIG DATA PERKOTAAN

Ahmad Gamal¹, Ronni Ardhianto², & Wisnu Jatmiko³

¹ Fakultas Teknik Elektro, Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok, Indonesia

² PT Pangripta Geomatika Indonesia, Jakarta, Indonesia

³ Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia, Kampus UI, Depok, Indonesia

ABSTRAK

Permintaan untuk pemodelan 3D menggunakan *light detection and ranging* (LiDAR) sebagai sumber utama untuk mengamati, merencanakan, dan mengelola kawasan perkotaan telah meningkat. Penggunaan data LiDAR meningkatkan akurasi pemodelan sehingga dapat digunakan untuk penentuan kebijakan dan perencanaan infrastruktur. Berbagai macam penelitian terhadap data LiDAR telah dilakukan, salah satunya adalah segmentasi bangunan dari data LiDAR *indoor* maupun *outdoor*. Untuk kasus *outdoor*, data LiDAR dapat diperoleh dari dua sudut pandang, yaitu *ground view* dan *aerial view*. Penelitian ini membahas aplikasi sistem informasi *smartland surveillance system* (SLSS) untuk *big data* perkotaan. Peneliti mengembangkan segmentasi bangunan secara otomatis dengan menggunakan metode *deep learning* dan menggunakan data LiDAR yang diambil dari pesawat udara tanpa awak. Hasilnya penelitian menunjukkan bahwa metode yang diusulkan dapat menyegmentasi bangunan, permukaan, dan vegetasi dengan baik dengan rata-rata akurasi yang dihasilkan untuk *dataset* Kupang dan Depok mencapai 70–80%.

Kata kunci: *surveillance system*, LiDAR, *big data*, perkotaan, segmentasi bangunan

A. PENDAHULUAN

Pengelolaan data geospasial memiliki peran penting dalam mewujudkan *good governance* di suatu wilayah [2]. Kawasan perkotaan yang tertata dengan baik dan mengikuti *masterplan* memungkinkan instansi pemerintah, perusahaan, dan pembuat kebijakan untuk melaksanakan beberapa tugas, seperti penanggulangan bencana, pencatatan, dan penilaian pertumbuhan kota secara efisien dan akurat [3].

A. Gamal, R. Ardhianto, and W. Jatmiko
Universitas Indonesia, e-mail: ahmad.gamal@eng.ui.ac.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artfisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
A. Gamal, R. Ardhianto, and W. Jatmiko, "Smartland Surveillance System (SLSS): Aplikasi Sistem Informasi Big Data Perkotaan," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 12, pp. 127-136, doi: 10.55981/brin.668.c548
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9



Gambar 1. Ilustrasi proses penataan tata ruang tata ruang dan solusi pencatatan manual yang kurang efektif [1]

Dengan begitu, pendapatan asli daerah bisa dimaksimalkan. Salah satu penyumbang pendapatan daerah yang cukup signifikan adalah pajak bumi dan bangunan. Dengan perkembangan kota yang pesat, pendapatan asli daerah dari pajak juga harusnya semakin besar. Namun ironisnya, semakin cepat pertumbuhan kota, semakin rentan terhadap pelanggaran di dalamnya. Salah satu pelanggaran tersebut adalah pelanggaran penataan ruang yang menyebabkan nilai jual objek pajak (NJOP) tidak sesuai dengan kenyataan sehingga pendapatan asli daerah tidak maksimal. Solusi saat ini hanya *monitoring* pintu ke pintu yang tidak efisien dan memakan waktu lama [4]. Gambar 1 menunjukkan ilustrasi permasalahan yang terjadi.

Selain pelanggaran akibat ketidaksesuaian pembayaran pajak, adapun masalah lain yang sangat krusial, yaitu perusakan ekosistem sebagai dampak dari pembangunan rumah atau tempat tinggal di lahan terbuka hijau. Akibat dari pelanggaran ini adalah kurangnya resapan air hujan yang berdampak pada bencana banjir serta rusaknya ekosistem sungai dan danau yang seharusnya bebas dari limbah rumah tangga. Selain itu, masalah kritis lainnya adalah ketidaksesuaian antara data dari satu instansi ke instansi lain karena penggunaan sensor yang berbeda sehingga menyulitkan untuk mendapatkan informasi yang akurat dan dapat dipercaya.

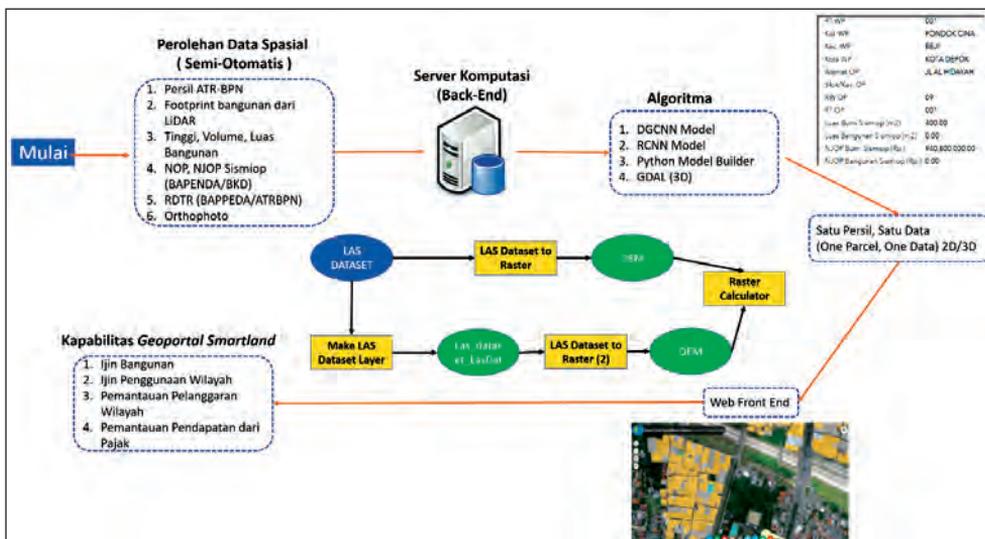
Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan sistem informasi geospasial yang akurat, terkini, dan terintegrasi agar setiap instansi yang membutuhkan dapat mengacu pada aplikasi tersebut yang berimplikasi pada pemaksimalan pendapatan daerah. Hal pertama yang dapat dilakukan adalah menggunakan teknologi penginderaan jauh yang lebih akurat untuk pengumpulan data, salah satunya *light detection and ranging* (LiDAR). LiDAR dapat memberikan informasi pencitraan tiga dimensi (3D) yang dapat digunakan untuk membuat peta digital akurat dalam skala 1:10.000. Apabila dibandingkan peta daring yang dimiliki oleh pemerintah, skala ini memiliki akurasi yang lebih tinggi [5]-[14]. Dengan akurasi tersebut, informasi estimasi harga tanah dapat dilakukan hingga tahap persil. Selain akurasi luas lahan, LiDAR juga mampu memberikan informasi mengenai volume bangunan yang berdiri di atas lahan tersebut.

Karena kemampuan LiDAR, permintaan akan pemodelan 3D yang menggunakannya sebagai sumber utama untuk mengamati, merencanakan, dan mengelola kawasan perkotaan telah meningkat. Model ini dapat digunakan untuk penentuan kebijakan dan perencanaan infrastruktur. Beberapa tahun yang lalu, berbagai macam penelitian tentang data LiDAR telah dilakukan, seperti ekstraksi bangunan [15], analisis perkotaan [16], dan pemodelan pohon [17][18]. Selain itu, potensi yang luar biasa untuk pengolahan data geospasial skala besar dan penelitian dalam pengolahan citra [12]. Pengimplementasian data LiDAR untuk keperluan pemodelan bangunan 3D memiliki beberapa tantangan, salah satunya adalah *point cloud semantic segmentation* karena resolusinya yang tinggi [19]. Penelitian ini memaparkan kemajuan dan tantangan dalam aplikasi sistem informasi *big data* perkotaan SLSS yang peneliti bangun.

B. PEMBAHASAN

1. Smart Land Surveillance System (SLSS)

Proses bisnis SLSS (Gambar 2) yang dibangun terdiri dari dua komponen, yaitu *back-end* dan *front-end*. Proses tersebut umumnya terdiri dari pra-pemrosesan data, pemodelan 3D, dan penyesuaian spasial. *Front-end* akan menampilkan sistem informasi geospasial yang terdiri dari informasi bangunan, pemanfaatan ruang, pelanggaran spasial, dan pajak. Teknologi terapan ini dapat memberikan manfaat, baik bagi masyarakat maupun pemerintah dan memudahkan kabupaten untuk beradaptasi dengan perubahan ekonomi yang terjadi secara berkala. Dengan otomatisasi teknologi pertanahan, masyarakat dapat mengetahui informasi perkiraan harga pasar dengan lebih cepat serta melakukan kegiatan jual beli aset tanah pribadi dan kebutuhan pribadi, seperti pembagian harta warisan atau penggunaan aset tanah sebagai jaminan mulai bisnis.



Gambar 2. Proses Bisnis Smart Land Surveillance System [20]

Bagi pemerintah, tiga aspek yang dapat dimanfaatkan dari teknologi adalah pengawasan, pengendalian, dan penerimaan daerah melalui pajak. Aspek pengawasan dalam hal ini adalah pengawasan terhadap nilai jual objek pajak bumi dan bangunan serta harga pasar.

Manfaat kedua adalah aspek pengendalian. Dengan adanya informasi persil tanah dan volume bangunan, pemerintah dapat menegakkan peraturan bangunan secara lebih efektif. Pemerintah dapat mengenakan sanksi berupa pajak tambahan atau sanksi lainnya terhadap bangunan gedung yang volumenya lebih besar dari volume bangunan yang diizinkan berdasarkan Izin Mendirikan Bangunan. Rencana pembangunan kota dapat dipantau dan dikendalikan secara lebih efektif dengan teknologi otomasi informasi tanah dan bangunan ini.

Manfaat ketiga adalah aspek penerimaan daerah melalui pajak. Melalui sanksi pajak yang dikenakan kepada pelanggar peraturan bangunan, pemerintah dapat memperoleh penghasilan tambahan dari pajak untuk anggaran daerah. Regulasi yang ditetapkan oleh pemerintah diharapkan dapat menjalankan perencanaan pembangunan daerah.

2. Progres Penelitian SLSS

Bagian ini membahas salah satu progres pembangunan aplikasi SLSS, yakni pemodelan bangunan 3D menggunakan *deep learning* dengan pendekatan *point cloud segmentation* untuk proses awal pemodelan bangunan. Kinerja dari metode yang diusulkan diperoleh dari dua buah *dataset* LiDAR, yaitu data LiDAR Kota Kupang dan Depok, yang diperoleh dari mitra penelitian, PT Pangripta Geomatika Indonesia. Hasil Segmentasi dilakukan dengan beberapa metode, yaitu PointNet, DGCNN, dan DGCNN yang dimodifikasi.

Tabel 1. Hasil Perbandingan Metode Segmentasi Data LiDAR Kupang [20]

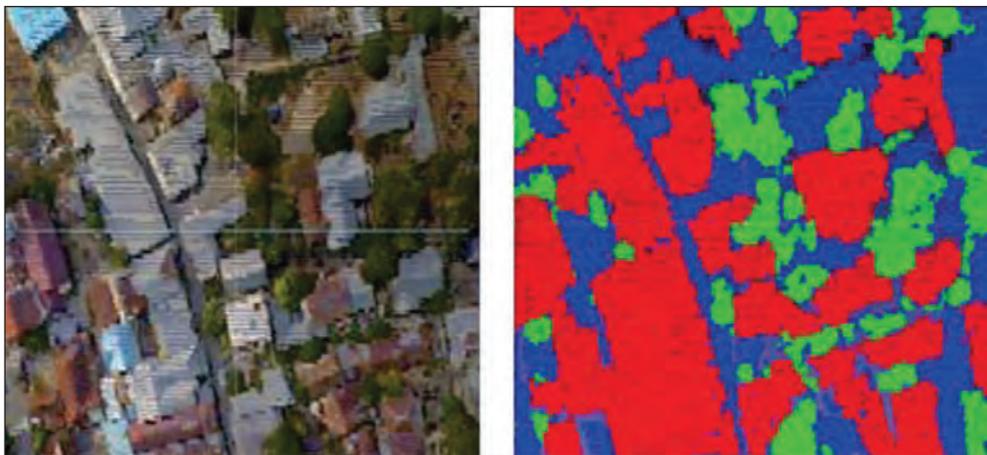
Dataset	Akurasi (%)		
	PointNet	DGCNN	Modified DGCNN
Area_1	82,27	84,81	88,28
Area_2	48,49	63,41	64,77
Area_3	45,91	64,33	66,84
Area_4	71,48	64,69	72,79
Area_5	73,10	72,03	74,32
Area_6	64,26	86,08	86,30
Rata-rata	65,08	72,56	75,55

Dalam skenario ini, data LiDAR 3D diberi label ke dalam tiga kategori kelas, yaitu tanah, bangunan, dan vegetasi, sedangkan *dataset* dibagi menjadi enam lipatan, di mana setiap lipatan mewakili suatu area. Penelitian mengevaluasi tiga model, yaitu PointNet [24], DGCNN, dan DGCNN, yang ditingkatkan dengan jarak Mahalanobis [25] [26]. Tabel 1 menunjukkan perbandingan antara ketiga metode tersebut.

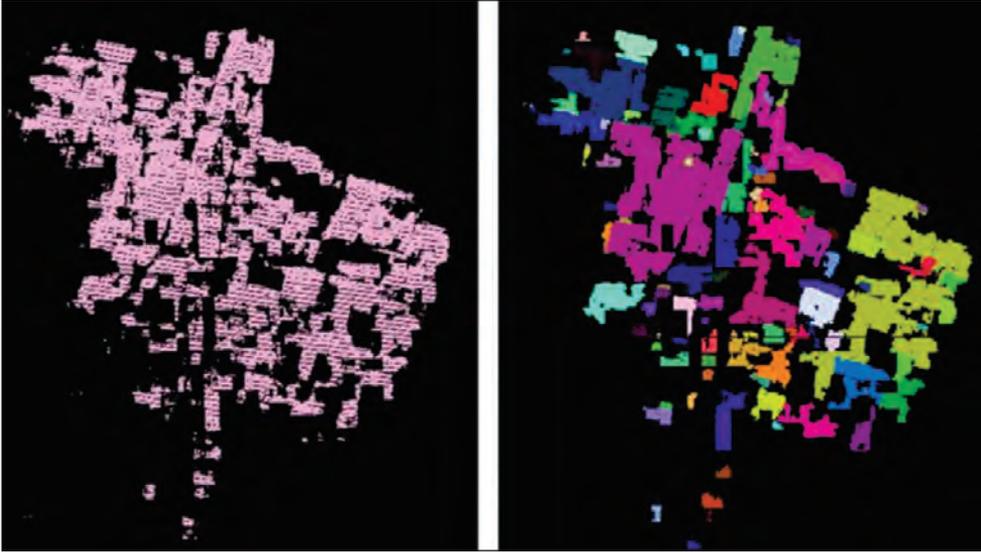
DGCNN yang disempurnakan menggantikan metrik jarak K-NN dalam konvolusi tepi dari jarak Euclidean ke jarak Mahalanobis. Hasil percobaan menunjukkan bahwa metode PointNet mencapai akurasi rata-rata 65,08% dari enam area, sedangkan DGCNN mencapai akurasi yang lebih baik dengan akurasi 72,56%. DGCNN yang dimodifikasi mencapai akurasi yang lebih baik daripada DGCNN dan PointNet asli dengan rata-rata akurasi 75,55%. Informasi dari daerah lain, yaitu Depok, juga disajikan dalam Tabel 2. Perbandingan visual segmentasi pada data Kupang dapat kita lihat pada Gambar 3, sedangkan data Depok dapat dilihat pada Gambar 4.

Tabel 2. Hasil Perbandingan Metode Segmentasi DGCNN untuk Data LiDAR Depok [20]

Wilayah	Akurasi (%)	Presisi (%)	Recall (%)	F-Score (%)	IoU (%)
Area_1	89	90	86	87	78
Area_2	91,5	90	89	89	81
Area_3	85,2	79	81	80	68
Area_4	84,3	79	74	76	63



Gambar 3. Hasil segmentasi 3D pada data Kupang [20]



Gambar 4. Hasil segmentasi 3D pada data Depok [20]

3. Tantangan

a. Segmentasi *Point Cloud*

Salah satu tantangan dalam segmentasi *point cloud* LiDAR adalah meningkatkan kinerja segmentasi. Dari analisis yang telah kami lakukan, performansi metode *deep learning* secara keseluruhan masih di bawah 90%, baik pada skenario tiga kelas (tanah, bangunan, dan vegetasi) maupun pada dua kelas (skenario bangunan dan non-bangunan). Berdasarkan log eksperimen, kami mendapatkan wawasan bahwa model tersebut perlu ditingkatkan, baik dari arsitekturnya maupun metode pembelajarannya.

Tantangan lain dalam segmentasi adalah mengklasifikasikan objek yang tumpang tindih, misalnya bangunan dengan pohon (vegetasi). Tantangan ini menjadi penting untuk dipecahkan karena akan memengaruhi bentuk bangunan yang tersegmentasi.

b. Pengelompokan Bangunan

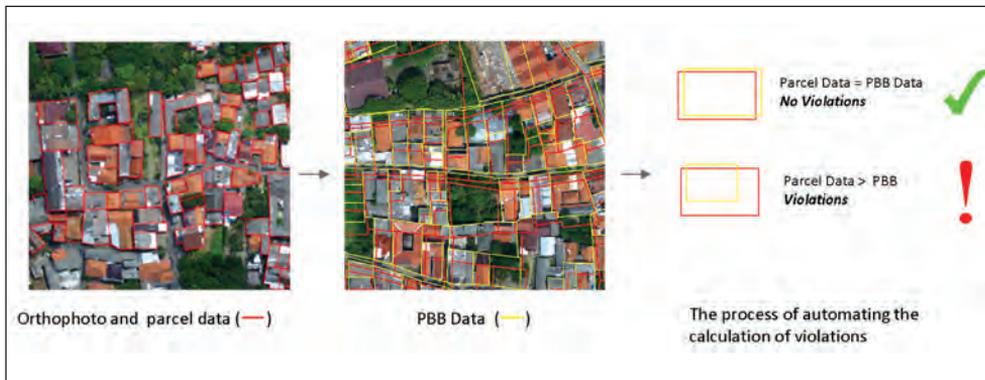
Tantangan signifikan lainnya dalam penelitian ini adalah mengelompokkan bangunan. Tujuan utama dari aplikasi ini adalah segmentasi objek per bangunan sehingga perlu dikembangkan suatu algoritma untuk memisahkan objek bangunan dengan objek bangunan lainnya. Pengelompokan ini sulit untuk mendeteksi berapa banyak bangunan di suatu area dan membangun posisi dan dimensi yang tepat, yaitu panjang, lebar, tinggi, dan bentuk. Pengelompokan bangunan yang salah akan memengaruhi dimensi yang dihitung dengan salah. Perhitungan dimensi yang salah akan menghasilkan perhitungan volumetrik bangunan yang tidak akurat dan memengaruhi penegakan pajak bagi pemiliknya. Oleh karena itu, sangat penting untuk memiliki metode pengelompokan bangunan dengan akurasi tinggi.

Berdasarkan penelitian, *clustering* berbasis jarak tidak mencapai kinerja yang baik karena beberapa kasus menghasilkan pemisahan bangunan yang salah, di mana dua bangunan terdeteksi sebagai satu bangunan. Selanjutnya, jarak Euclidean tidak adaptif terhadap variasi jarak ke bangunan lain. Dalam analisis pascastudi, pengelompokan berbasis kepadatan, seperti DBSCAN, menawarkan pengelompokan bangunan yang lebih akurat.

c. Penyesuaian Spasial

Geometri presisi yang dihasilkan dari LiDAR akan diekstraksi dan kemudian dideuksi dengan data kadaster. Data tersebut terdiri dari kepemilikan tanah, kepemilikan bangunan, dan pajak yang bersumber dari pemerintah. Peneliti menggabungkan data dari data LiDAR dan kadaster untuk menentukan perbedaan volume antara objek bangunan yang diidentifikasi di lapangan dan nilai yang tercatat dalam data kadaster.

Peneliti menggabungkan dua peta persil menggunakan penyesuaian spasial, yakni menempatkan atau memosisikan data secara tepat secara spasial ke posisi sebenarnya di permukaan bumi. Peneliti menganggap parcel dari LiDAR sebagai peta tujuan karena menggambarkan kondisi terkini di suatu daerah. Peta kadaster dari pemerintah disebut sebagai peta sumber yang secara spasial disesuaikan dengan peta tujuan. Gambar 5 menunjukkan ilustrasi dari permasalahan penyesuaian spasial.



Gambar 5. Penyesuaian Spasial dari Data Persil

Dalam penyesuaian spasial, kita perlu memahami karakteristik kesalahan yang terjadi antara kedua peta sumber dan tujuan. Ketika kesalahan konsisten, arah, dan jarak adalah transformasi linier yang dikategorikan sebagai solusi sederhana, sedangkan titik control diperlukan ketika eror bersifat non-linier. Saat ini, titik kontrol didefinisikan secara manual karena kesalahan non-linier menghasilkan empat tantangan, yaitu (1) perbedaan skala, perbedaan sudut, dan pergeseran posisi, tetapi dimensi data (rasio aspek) adalah sama; (2) perbedaan skala, perbedaan sudut, dan pergeseran posisi dengan dimensi data yang berbeda (*skew*); (3) perbedaan dimensi ke segala arah; serta (4) selisih jumlah persil antara kedua peta.

Titik kontrol akan digunakan pada fase transformasi dengan beberapa pilihan metode transformasi, seperti transformasi kesamaan, *affine*, proyektif, dan *rubber-sheet*. Untuk itu, perlu dikembangkan metode penentuan titik kontrol otomatis agar fitur tersebut dapat bekerja untuk menangani keempat tantangan tersebut.

C. KESIMPULAN

Perkembangan teknologi memudahkan masyarakat untuk mengakses informasi dengan cepat. Informasi menjadi kebutuhan dasar yang dibutuhkan sebagai dasar dalam menentukan keputusan dalam kehidupan sehari-hari. Semakin detail informasi yang diperoleh seseorang, semakin berharga informasi tersebut. Salah satunya adalah penggunaan teknologi yang dapat memberikan informasi secara cepat mengenai volume bangunan dan perkiraan nilai bangunan dan tanah.

Penelitian ini berhasil menerapkan segmentasi *point cloud* LiDAR menggunakan PointNet dan DGCNN dengan hasil segmentasi menunjukkan bahwa DGCNN memberikan kinerja yang lebih baik dibandingkan PointNet pada tiga kelas *point cloud*.

UCAPAN TERIMA KASIH

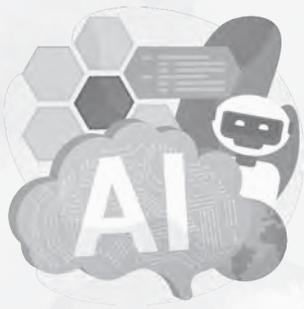
Karya ini didukung oleh Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dengan judul penelitian *Pengembangan Sistem Big Data Perkotaan Berbasis Kejerdasan Buatan untuk Analisis Kepatuhan Bangunan terhadap Rencana Tata Ruang Wilayah dan Perijinan Pembangunan dalam Rangka Peningkatan Pendapatan Daerah dan Perlindungan Kualitas Lingkungan Perkotaan* dan nomor hibah 26/E1/PRN/IV/2021. Peneliti juga berterima kasih kepada PT Pangripta Geomatika Indonesia (PGI) yang telah menyediakan *dataset* LiDAR.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] CAH, “PBB dan BPHTB sumbang pendapatan terbesar untuk Depok.” *Berita Satu*, 5 Januari 2016 [Daring]. <https://www.beritasatu.com/news/338175/pbb-dan-bphtb-sumbang-pendapatan-terbesar-untuk-depok>
- [2] Q. Man, P. Dong, X. Yang, Q. Wu, dan R. Han, “Automatic extraction of grasses and individual trees in urban areas based on airborne hyperspectral and LiDAR data,” *Remote Sens.*, vol. 12, no. 17, 2020, doi: 10.3390/rs12172725.
- [3] A. Wibisono, W. Jatmiko, H. A. Wisesa, B. Hardjono, dan P. Mursanto, “Traffic big data prediction and visualization using fast incremental model trees-drift detection (FIMT-DD),” *Knowledge-Based Syst.*, vol. 93, pp. 33–46, 2016, doi: 10.1016/j.knosys.2015.10.028.
- [4] C. Yi dkk., “Urban building reconstruction from raw LiDAR point data,” *Computer-Aided Design*, vol. 93, pp. 1–14, 2017, doi: <https://doi.org/10.1016/j.cad.2017.07.005>.

- [5] W. Y. Yan, A. Shaker, dan N. El-Ashmawy, "Urban land cover classification using airborne LiDAR data: A review," *Remote Sens. Environ.*, vol. 158, pp. 295–310, 2015, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2014.11.001>.
- [6] N. Ekhtari, C. Glennie, dan J. C. Fernandez-Diaz, "Classification of airborne multispectral lidar point clouds for land cover mapping," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, no. 6, pp. 2068–2078, 2018, doi: [10.1109/JSTARS.2018.2835483](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2018.2835483).
- [7] F. Azevedo dkk., "LiDAR-based real-time detection and modeling of power lines for unmanned aerial vehicles," *Sensors*, vol. 19, no. 8, 2019, doi: [10.3390/s19081812](https://doi.org/10.3390/s19081812).
- [8] M. A. Wulder dkk., "LiDAR sampling for large-area forest characterization: A review," *Remote Sens. Environ.*, vol. 121, pp. 196–209, 2012, doi: <https://doi.org/10.1016/j.rse.2012.02.001>.
- [9] C.-W. Peng, C.-C. Hsu, dan W.-Y. Wang, "Cost effective mobile mapping system for color point cloud reconstruction," *Sensors*, vol. 20, no. 22, 2020, doi: [10.3390/s20226536](https://doi.org/10.3390/s20226536).
- [10] S. Wu, C. Wen, H. Luo, Y. Chen, C. Wang, dan J. Li, "Using mobile LiDAR point clouds for traffic sign detection and sign visibility estimation," dalam *2015 IEEE International Geoscience and Remote Sensing Symposium (IGARSS)*, 2015, pp. 565–568, doi: [10.1109/IGARSS.2015.7325826](https://doi.org/10.1109/IGARSS.2015.7325826).
- [11] F. Poux dan R. Billen, "Voxel-based 3D point cloud semantic segmentation: Unsupervised geometric and relationship featurig vs deep learning methods," *ISPRS Int. J. Geo-Information*, vol. 8, no. 5, 2019, doi: [10.3390/ijgi8050213](https://doi.org/10.3390/ijgi8050213).
- [12] R. Wang, J. Peethambaran, dan D. Chen, "LiDAR point clouds to 3-D urban models: A review," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 11, no. 2, pp. 606–627, 2018, doi: [10.1109/JSTARS.2017.2781132](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2017.2781132).
- [13] P. Babahajiani, L. Fan, J. Kämäräinen, dan M. Gabbouj, "Urban 3D segmentation and modelling from street view images and LiDAR point clouds," *Mach. Vis. Appl.*, vol. 28, pp. 679–694, 2017.
- [14] M. Salman dan S. E. Yüksel, "Fusion of hyperspectral image and LiDAR data and classification using deep convolutional neural networks," in *2018 26th Signal Processing and Communications Applications Conference (SIU)*, 2018, pp. 1–4, doi: [10.1109/SIU.2018.8404199](https://doi.org/10.1109/SIU.2018.8404199).
- [15] Y. Li, L. Ma, Z. Zhong, D. Cao, dan J. Li, "TGNet: geometric graph CNN on 3-D point cloud segmentation," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 58, no. 5, pp. 3588–3600, 2020, doi: [10.1109/TGRS.2019.2958517](https://doi.org/10.1109/TGRS.2019.2958517).
- [16] Q. Zhao, R. Reynolds, C. Wang, dan E. A. Wentz, "A multidimensional urban land cover change analysis in Tempe, AZ," dalam *2019 Joint Urban Remote Sensing Event (JURSE)*, May 2019, doi: [10.1109/JURSE.2019.8808957](https://doi.org/10.1109/JURSE.2019.8808957).
- [17] Z. Chen dan B. Gao, "An object-based method for urban land cover classification using airborne LiDAR data," *IEEE J. Sel. Top. Appl. Earth Obs. Remote Sens.*, vol. 7, no. 10, pp. 4243–4254, 2014, doi: [10.1109/JSTARS.2014.2332337](https://doi.org/10.1109/JSTARS.2014.2332337).

- [18] C.-S. Lo dan C. Lin, "Growth-competition-based stem diameter and volume modeling for tree-level forest inventory using airborne LiDAR data," *IEEE Trans. Geosci. Remote Sens.*, vol. 51, no. 4, pp. 2216–2226, 2013, doi: 10.1109/TGRS.2012.2211023.
- [19] Y. Sun, X. Zhang, Q. Xin, dan J. Huang, "Developing a multi-filter convolutional neural network for semantic segmentation using high-resolution aerial imagery and LiDAR data," *ISPRS J. Photogramm. Remote Sens.*, vol. 143, pp. 3–14, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.isprsjprs.2018.06.005>.
- [20] A. Gamal dkk., "Outdoor LiDAR Point Cloud Building Segmentation: Progress and Challenge," 2021 International Conference on Advanced Computer Science and Information Systems (ICACSIS), 2021, pp. 01-06, doi: 10.1109/ICACSIS53237.2021.9631345.
- [21] C. R. Qi, H. Su, M. Kaichun, dan L. J. Guibas, "PointNet : Deep learning on point sets for 3D classification and segmentation," dalam *2017 IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR)*, 2017, pp. 77–85, doi: 10.1109/CVPR.2017.16
- [22] C. R. Qi, L. Yi, H. Su, and L. J. Guibas, "PointNet ++ : deep hierarchical feature learning on point sets in a metric space," dalam *31st Conference on Neural Information Processing Systems (NIPS)*, Long Beach, CA, USA, 2017.
- [23] Y. Wang, Y. Sun, Z. Liu, S. E. Sarma, M. M. Bronstein, dan J. M. Solomon, "Dynamic graph CNN for learning on point clouds," *Association for Computing Machinery (ACM) Transactions on Graphics*, vol. 38, no. 5, pp.146, 2019.
- [24] A. Bayu, A. Wibisono, H. A. Wisesa, N. S. Intizhami, W. Jatmiko, dan A. Gamal, "Semantic segmentation of LiDAR point cloud in rural area," dalam *2019 IEEE Int. Conf. Commun. Networks Satell.*, Makassar, Indonesia, 2019, pp. 73–78.
- [25] N. Hamid, A. Wibisono, A. Gamal, R. Ardhianto, dan W. Jatmiko, "Adaptive update in deep learning algorithms for LiDAR data semantic segmentation," dalam *2020 IEEE Region 10 Symposium (TENSYMP)*, 2020, pp. 1038–1041, doi: 10.1109/TENSYMP50017.2020.9230926.
- [26] N. Hamid, A. Wibisono, M. A. Ma, A. Gamal, R. Ardhianto, dan A. M. Arymurthy, "3D edge convolution in deep neural network implementation for land cover semantic segmentation of airborne LiDAR data," dalam *2019 4th Asia-Pacific Conf. Intell. Robot Syst.*, 2019, pp. 216–220.
- [27] A. Gamal dkk., "Automatic LiDAR building segmentation based on DGCNN and euclidean clustering," *J. Big Data*, vol. 7, no. 1, pp. 102, 2020, doi: 10.1186/s40537-020-00374-x.



CHAPTER 13

PENGEMBANGAN SISTEM OTONOMI DENGAN MENGUNAKAN KECERDASAN ARTIFISIAL UNTUK TREM OTONOM

Bambang Riyanto Trilaksono¹ & Febry Pandu Wijaya²

¹Institut Teknologi Bandung, ²PT INKA

ABSTRAK

Penelitian ini membahas pengembangan sistem otonomi untuk trem otonom menggunakan kecerdasan artifisial dengan dua tahap pengembangan, yaitu *tram driving assistance* dan trem otonom. Kemampuan otonomi yang dikembangkan pada trem otonom mencakup kemampuan mendeteksi objek di sekitar trem dan melakukan pelacakan, memenuhi batas kecepatan pada ruas jalan tertentu secara otomatis, menghindari tabrakan dengan penghalang, serta mengenali wajah masinis dan peringatan atensi masinis pada *tram driving assistance*. Pada trem otonom, sistem otonomi juga dilengkapi dengan *adaptive cruise control*, *emergency braking system*, dan pengenalan rambu lalu lintas secara otomatis. Sistem otonomi dilengkapi dengan sensor kamera, *light detection and ranging* (LiDAR), dan radar. *Pipeline* kecerdasan artifisial (*deep learning*) pada sistem otonomi yang mencakup sistem persepsi, lokalisasi, pemetaan, pengambilan keputusan, dan sistem kendali yang diimplementasikan pada *embedded* Nvidia GPU Drive dan diintegrasikan dengan sistem *drive-by-wire* pada trem elektrik berbasis baterai.

Kata kunci: trem listrik, sistem otonomi, *deep learning*, fusi sensor, *embedded* GPU

¹ **Bambang Riyanto Trilaksono** lahir di Banyuwangi pada 15 November 1962 dan saat ini bekerja sebagai dosen dan guru besar di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika ITB. Lulusan S1 Teknik Elektro Institut Teknologi Bandung (ITB) serta S2 dan S3 Waseda University, Jepang, ini merupakan salah satu pendiri dari Pusat AI, ITB, dan Kolaborasi Riset dan Inovasi Kecerdasan Artifisial (Korika) dan bertugas sebagai Wakil Rektor Bidang Riset, Inovasi dan Kemitraan ITB pada periode 2015–2019. Bambang juga merupakan *research fellow* di University of New South Wales (2012–sekarang), anggota dewan redaksi dari beberapa jurnal internasional, seperti *International Journal of Intelligent Unmanned Systems*, anggota IEEE dan Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI) dan salah satu *founder* perusahaan pemula Riset Kecerdasan Buatan (www.riset.ai). Beliau juga terlibat dalam beberapa proyek industri, khususnya dalam pengembangan pesawat terbang N250 di PTDI dan KFX/IFX.

² **Febry Pandu Wijaya** lahir di Madiun pada 10 Februari 1984 dan bergabung dengan PT INKA (Persero), sebuah perusahaan manufaktur kereta dan transportasi darat, sejak tahun 2007. Ia menerima gelar sarjana dari Teknik Elektro ITB, gelar master dari Toyohashi University, dan gelar Ph.D. dari Electrical and Electronic Engineering, Chiba University, Jepang, pada tahun 2017. Sejak awal kariernya di INKA, ia banyak terlibat dalam proyek dan penelitian tentang KRDE, KRL, kereta *hybrid*, tram baterai, dan bus listrik. Saat ini, ia merupakan *leader* dari INKA untuk Pengembangan Sistem Otonomi Menggunakan Kecerdasan Artifisial pada Tram Baterai dengan ITB dan PT Riset Kecerdasan Buatan yang didanai oleh LPDP.

B. R. Trilaksono & F. P. Wijaya
Institut Teknologi Bandung (ITB), e-mail: briyanto1@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
B. R. Trilaksono and F. P. Wijaya, "Pengembangan sistem otonomi dengan menggunakan kecerdasan artifisial untuk trem otonom," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 13, pp. 137-152, doi: 10.55981/brin.668.c549

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

Transportasi umum yang aman dan nyaman merupakan elemen penting dari infrastruktur kota. Mengingat beberapa faktor, seperti kemacetan lalu lintas, masalah lingkungan, dan pertumbuhan kota yang pesat, transportasi umum harus menjadi cara yang paling menarik untuk berkeliling kota. Meningkatnya perhatian terhadap mobilitas listrik dan kepekaan yang lebih besar terhadap masalah lingkungan telah mendukung penyebaran trem dalam beberapa tahun terakhir (Pemerintah Kota Bogor, Provinsi Bali, dan Kota Surabaya) telah tertarik untuk menggunakan trem sebagai transportasi perkotaan mereka (sumber: internal PT INKA). Hal ini mungkin saja akan diikuti oleh berbagai kota lain di Indonesia, sehingga potensi kendaraan trem yang harus diproduksi menjadi meningkat pesat.

Istilah trem digunakan untuk angkutan umum kereta yang jalurnya sejajar dan berada di jalan raya. Ini berarti bahwa trem harus berbaur dengan sarana transportasi lain, seperti mobil dan sepeda motor, serta pejalan kaki. Dalam operasinya, trem harus membatasi kecepatannya untuk menghindari kecelakaan dengan alat transportasi lain yang menggunakan jalan raya. Selain membatasi kecepatan, trem juga biasanya terbatas pada jumlah gerbong yang hanya terdiri dari satu atau dua gerbong sehingga tidak mengganggu arus lalu lintas dan umumnya memiliki kapasitas antara 125–250 penumpang.

Saat ini, kecelakaan kereta api yang terjadi di Indonesia masih tergolong tinggi. Selama tahun 2019 telah terjadi 260 kali kecelakaan kereta api yang mengakibatkan 76 orang meninggal dunia. Salah satu penyebab kecelakaan adalah masalah kelelahan atau mengantuk yang dialami oleh masinis. Untuk mengantisipasi masalah tersebut, perlu ditambahkan fasilitas berupa sistem *assistant driver* yang dapat membantu masinis dalam melakukan kendali kereta atau trem. Lebih maksimal lagi, jika trem dapat berjalan secara otonom tanpa masinis sehingga dapat meningkatkan keselamatan dan efisiensi dalam transportasi publik [5][10][14][15][21]. Saat ini, kendaraan otonom dipandang sebagai solusi yang efektif dalam mengatasi masalah kecelakaan akibat pengemudi yang mengalami kelelahan, mengantuk, konsentrasi terganggu, dan sebagainya [10][11][16][18][19][20].

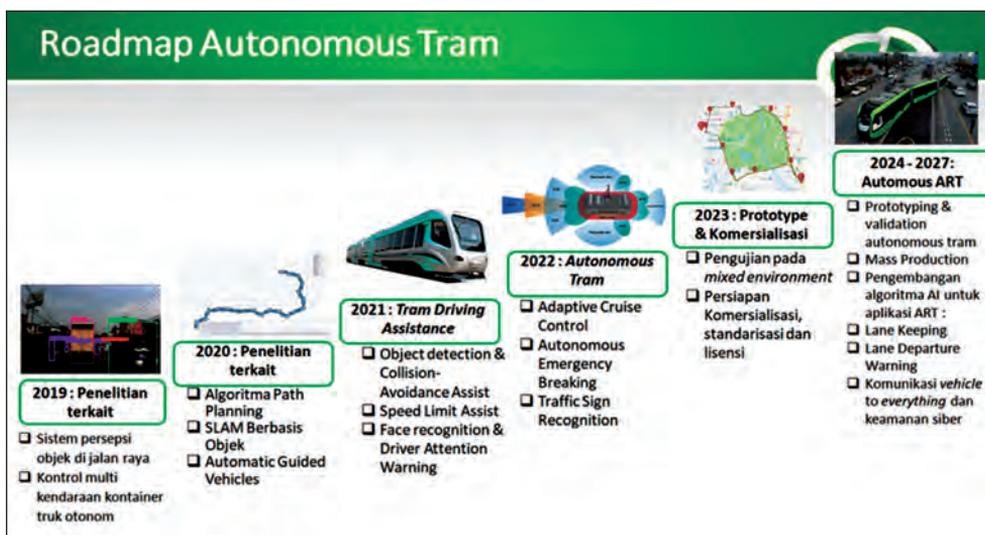
Penelitian ini membahas beberapa aspek dari proyek riset dan inovasi kendaraan otonom secara umum dan trem otonom secara khusus yang akan dilengkapi peta jalan riset dan inovasi terkait dengan proyek pengembangan trem otonom. Pembahasan akan dilanjutkan dengan pengembangan sistem otonomi dari trem otonom, antara lain menyangkut *deep learning* (AI pipeline) serta perangkat lunak dan perangkat keras yang dirancang dan dikembangkan. Setelah itu, disajikan secara ringkas hasil pengujian *assisted driving system* dari trem otonom yang dikembangkan, dilanjutkan dengan kesimpulan dan *lessons learned* dari pengembangan trem otonom yang menggunakan kecerdasan artifisial ini.

B. PEMBAHASAN

1. Kendaraan Otonom dan Trem Otonom

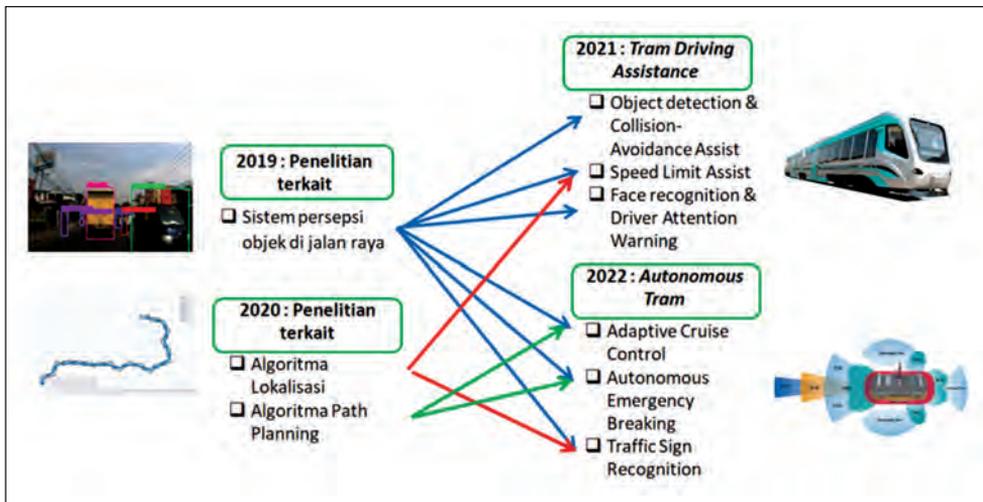
Berdasarkan pertimbangan di atas, Insitut Teknologi Bandung (ITB) bekerja sama dengan PT Industri Kereta Api (PT INKA) dan perusahaan pemula Riset Kecerdasan Buatan melakukan riset inovatif dengan judul *Pengembangan Sistem Otonomi dengan Menggunakan Kecerdasan Artifisial untuk Trem Otonom*. Riset ini dibiayai oleh LPDP dalam skema riset inovatif produktif. Dalam kerja sama ini, ITB berperan mengembangkan sistem otonomi yang mencakup AI *pipeline*, perangkat lunak, dan perangkat keras, antara lain sensor dari *embedded graphical processing unit* (GPU). PT INKA berperan menyediakan trem berbasis elektrik dan *drive-by-wire system* serta lingkungan pengujian di Madiun. Riset kecerdasan buatan berperan mengembangkan model AI untuk pengenalan wajah dan peringatan atensi masinis, serta supervisi dalam rekayasa data. Peta jalan riset dan inovasi yang menggambarkan tahapan riset dan inovasi yang telah, sedang, dan akan dilakukan dalam pengembangan kendaraan otonom secara umum dan trem otonom secara khusus ditunjukkan pada Gambar 1. Pengembangan sistem otonomi trem dilaksanakan pada periode 2021–2023 dan jangka lebih panjang, yaitu periode 2024–2027, dilakukan pengembangan *autonomous rail rapid transit* (ART).

Seperti diperlihatkan pada Gambar 1, telah dilakukan beberapa riset terkait dengan deteksi dan klasifikasi serta penjejakan objek lalu lintas berdasarkan kamera sebagai elemen penting dari kendaraan otonom [1][2][18][19][20]. Beberapa model *deep learning* telah dikembangkan untuk mendukung riset tersebut, salah satunya berbasis Yolo untuk mendeteksi objek lalu lintas yang beragam, sebagaimana banyak dijumpai di Indonesia. *Deep learning* merupakan paradigma penting dalam kecerdasan



Gambar 1. Peta Jalan Riset Pengembangan Trem Otonom (2019–2027)

artifisial yang berkembang dalam beberapa tahun terakhir dan didasarkan pada model dan prinsip kerja otak makhluk hidup secara umum, dan manusia secara khusus, yang disusun ke dalam sejumlah besar lapisan neuron [2][3][4][9]. Riset mengenai penjejak jalur juga dilakukan sehingga kendaraan otonom, dapat menetapkan jalur dari posisi awal menuju posisi tujuan dengan menghindari halangan. Dalam kaitan ini, algoritma baru telah dikembangkan dengan menggabungkan algoritma *randomly rapid tree* (RRT) dengan *ant colony systems* (ACS) maupun menggabungkan RRT dengan *particle swarm optimization* (PSO) [17]. Tujuan dari pengembangan algoritma ini adalah meningkatkan kecepatan konvergensi penelusuran jalur sambil berupaya menemukan panjang jalur yang lebih optimal (pendek) dibandingkan beberapa algoritma yang sudah ada. Penentuan peta dan posisi secara serentak *simultaneous localization and mapping* (SLAM) berbasis objek dengan menggunakan kamera tiga dimensi (3D) juga sudah dikembangkan. SLAM merupakan salah satu elemen penting dalam kendaraan otonom dengan tujuan mendapatkan lokasi kendaraan yang akurat, misalnya penggunaan *inertial measurement unit* (IMU) dan *global positioning system* (GPS), serta pembentukan peta berdasarkan sensor kamera, *light detection and ranging* (LiDAR), atau sonar [6][7][8][12]. Pembangunan peta diperlukan pada kendaraan otonom terutama pada wilayah baru yang belum ada atau tidak tersedia petanya. Apabila peta digital tersedia, misalnya dengan menggunakan Open Streetmap atau peta berdefinisi tinggi, dan telah terinstalasi pada sistem otonomi, pembangunan peta baru tidak lagi diperlukan. Dalam konteks ini, sedang dikembangkan peningkatan peta dengan objek baru yang belum tersedia pada peta yang ada atau digunakan.



Gambar 2. Peta Keterkaitan Penelitian Pengembangan Algoritma dengan Penelitian Sistem Otomasi Trem

Buku ini tidak diperjualbelikan.

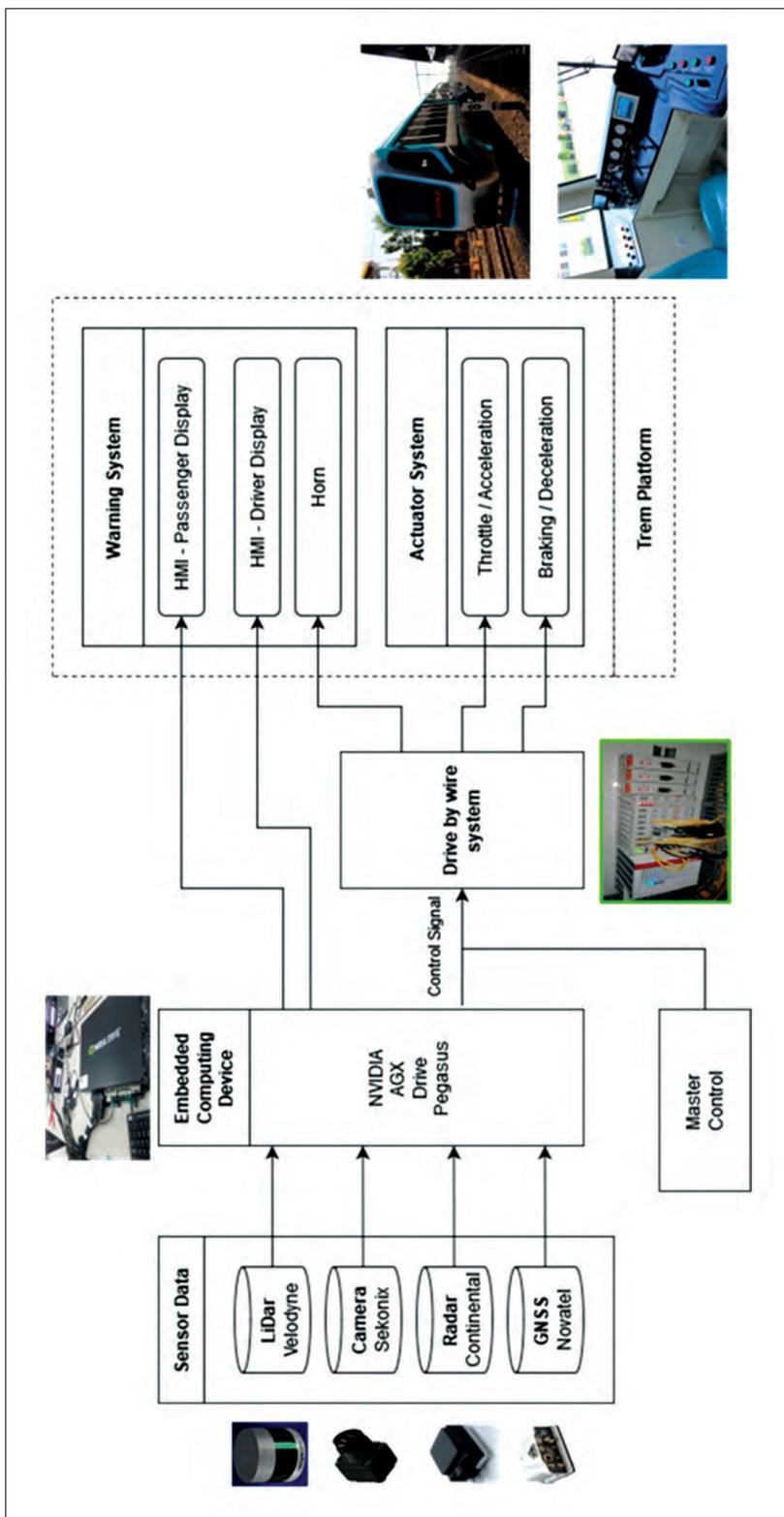
Keterkaitan antara penelitian mengenai pengembangan algoritma yang sudah dilakukan (algoritma sistem persepsi berbasis kecerdasan artifisial, SLAM/lokalisasi, dan *path planning*) dengan implementasi trem otonom (*tram driving assistance* dan *autonomous tram*) ditunjukkan oleh Gambar 2. Tanda panah memperlihatkan keterkaitan riset dan pengembangan yang telah dilakukan dengan sistem otonomi untuk trem otonom yang sedang atau akan dikembangkan.

2. Sistem Otonomi untuk Trem Otonom

Sebagai kendaraan yang bersifat mandiri, trem otonom perlu memiliki kemampuan mendeteksi objek berdasarkan semua sensor yang digunakan serta melakukan penghindaran halangan karena trem otonom beroperasi di lingkungan jalan raya dan bercampur dengan kendaraan lain, seperti mobil, angkot, sepeda motor, sepeda, bus, dan truk, serta pejalan kaki. Beberapa sensor yang dirancang dan digunakan pada trem otonom adalah sensor kamera, sensor LIDAR, dan sensor radar yang masing-masing memiliki karakteristik tersendiri sehingga dapat saling melengkapi. Trem otonom juga harus mampu untuk beroperasi dengan memenuhi batas kecepatan yang diizinkan pada ruas jalan rel tertentu sehingga tidak membahayakan, misalnya karena kemiringan jalan rel dan sebagainya. Dua tahapan pengembangan trem otonom yang dilakukan adalah perancangan *tram driving assistance* (2021–2022) dan pengembangan trem otonom (2022–2023).

Tram driving assistance dapat dianggap sebagai sistem semi-otonom yang berfungsi membantu masinis pada kondisi tertentu, khususnya pada kondisi yang berbahaya, misalnya pada situasi di mana kendaraan lain di sekitarnya atau pejalan kaki berada terlalu dekat dengan trem. Secara khusus, kemampuan ini penting dikembangkan pada trem yang beroperasi di Indonesia mengingat kecenderungan sebagian pengguna lalu lintas di Indonesia yang tidak menaati peraturan lalu lintas. Sistem otonomi pada *tram driving assistance* perlu dilengkapi kemampuan untuk mengenali wajah masinis dan peringatan atensi masinis. Sistem peringatan atensi perlu mendeteksi atensi masinis, misalnya pada situasi ketika masinis mengantuk atau tidak berkonsentrasi pada pengoperasian trem. Pada trem otonom yang saat ini sedang dikembangkan, ditambahkan beberapa fitur pada sistem otonominya, yaitu *adaptive cruise control*, *autonomous emergency breaking*, dan *traffic sign recognition*.

Untuk merealisasikan *tram driving assistance*, dikembangkan model *deep learning* yang memiliki kemampuan mendeteksi objek di sekitar trem dan melakukan pelacakan dengan memanfaatkan sensor kamera, LiDAR, dan radar yang diimplementasikan pada modul persepsi dari sistem otonomi yang dikembangkan. Jenis objek yang perlu dideteksi adalah sepeda motor, mobil, angkot, truk, bus, dan pejalan kaki. Model *deep learning* berbasis *convolutional neural networks* juga dikembangkan untuk



Gambar 3. Arsitektur Perangkat Keras Sistem Otonomi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

mengidentifikasi wajah melalui kamera yang dipasang di ruang masinis dan dapat mengidentifikasi siapa yang menjadi masinis. Sistem peringatan juga direalisasikan dengan menggunakan model *deep learning* untuk mendeteksi apakah masinis sedang mengantuk atau atensinya sedang terganggu.

Arsitektur perangkat sistem otonomi untuk trem otonom yang dikembangkan diperlihatkan pada Gambar 3. Sebagaimana diperlihatkan pada gambar tersebut, sistem otonomi untuk trem otonom dilengkapi dengan sejumlah sensor, seperti kamera, LiDAR, dan radar. Sensor sejenis ini diperlukan karena trem otonom beroperasi pada lingkungan *mixed traffic*, atau dengan kata lain, beroperasi di samping atau di tengah jalan raya bersama-sama dengan berbagai jenis kendaraan lain, seperti sepeda, sepeda motor, angkot, mobil, bus, dan truk, atau pejalan kaki. Instalasi sensor tersebut pada trem otonom dan penempatannya diperlihatkan pada Gambar 4.

Penggunaan sensor kamera, LiDAR, dan radar pada kondisi lalu lintas seperti ini diperlukan untuk mempersepsi lingkungan yang ada di sekitar trem otonom. Secara khusus, sistem persepsi yang dilengkapi dengan sensor tersebut memiliki kemampuan untuk mendeteksi dan mengklasifikasi objek di sekitarnya. Deteksi



Gambar 4. Instalasi Sensor Kamera, LiDAR, dan Radar pada Trem Otonom

objek dilakukan dengan membentuk *bounding box* berbentuk dua atau tiga dimensi menggunakan *deep learning* berdasarkan sensor kamera, LiDAR, dan radar. Contoh inferensi model *deep learning* yang dikembangkan pada video yang ditangkap oleh kamera diperlihatkan pada Gambar 5.



Gambar 5. Deteksi objek pada video yang ditangkap oleh kamera dengan menggunakan *deep learning*.



Gambar 6. Fusi Sensor Kamera dan LiDAR. Gambar atas menunjukkan arsitektur fusi sensor kamera dan LiDAR, sedangkan gambar bawah memperlihatkan deteksi dua dimensi dengan menggunakan kamera dan deteksi tiga dimensi dengan menggunakan LiDAR [1].

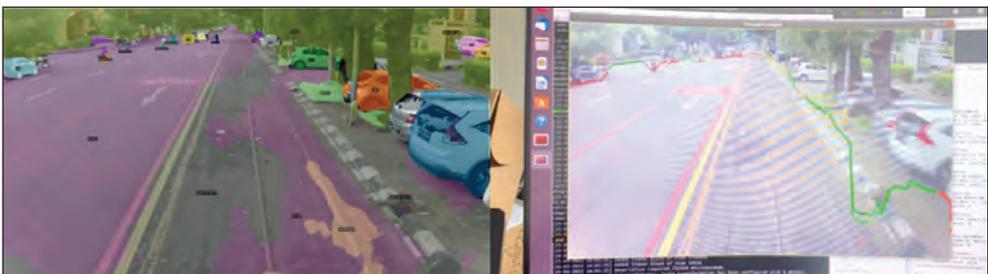
Melalui sensor LiDAR dan radar secara khusus dapat ditentukan jarak dan *bearing angle* terhadap semua objek di sekitar trem otonom. Fusi dari sensor LiDAR dan kamera juga dikembangkan untuk deteksi objek dengan menggunakan algoritma fusi sensor dan *deep learning* sebagaimana diperlihatkan pada Gambar 6.

Deteksi objek tiga dimensi diperoleh dengan sensor LiDAR, sementara deteksi dua dimensi diperoleh dengan menggunakan kamera. Kedua pendeteksi objek ini digabungkan dengan algoritma fusi dan selanjutnya dilakukan asosiasi data [1]. Algoritma penjejakan digunakan untuk melakukan penjejakan objek secara waktu-nyata (*real-time*).

Segmentasi citra juga dikembangkan pada sistem persepsi yang berfungsi meningkatkan “kecerdasan” sistem persepsi, salah satunya dengan menggunakan salah satu metode segmentasi citra, yaitu segmentasi panoptik (*panoptic image segmentation*) berbasis *deep learning*, sistem otonomi dapat membedakan citra yang merupakan pepohonan, bangunan, udara, objek kendaraan di sekitar trem otonom, maupun bidang jalan (*drivable area*). Hasil inferensi model *deep learning* untuk segmentasi citra ini diperlihatkan pada Gambar 7.

Sebagaimana terlihat pada Gambar 7, model *deep learning* yang dikembangkan dapat membangun pemisahan citra dari objek kendaraan, pepohonan, maupun bidang jalan yang dapat dilalui kendaraan otonom. Selain kemampuan mendeteksi objek, dikembangkan juga sistem pengenalan rambu lalu lintas berdasarkan citra yang ditangkap oleh kamera menggunakan model *deep learning* sehingga memiliki kemampuan untuk mendeteksi rambu atau semboyan yang digunakan sepanjang rel kereta otonom, termasuk kemampuan mendeteksi rambu pada situasi yang agak ekstrem, seperti pencahayaan yang agak redup (misalnya pada sore hari) atau pada situasi ketika gerimis.

Sistem persepsi ini selanjutnya berhubungan dengan sistem lokalisasi dan pemetaan. Sistem lokalisasi diperlukan untuk menentukan koordinat lokasi dari trem otonom dalam peta. Penentuan lokasi yang akurat sangat penting pada kendaraan otonom. Sistem ini menghitung koordinat lokasi berdasarkan sensor GPS dan IMU



Gambar 7. Inferensi segmentasi panoptik pada citra dengan menggunakan *deep learning*. Gambar kiri memperlihatkan segmentasi citra terhadap objek kendaraan dan pepohonan, sedangkan gambar kanan memperlihatkan segmentasi citra untuk menentukan bidang atau wilayah kendaraan beroperasi.

dengan tingkat ketelitian tertentu dengan pengembangan akurasi di bawah 10 cm. Jenis sensor GPS yang digunakan memanfaatkan satelit dan berbasis *real time kinematic* (RTK). Open Streetmap yang bersifat terbuka digunakan untuk peta. Informasi lokasi trem otonom selanjutnya ditunjukkan pada peta dan ditampilkan pada suatu *display*.

Dengan mendasarkan pada sistem deteksi objek, lokalisasi, dan peta, sistem pengambilan keputusan pada sistem otonomi akan melakukan beberapa keputusan, seperti melakukan percepatan dan pelambatan trem, membunyikan *buzzer* di ruang masinis, dan membunyikan klakson (*horn*). Modul pengambil keputusan terdiri dari *safety assessment*, pembuatan keputusan, dan sistem kendali. *Safety assessment* memungkinkan sistem otonomi untuk melakukan penilaian seberapa tingkat bahaya situasi tertentu di sekitar trem otonom. Penilaian ini dinyatakan dalam bentuk nilai probabilitas bahaya situasi tertentu dengan mendasarkan pada prediksi trajektori objek (kendaraan), posisi, dan kecepatan trem otonom. Sistem ini dirancang untuk merealisasikan fitur penting dari kendaraan otonom, seperti *emergency braking system* dan *collision avoidance*. Fitur *adaptive cruise control* juga dikembangkan yang memungkinkan trem otonom mengatur jarak (dan kecepatan) aman terhadap trem lain yang melaju didepannya. Salah satu metode kendali yang digunakan adalah *model predictive control* (MPC).

Seluruh AI *pipeline* dan algoritma yang digunakan pada sistem otonomi yang dirancang ini diimplementasikan pada Nvidia GPU Driveworks (Pegasus). Nvidia GPU Driveworks dengan nama Pegasus merupakan *embedded* GPU yang dikembangkan untuk kendaraan otonom yang mengandung beberapa GPU dalam satu *board*. Penerapan dan *deployment* model *deep learning*, pengembangan model *deep learning* sebagaimana yang umumnya dilakukan di lingkungan akademik tidaklah cukup. Model-model kecerdasan artifisial yang dikembangkan ini perlu di-*deploy* dan diuji pada platform komputasi yang digunakan pada *deployment* sistem ini, dalam kasus ini adalah *embedded* GPU Driveworks. Pada umumnya, pengembangan model *deep learning* pada proyek riset dan inovasi ini dilakukan melalui beberapa tahap sebagai berikut.

- a. Pengembangan model *deep learning* melalui *transfer learning* dari suatu *pretrained model* atau modifikasi dari model *deep learning* yang sudah dikembangkan para peneliti dan dilatih dengan memanfaatkan *dataset* yang tersedia daring, seperti Kitti dan NuScene, untuk kemudian dilatih terhadap *dataset* lokal yang diambil dan dikembangkan oleh tim riset. Model *deep learning* ini dikembangkan pada suatu server dengan beberapa GPU dan dilakukan menggunakan TensorFlow atau Pytorch.
- b. Pengembangan model *deep learning* pada server dan GPU dengan lingkungan perangkat lunak (Nvidia Driveworks) yang sama seperti pada Nvidia *embedded* GPU Drive (Pegasus) yang digunakan, dalam hal ini menggunakan TensorRT dengan versi yang sama.

- c. Implementasi AI *pipeline* dan algoritma terkait pada Nvidia *embedded* GPU Driveworks dengan menggunakan TensorRT.

Secara khusus, penilaian (*assessment*) yang dilakukan pada langkah ketiga tidak hanya terkait dengan kinerja model *deep learning* yang dikembangkan, seperti akurasi, *recall*, atau *f1-score*, tetapi juga kecepatan komputasi, misalnya dalam bentuk bingkai per detik (*frame per second*, fps). Evaluasi ini sangat penting karena model *deep learning* yang diimplementasikan pada *embedded* GPU akan diterapkan pada *safety-critical system*, yaitu trem otonom, di mana respons waktu dari berbagai model atau algoritma sangat perlu diperhatikan. Dalam hal ini, sering kali terjadi kompromi antara kinerja model *deep learning* waktu komputasinya. Dalam beberapa hal, kita sering kali tidak dapat mengembangkan dan menggunakan model *deep learning* terancang dan terkini karena terbatas oleh versi TensorRT yang digunakan pada *embedded* GPU. Dalam beberapa hal, suatu kompromi (*trade-off*) dalam desain dan *deployment* kecerdasan artifisial perlu dilakukan.

Secara umum, pengembangan model *deep learning* dan AI *pipeline* beserta simulasinya dilakukan di ITB dan Riset Kecerdasan Buatan, sementara integrasi pada platform trem dilakukan di PT INKA, Madiun. Pengambilan data lingkungan menggunakan sensor kamera, LiDAR, dan radar dilakukan di beberapa lokasi, seperti jalanan di Bandung, Solo (pada ruas rel trem Bathara Kresna), dan Madiun (PT INKA). Pengambilan data jalanan di Bandung dimaksudkan untuk memperoleh data video dan data LiDAR untuk deteksi objek, termasuk dalam kondisi agak ekstrem (kondisi hujan dan agak gelap, sekitar sore menjelang malam hari). Pengambilan data di Solo menggunakan dressin yang mirip dengan trem listrik dengan sistem otonomi yang dikembangkan dan terpasang sensor kamera, LiDAR, dan radar. Pengambilan data di Solo ini dimaksudkan untuk merepresentasikan kondisi lingkungan sesungguhnya pada jalur trem Bathara Kresna yang bersifat *mixed traffic*, termasuk berbagai objek kendaraan, pejalan kaki, dan berbagai rambu atau semboyan yang digunakan di jalur rel trem. Pengambilan data di Madiun dimaksudkan untuk merepresentasikan data dengan penempatan sensor yang sesungguhnya di trem yang dikembangkan sistem otonominya. Ketiga jenis *dataset* ini digunakan untuk melengkapi *dataset* yang tersedia secara daring, seperti Kitti, NuScene, dan FRSign [9] yang merepresentasikan kondisi di negara maju, sementara ketiga jenis data yang diambil sendiri merepresentasikan data lokal yang khas Indonesia. Mengingat pentingnya data yang diperoleh dari sensor tersebut, tim riset dan inovasi membentuk tim khusus rekayasa data yang bertugas mengelola data, melakukan pelabelan (anotasi), dan menyiapkan *dataset* yang diperlukan untuk membangun berbagai jenis model *deep learning*. Ketersediaan *dataset* yang bagus dalam jumlah cukup besar sangat penting dalam pengembangan model *deep learning* [2][3][4][13][18][19][20].

3. Integrasi, Pengujian, dan Eksperimen

Sebelum melakukan pengujian secara terintegrasi di lapangan, perlu dikembangkan suatu lingkungan simulasi yang melibatkan dua platform komputasi, yaitu server *personal computer* (PC) yang terinstalasi Carla dan Nvidia *embedded GPU*. Carla adalah lingkungan simulasi dan animasi yang biasa digunakan pada pengembangan kendaraan otonom. Kedua platform komputasi ini diintegrasikan dengan Carla untuk menampilkan animasi kendaraan di suatu lingkungan perkotaan, sedangkan AI *pipeline* yang diimplementasikan pada Nvidia *embedded GPU*. Dengan menggunakan lingkungan simulasi seperti ini, berbagai macam skenario pengoperasian trem otonom dapat dilakukan, termasuk situasi yang tidak dapat dilakukan pengujian riil di lapangan karena berbagai keterbatasan.

Integrasi sensor kamera, GPS, IMU, dan *embedded GPU* serta *drive-by-wire system* pada trem listrik dilakukan di PT INKA. *Fine tuning* algoritma lebih lanjut juga dilakukan pada tahap ini. Komunikasi antara *embedded GPU* sistem *drive-by-wire* secara khusus dilakukan untuk memastikan perintah yang diberikan oleh *embedded GPU* dalam berbagai jenisnya (percepatan, pelambatan, serta perintah membunyikan *buzzer* dan klakson) dapat dilaksanakan oleh trem melalui sistem *drive-by-wire*. Pengujian *driver assisted system* dilakukan pada tahun pertama riset dan inovasi dengan beberapa fitur, yaitu (a) deteksi objek dengan menggunakan kamera, (b) *collision avoidance assist*, (c) *speed limit assist*, (d) pengenalan wajah masinis, dan (e) peringatan atensi masinis.

Gambar 8 memperlihatkan *embedded GPU* dan sistem *display* yang terinstalasi di trem otonom. Lima fitur pengujian tersebut telah sukses diimplementasikan dan diuji di PT INKA. Gambar 9 menunjukkan peringatan atensi masinis.

Gambar 9 memperlihatkan bahwa status pengenalan wajah, pengenalan gerak mata kanan dan kiri, serta orientasi dari kepala masinis yang terdeteksi mengalami distraksi. Sistem pengenalan wajah dan status yang dideteksi oleh kamera di ruang masinis ini juga dapat mendeteksi kondisi mengantuk masinis. Jika salah satu dari kedua kondisi ini terdeteksi, sistem otonomi akan membangkitkan bunyi *buzzer* yang terpasang di ruang masinis untuk mengingatkan masinis agar lebih berkonsentrasi mengemudikan trem.

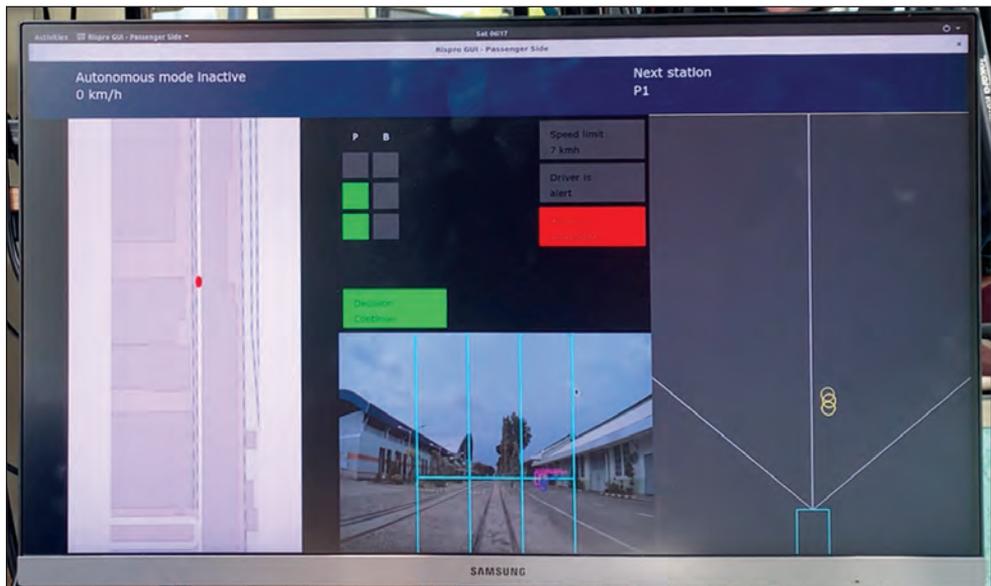


Gambar 8. Instalasi *Embedded GPU* dan Sistem *Display* terinstalasi pada Trem Otonom

Gambar 10 menunjukkan *display* dari *tram driving assistance system* pada pengujian eksperimental. Tampak dari gambar ini posisi trem pada peta, *display* yang menampilkan video hasil tangkapan kamera beserta objek terdeteksi dan *bird-eye view* dari trem dan posisi objek yang dideteksi. Sistem juga memperlihatkan batas wilayah pada bidang citra yang digunakan untuk membantu trem menghindari halangan ketika objek di sekitarnya berada terlalu dekat dengan trem.



Gambar 9. Sistem Pengenalan Wajah dan Peringatan Atensi Masinis



Gambar 10. *Display Tram Driving Assistance System* pada Pengujian Eksperimental di PT INKA

Buku ini tidak diperjualbelikan.

D. KESIMPULAN

Artikel ini telah menyajikan pengembangan sistem otonomi untuk trem otonom dengan sistem otonomi yang dibangun menggunakan sejumlah sensor, AI/DL *pipeline* yang diimplementasikan pada *embedded* GPU, dan berkomunikasi dengan *drive-by-wire system*. Sistem otonomi berbasis model *deep learning* telah berhasil dirancang dan diujikan pada trem semi-otonom, dan saat ini pengembangan sistem otonomi untuk trem otonom tanpa masinis sedang berjalan. Beberapa pelajaran dapat dipetik dalam pengalaman mengembangkan sistem otonomi untuk trem otonom adalah sebagai berikut.

1. Pengambilan data dan pembuatan dataset harus memperhatikan keterbatasan sesuai kondisi di lapangan.
2. Implementasi model deployment pada *embedded* GPU akan melibatkan siklus pengembangan lengkap (ML/DL DevOps) dan menyangkut kompromi antara kinerja model *deep learning* kecepatan komputasi.
3. Lokasi dan penempatan sensor perlu mempertimbangkan wilayah yang dapat dicakup sehingga persepsi terhadap lingkungan di sekitar kendaraan otonom cukup luas.
4. Aspek keamanan dalam pengembangan sistem otonomi sangat penting mendapat perhatian.

Informasi lebih lanjut dan video terkait dengan proyek riset dan inovasi pengembangan sistem otonomi untuk trem otonom ini dapat diakses melalui situs <https://av.itb.ac.id>.

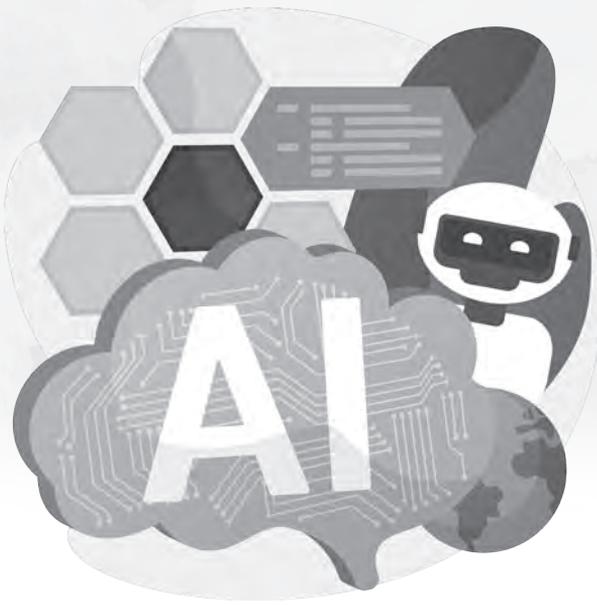
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT INKA dan Riset Kecerdasan Buatan untuk kerja sama yang baik dalam pengembangan sistem otonomi untuk trem otonom. Apresiasi dan ucapan terima kasih juga disampaikan kepada anggota tim riset dan inovasi, yaitu Arief S. Rochman, Egi Hidayat, Yulyan Wahyu, Sigit Santosa, Augie Widyotriatmo, Dhimas Bintang K., M. Aria R. Pohan, Ari Wibowo, M. Aulia, Hilda Widyastuti, Handoko S., Thomas, Yosua S.A., Christophorus Deo P, Khansa, Dewi Nala, M. Hasan H., Yudi P., Fachry, Aiezka R., Christofel R.G., Fikki M. A., Evan R. T., dan Tita R., atas kontribusi dan kerja samanya dalam proyek riset dan inovasi ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Kim, A. Ošep, dan L. Leal-Taixé, “EagerMot : 3D multi object tracking via sensor fusion,” dalam *IEEE International Conference on Robotics and Automation*, 2021.
- [2] M. Elgendy, *Deep Learning for Vision Systems*. New York, USA: Manning, 2020.
- [3] F. Chollet, *Deep Learning with Python*. New York, USA: Manning, 2021.
- [4] A. Zhang, Z. C. Lipton, M. Li, dan S. J. Smola, *Dive into Deep Learning*, 2022.
- [5] C. Di Palma, V. Galdi, V. Calderaro, dan F. De Luca, “Driver assistance system for trams: smart tram in smart cities,” dalam *2020 IEEE International Conference on Environment and Electrical Engineering*, Madrid, Spanyol, 2020.
- [6] K. Doherty, D. Fourie, dan J. Leonard, “Multimodal semantic SLAM with probabilistic data association,” dalam *International Conference on Robotics and Automation (ICRA)*, Montreal, Kanada, 2019.
- [7] Y. Dong dkk., “A novel texture-less object oriented visual SLAM system,” dalam *IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems*, 2019, pp. 1–14.
- [8] D. Frost, V. Prisacariu, dan D. Murray, “Recovering stable scale in monocular SLAM using object-supplemented bundle adjustment,” *IEEE Transaction on Robotics*, vol. 34, no. 3, 736–747, 2018.
- [9] J. Harb, N. Rébena, R. Chosidow, G. Roblin, R. Potarusov, dan H. Hajri, “FRSign: A large-scale traffic light dataset for autonomous trains,” *ArXiv preprint arXiv:2002.05665*, 2020.
- [10] H. Liu, *Robot Systems for Rail Transit Applications*. Elsevier, 2020.
- [11] S. Liu, *Engineering Autonomous Vehicle and Robots: The Dragonfly Modular Based Approach*. New York: Wiley-IEEE Press, 2020.
- [12] I. Rusli, B.R. Trilaksono, dan W. Adiprawita, “RoomSLAM: Simultaneous localization and mapping with objects and indoor layout structure,” dalam *IEEE Access*, vol. 8, Oktober 2020, pp. 196992–197004.
- [13] S. Raschka, Y. Liu, dan V. Mirjalili, *Machine Learning with Pytorch and ScikitLearn: Develop Machine Learning and Deep Learning Models with Python*. Birmingham, UK: Packt Publishing, 2022.
- [14] Siemens. *On the Way to an Autonomous Tram*. (2019). [Daring] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:9d7d12df-a30c-43bd-a06d-bff6dfe96543/presentation-it-pautonome-tram-e.pdf>
- [15] Siemens. *Teaching trams to drive (On the Way to Smart and Autonomous Trams: A Siemens Mobility Research Project)*. (2019). [Daring] <https://assets.new.siemens.com/siemens/assets/api/uuid:bc2811c4-3d26-460d-9472-9372d5ce32d7/autonomous-tram.pdf>

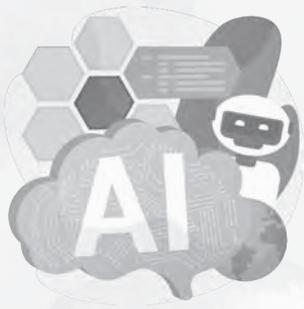
- [16] Systra. *Automated and Autonomous Public Transport: Possibilities, Challenges and Technologies*. (2020). [Daring] https://www.systra.com/wp-content/uploads/2020/09/systra-automated_and_autonomous_public_transport_2018.pdf
- [17] M. A. Pohan, B.R. Trilaksono, S.P. Santosa, dan A.S. Rohman, "Path planning algorithm using the hybridization of rapidly random tree and ant colony systems," *IEEE Access*, vol. 9, November 2021, pp. 153599–153615.
- [18] D. Parekh dkk., "A review on autonomous vehicles: Progress, methods, and challenges," *Electronics*, vol. 11, no. 14, pp. 2162. doi: [10.3390/electronics11142162](https://doi.org/10.3390/electronics11142162)
- [19] Z. Zhu dkk., "Deep learning for autonomous vehicle and pedestrian interaction safety," *Safety Science*, vol. 145, 2022, doi: [10.1016/j.ssci.2021.105479](https://doi.org/10.1016/j.ssci.2021.105479)
- [20] J. Ren dkk., "Applying deep learning for autonomous vehicles: A survey," dalam *4th International Conference on Artificial Intelligence and Big Data*, Chengdu, Cina, 2021.
- [21] S. Liu, L. Li, J. Tang, S. Wu, dan J. -L Gaudiot, *Creating Autonomous Vehicle Systems*. New York: Springer Cham, 2020, doi: [10.1007/978-3-031-01805-3](https://doi.org/10.1007/978-3-031-01805-3).



**KLASTER:
KETAHANAN PANGAN DAN MARITIM**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 14

SISTEM PEMANTAUAN PERILAKU AYAM BROILER PADA KANDANG PINTAR

**Sri Wahjuni¹, Hendra Rahmawan², Wulandari³, Jasmine Khairunissa⁴,
Iman Rahayu Hidayati Soesanto⁵, Auriza Rahmad Akbar⁶, & Fathurohman Komara⁷**

Departemen Ilmu Komputer, Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan
Institut Pertanian Bogor (IPB)

-
- ¹ **S. Wahjuni** adalah anggota Divisi Sistem Komputer dan Jaringan serta staf pengajar pada Departemen Ilmu Komputer IPB University; memperoleh gelar sarjana dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) serta magister dan doktor dari Universitas Indonesia; bidang riset yang diteliti meliputi *embedded systems*, *heterogeneous networks*, dan *internet of things*; anggota IEEE dan IAENG. Alamat posel: my_juni04@apps.ipb.ac.id
- ² **H. Rahmawan** adalah anggota Divisi Sistem Komputer dan Jaringan serta staf pengajar pada Departemen Ilmu Komputer IPB University; memperoleh gelar sarjana dari Institut Pertanian Bogor (IPB) serta magister dan doktor dari Institut Teknologi Bandung; bidang riset yang diteliti meliputi *high performance grid computing* dan *control system*. Alamat posel: hrahmawan@apps.ipb.ac.id
- ³ **Wulandari** adalah anggota Divisi Sistem Komputer dan Jaringan serta staf pengajar pada Departemen Ilmu Komputer IPB University; memperoleh gelar dari sarjana Institut Pertanian Bogor (IPB) dan magister dari Kyoto University; bidang riset yang diteliti adalah *precision livestock*, *robotics and embedded systems*, dan *image processing*; anggota IEEE, IAENG, dan Japanese Society of Agricultural Machinery and Food Engineers (JSAM). Alamat posel: wulandari.ilkom@apps.ipb.ac.id
- ⁴ **J. Khairunissa** adalah anggota Divisi Sistem Komputer dan Jaringan pada Departemen Ilmu Komputer IPB University; memperoleh gelar sarjana dari Institut Pertanian Bogor (IPB); dan saat ini sedang menyelesaikan pendidikan di Program Magister Ilmu Komputer IPB. Alamat emailposel: jasmine_9199@apps.ipb.ac.id.
- ⁵ **I. R. H. Soesanto** adalah profesor dan Kepala Divisi Produksi Ternak Unggas pada Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, IPB University; memperoleh gelar sarjana dari IPB, magister dari Universitas Padjadjaran, dan gelar doktor dari Universiti Putra Malaysia; bidang riset yang diteliti meliputi produksi, nutrisi dan pengolahan produk primer unggas, pangan fungsional unggas berdasarkan perolehan paten (telur omega dan karkas rendah kolesterol), aplikasi tingkah laku, kesejahteraan ternak pada unggas (ras dan lokal), dan penggunaan IoT pada unggas. Alamat posel: imanso@apps.ipb.ac.id
- ⁶ **A. R. Akbar** adalah anggota Divisi Sistem Komputer dan Jaringan pada Departemen Ilmu Komputer IPB University; memperoleh gelar dari sarjana dan magister dari Institut Pertanian Bogor (IPB); bidang riset yang diteliti adalah *distributed, parallel, and cluster computing*, *networking and internet architecture cryptography and security*, robotika, dan UAV. Alamat posel: auriza@apps.ipb.ac.id
- ⁷ **F. Komara** adalah anggota Divisi Produksi Ternak Unggas pada Departemen Ilmu Produksi dan Teknologi Peternakan, IPB University; memperoleh gelar sarjana dari Universitas Djuanda dan sedang menyelesaikan pendidikan di Program Magister Peternakan IPB. Alamat posel: fathurohmanfathurohman@apps.ipb.ac.id

S. Wahjuni, H. Rahmawan, Wulandari, J. Khairunissa, I. R. H. Soesanto, A. R. Akbar, & F. Komara
Institut Pertanian Bogor (IPB), e-mail: my_juni04@apps.ipb.ac.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
S. Wahjuni, H. Rahmawan, Wulandari, J. Khairunissa, I. R. H. Soesanto, A. R. Akbar, and F. Komara, "Sistem pemantauan perilaku ayam broiler pada kandang pintar," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 14, pp. 155-163, doi: 10.55981/brin.668.c550
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

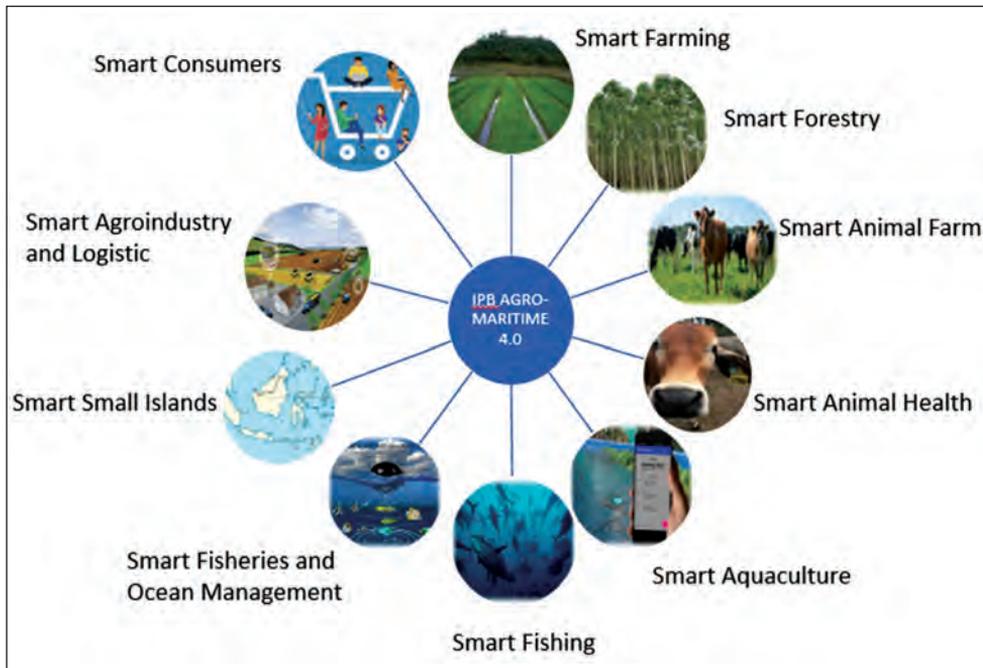
ABSTRAK

Kesejahteraan hewan mulai menjadi isu yang mengemuka dalam perdagangan ternak, termasuk unggas (ayam). Dalam rangka menjamin kesehatan dan kesejahteraan ternak ayam, selain pengontrolan lingkungan kandang, diperlukan juga pemantauan terhadap perilaku ayam. Hal ini untuk mendeteksi lebih awal jika ada ternak yang mengalami gangguan kesehatan atau pun memiliki perilaku agresif yang membahayakan ayam lainnya. Selain itu, pemahaman terhadap perilaku ayam diharapkan dapat meningkatkan efisiensi pemberian pakan yang menempati lebih 66% biaya produksi. Sistem kandang pintar yang ada saat ini fokus pada pengontrolan lingkungan kandang. Untuk itu, perlu dikembangkan sistem identifikasi perilaku ayam yang dapat memberikan notifikasi ke peternak jika terjadi kondisi yang tidak diinginkan serta untuk mengembangkan model pemberian pakan yang efektif. Model pendeteksian pergerakan ayam yang dikembangkan saat ini memiliki nilai MOTP sebesar 60,4%.

Kata kunci: kesejahteraan ternak, otomasi deteksi, pemberian pakan presisi, *multi-object tracking*

A. PENDAHULUAN

Kecukupan gizi adalah salah satu penentu dalam menghasilkan sumber daya manusia yang berkualitas. Sesuai dengan Konsep Pengembangan Penelitian Agro-Maritim 4.0. IPB seperti terlihat pada Gambar 1, salah satu fokus penelitian yang akan dikembangkan oleh IPB adalah sistem cerdas untuk *smart animal farm*. Dengan sistem tersebut, pengelolaan peternakan diharapkan dapat dilakukan dengan lebih efisien untuk meningkatkan produksi dan kualitas hasil produksi. Konsumsi daging ayam ras dan kampung terus meningkat yang berdampak positif pada usaha peternakan unggas

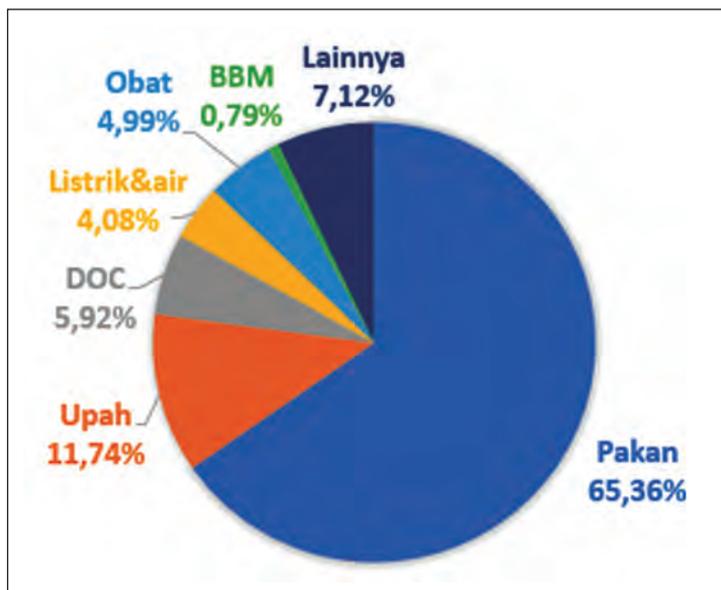


Gambar 1. Konsep Pengembangan Penelitian Agro-Maritime 4.0 [1]

di Indonesia semakin diminati oleh masyarakat. Hal ini ditunjukkan dengan adanya 397 perusahaan ternak unggas yang aktif berproduksi dan memenuhi syarat pada tahun 2020. Pada tahun yang sama, perusahaan ternak tersebut meraup pemasukan dengan total sebesar 15,92 triliun rupiah. Adapun total biaya pengeluaran yang harus dikeluarkan oleh para peternak adalah sebesar 9,08 triliun rupiah dengan pengeluaran terbesar untuk penyediaan pakan sebesar 65,36% [2]. Komposisi pengeluaran selengkapnya seperti terlihat pada Gambar 2. Beberapa permasalahan yang masih harus dibenahi dalam industri peternakan ayam ini di antaranya efisiensi bisnis dan kesejahteraan hewan ternak.

Performa produksi ayam broiler sangat dipengaruhi oleh manajemen pemeliharaannya, misalnya pemberian pakan, minum, dan kepadatan kandang, selain faktor genotipe dan jenis kelamin. Berdasarkan penelitian, perilaku ayam merefleksikan kesejahtraannya, seperti perilaku berjalan (*locomotion*), *dust bathing*, mematok, dan perilaku agresif [3]. Pengamatan perilaku tersebut diharapkan dapat diperoleh informasi terkait efektivitas sebuah sistem pemeliharaan ayam.

Pola peternakan ayam ras pedaging yang cepat dan mengedepankan pertumbuhan fisik yang pesat menyebabkan hewan ternak rentan terhadap masalah kesehatan, seperti kelainan metabolisme *sudden death syndrom* (SDS), kepincangan, dan penurunan aktivitas yang dicurigai menyebabkan kelemahan tungkai [4]. Rahayu dan Yuniati [5] telah melakukan penelitian mengenai pertumbuhan dan perilaku Broiler Strain Ross pada sistem pemeliharaan intensif dan akses *free range*. Pada penelitian tersebut, pengamatan visual terhadap perilaku hewan dilakukan secara manual oleh para peneliti. Konsekuensi dari hal tersebut adalah jumlah objek penelitian yang dapat dicakup dengan menggunakan teknik pengamatan visual secara manual akan



Gambar 2. Struktur Biaya Pemeliharaan Ayam Broiler (Data Diolah dari [2])

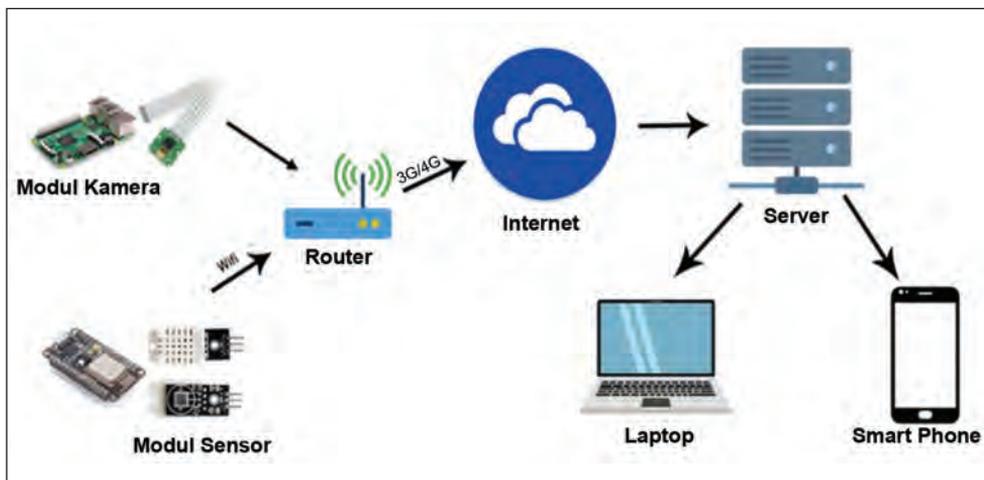
dibatasi oleh jumlah pengamat yang tersedia. Dengan demikian, teknik pengamatan perilaku hewan yang terotomatisasi diperlukan untuk mencapai akurasi yang baik sehingga memperoleh data pengamatan objek dalam jumlah besar.

Teknologi *internet of things* (IoT) yang dilengkapi dengan sensor dan kamera memungkinkan manusia untuk mengumpulkan hasil pengamatan terhadap sebuah objek secara terus-menerus tanpa perlu untuk menghentikan kegiatan lainnya. Metode pengenalan, pendeteksian, dan penelusuran objek memungkinkan untuk dibangunnya sebuah model yang dapat mengidentifikasi perilaku ayam di dalam kandang serta durasi perilaku tersebut dilakukan. Model yang dibangun tersebut dapat diimplementasikan dalam sebuah aplikasi yang dapat digunakan untuk memperoleh informasi dalam bentuk visual (grafik) secara waktu nyata untuk memudahkan pengamatan. Selain itu, data yang terkumpul dapat diolah untuk penggunaan lebih lanjut, seperti menentukan perilaku dominan dalam kurun waktu tertentu atau kondisi tertentu yang dapat diintegrasikan kemudian dengan sistem pemberian dan pencatatan pakan pintar. Di sisi lain, lingkungan kandang dapat dipantau secara terus-menerus melalui sensor yang dipasang di lingkungan kandang. Sensor tersebut dapat berupa sensor pemantau temperatur, kelembapan, maupun kualitas udara. Sebuah penelitian menyatakan bahwa suhu lingkungan merupakan faktor eksternal yang dapat memengaruhi produktivitas dalam pemeliharaan ayam broiler [6].

B. PEMBAHASAN

1. Rancangan Sistem

Skema rancangan keseluruhan dari sistem pemantauan perilaku ayam broiler pada kandang pintar yang dibangun dapat dilihat pada Gambar 3. Setiap modul terdiri dari modul sensor pemantauan lingkungan kandang dan modul kamera untuk merekam aktivitas ayam. Sensor yang digunakan adalah sensor DHT22 untuk



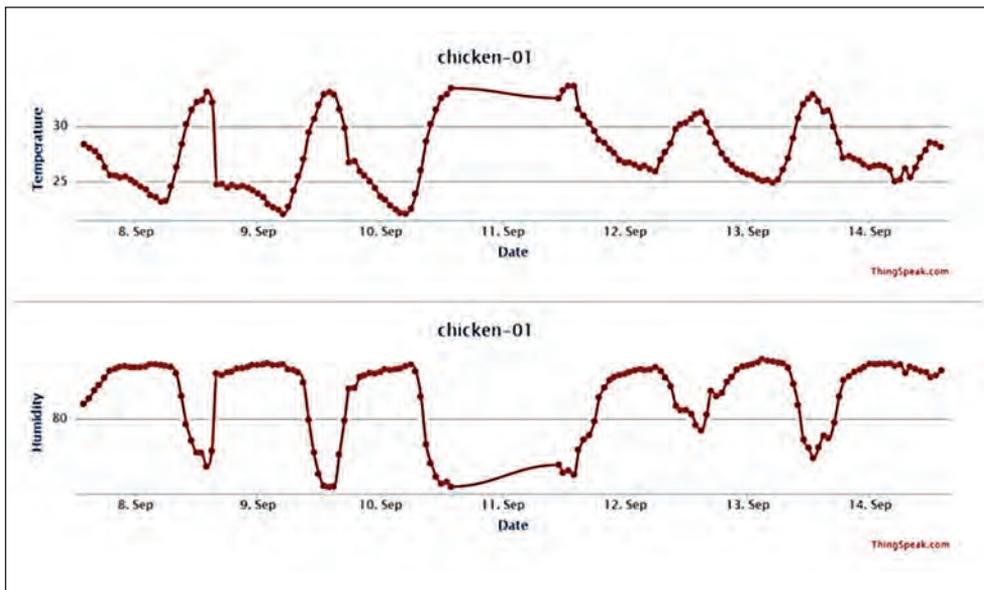
Gambar 3. Arsitektur Sistem Pemantauan Perilaku Ayam Broiler

mengukur kelembapan udara dan temperatur kandang serta sensor MQ135 untuk mengukur kualitas udara. Raspberry Pi Camera 5MP yang dikontrol oleh Raspberry Pi 4 digunakan untuk memantau pergerakan ayam.

Pada rancangan tersebut, modul kamera diperlukan untuk merekam pergerakan ayam serta mengirimkan video hasil perekamannya ke server melalui internet secara kontinu. Dalam server, model deteksi pergerakan ayam yang telah dibangun akan mengidentifikasi jika ada ayam yang memiliki tingkat keaktifan di bawah atau di atas rata-rata pergerakan ayam lainnya berdasarkan durasi pergerakan setiap ayam. Hal ini penting untuk mengetahui perilaku atau tingkah laku ternak selama pemeliharaan karena hal tersebut merupakan salah satu indikator penting kesejahteraan hewan [7].

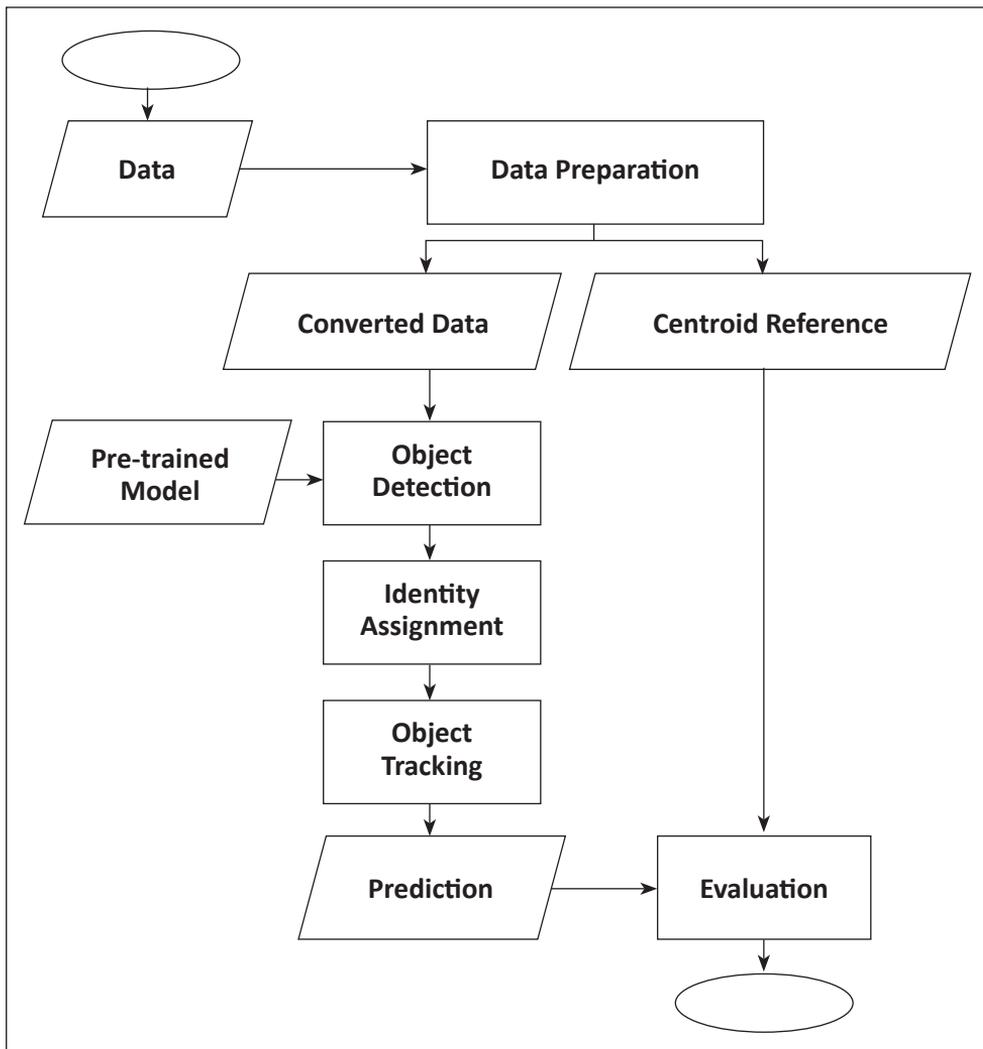
2. Hasil Penelitian

Ayam ras pedaging adalah ayam ras yang dibudidayakan untuk menghasilkan daging dan merupakan peralihan vertebrata (berdarah panas) ke avertebrata (berdarah dingin) [8] dengan pengaturan suhu tubuh dalam batasan yang sesuai karena suhu pemeliharaan yang tinggi dapat mengakibatkan stres [9]. Suhu optimal yang dibutuhkan dalam pemeliharaan ayam broiler berkisar antara 23–24°C, sedangkan kelembapan ideal bagi ayam broiler berkisar antara 50–70% [10]. Untuk kondisi di Indonesia, Pattiselano dan Randa [11] menyatakan kelembapan udara yang direkomendasikan adalah 65–75%. Pengujian sistem pemantauan lingkungan yang dilakukan secara terpisah menunjukkan pentingnya sebuah sistem pemantauan otomatis lingkungan kandang karena perubahan cuaca di Indonesia yang cukup ekstrem [12]. Gambar 4 menampilkan grafik hasil pengamatan temperatur dan kelembapan di kandang dengan perubahan yang cukup ekstrem antarwaktu pengukuran.



Gambar 4. Contoh Hasil Pengamatan Temperatur dan Kelembapan

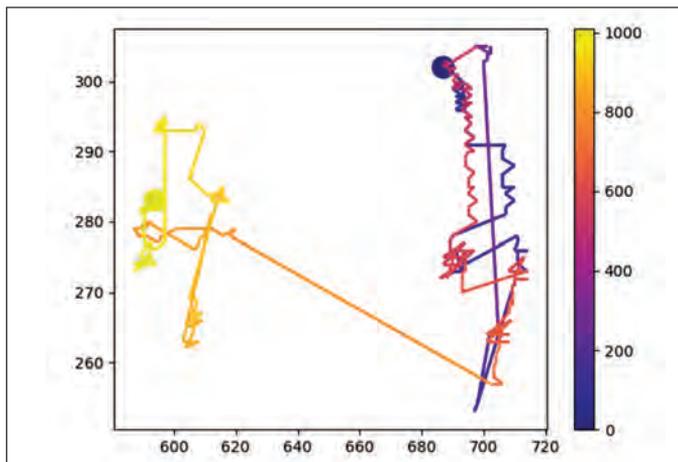
Untuk mendeteksi pergerakan ayam, digunakan algoritma *multi-object tracking* (MOT) yang merupakan algoritma penelusuran banyak objek dalam citra digital dengan cara mendeteksi lokasi banyak objek, menjaga identitas tiap objek, dan membentuk lintasan tiap objek sesuai dengan data input [13]. Pendeteksian objek dilakukan menggunakan *single-shot multibox detection* (SSD). Alur pembangunan model pendeteksian pergerakan ayam broiler ditunjukkan pada Gambar 5, sedangkan contoh hasil perekaman menggunakan Raspberry Pi Camera 5MP ditunjukkan pada Gambar 6. Hasil pendeteksian salah satu objek ayam dapat divisualisasikan dengan melakukan *ploting* pergerakan seperti pada Gambar 7 yang menunjukkan lamanya ayam tersebut bergerak dalam durasi video yang diujikan, yaitu 53 detik [14].



Gambar 5. Diagram Alir Tahapan Pembangunan Model Pendeteksian Pergerakan Ayam Broiler



Gambar 6. Contoh Hasil Perekaman



Gambar 7. Contoh Plot Pergerakan Objek Ayam yang Terdeteksi

Pengukuran kinerja algoritma dilakukan dengan menghitung nilai *multi-object tracking precision* (MOTP) menggunakan persamaan berikut ini [15].

$$MOTP = \frac{\sum_{i,t} \square d_t^i}{\sum_t \square c_t}$$

Keterangan:

d_t^i : eror (*miss*)

t : waktu

i : *frame*

c_t : jumlah *match* pada waktu (t)

Data dinyatakan cocok (*match*) ketika nilai *delta_x* kurang dari atau sama dengan 118 piksel yang merupakan rata-rata lebar objek ayam pada video yang digunakan dan nilai *delta_y* kurang dari atau sama dengan 95 piksel yang merupakan rata-rata tinggi objek ayam pada video ini. Nilai *threshold* dapat diubah secara proporsional dengan ukuran video. Variabel *delta_x* menyatakan jarak antarkoordinat *centroid* terdeteksi dan acuan pada sumbu *x*, sedangkan *delta_y* adalah jarak antarkoordinat *centroid* terdeteksi dan acuan pada sumbu *y*. Data yang tidak memenuhi ketentuan ini dinyatakan sebagai eror. Data masuk ke dalam kategori *false positive* ketika objek terdeteksi, tetapi memiliki identitas yang salah dan masuk ke dalam kategori *mismatch* ketika identitasnya tertukar dengan identitas objek yang memiliki jalur bersinggungan dengan objek tersebut [15]. Nilai MOTP yang dihasilkan dalam penelitian ini sebesar 60,4%.

C. KESIMPULAN

Nilai presisi hasil pendeteksian pergerakan ayam menggunakan algoritme MOT dalam penelitian ini adalah sebesar 60,4%. Penelitian selanjutnya yang akan dilakukan dalam waktu dekat berfokus pada peningkatan nilai presisi dengan menambahkan informasi *bounding box* acuan, seperti identitas objek, warna, atau perilaku, untuk mengurangi pertukaran identitas antarobjek yang bersimpangan. Analisis perilaku ternak ayam dapat dilakukan dengan pemberian label jenis perilaku ayam yang harus didampingi oleh ahli. Selanjutnya, model deteksi pergerakan ayam ini dapat diterapkan pada data video hasil perekaman yang kontinu atau dalam durasi lebih lama untuk memantau tingkat aktivitas ayam. Hal penting ini bertujuan jika ada ayam dengan tingkat aktivitas yang tidak normal agar dapat segera terdeteksi.

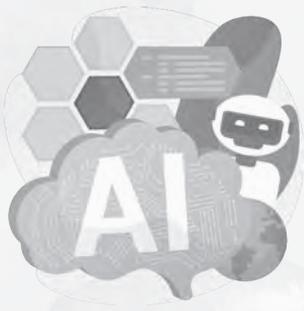
UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini didanai oleh Kementerian Riset dan Teknologi/Badan Riset dan Inovasi Nasional melalui skema Penelitian Dasar Unggulan Perguruan Tinggi (PDUPT) dengan nomor 1906 / IT3.L1/PN/2021.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] IPB. AGRO-MARITIM 4.0: Kontribusi Pemikiran IPB untuk Indonesia.2018.
- [2] BPS. *Statistik Perusahaan Peternakan Unggas 2020*. Direktorat Statistik Peternakan, Perikanan dan Kehutanan BPS. 2020.
- [3] L. S. Costa, D. F. Pereira, L.G.F. Bueno, dan H. Pandorfi, "Some aspects of chicken behavior and welfare," *Braz. J. Poult. Sci.*, vol. 14, no. 3, pp. 159–232, 2012.
- [4] W. Bessei, "Welfare of broilers: A review," *Worlds Poult Sci J.*, vol. 62, no. 3, pp. 455–466, 2006, doi:10.1079/WPS2005108
- [5] I. H. S. Rahayu dan S. P. K. H Yuniati, "Pertumbuhan dan perilaku broiler strain ross pada sistem pemeliharaan intensif dan akses free range," Laporan Penelitian Fundamental Bidang Ilmu, 2018.
- [6] A. A. Kasim, R. Maulana, dan G. E. Setyawan, "Implementasi otomasi kandang dalam rangka meminimalisir heat stress pada ayam broiler dengan metode fuzzy Sugeno," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 3, no. 2, pp. 2548–964X, 2019.
- [7] I. Zulkifli. 2009, "Broiler chicken welfare: what do they want and what do we want?" dalam *The 1st International Seminar on Animal Industry*, K. G. Wiryawan dkk., Eds. 2009, pp. 41–50.
- [8] H. S. Iman Rahayu, T. Sudrayani, dan H. Santosa, *Panduan Lengkap Ayam*. Jakarta: Penebar Swadaya, 2013.
- [9] M. H. Tamzil, "Stres panas pada unggas: metabolisme, akibat dan upaya penanggulangannya," *Wartazoa*, vol. 24, no. 2, pp. 57–66, 2014.
- [10] Z. Y. Zhang dkk., "Effects of constant and cyclic heat stress on muscle metabolism and meat quality of broiler breast fillet and thigh meat," *Poultry Science*, vol. 91, no. 11, 2931–2937, 2012.
- [11] F. Pattiselano dan S. Y. Randa, "Efek frekuensi penaburan zeolit pada alas litter terhadap kualitas lingkungan kandang ayam pedaging," *Animal Production*, vol. 7, no. 2, pp. 89–94, 2005.
- [12] W. Wulandari, S. Wahjuni, W. M. Nouval, dan A. R. Akbar, "Development of automatic weather station monitoring system for broiler chicken coop," dalam *The 3rd IEEE Bombay Section Signature Conference (IBSSC)*. Gwalior, India, 2021.
- [13] Y. Xiang, A. Alahi, dan S. Savarese. "Learning to track: Online multi-object tracking by decision making," dalam *IEEE International Conference on Computer Vision*, Santiago, Chile, pp. 4705–4713, 2015.
- [14] J. Khairunissa, S. Wahjuni, I. R. H. Soesanto, dan W. Wulandari, "Detecting poultry movement for poultry behavioral analysis using the multi-object tracking (MOT) algorithm," dalam *Proceeding of The 8th International Conference on Computer and Communication Engineering (ICCCCE)*, Kuala Lumpur, Malaysia, 2021, pp. 265–268. doi: 10.1109/ICCCCE50029.2021.9467144, 2021.
- [15] K. Bernardin dan R. Stiefelagen, "Evaluating Multiple Object Tracking Performance: The CLEAR MOT Metrics," *EURASIP Journal on Image and Video Processing*, vol. 2008, no. 1, pp. 1–10, 2008.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 15

TRANSFORMASI PERTANIAN DENGAN KECERDASAN ARTIFISIAL

Didi Widjanarko¹, Bayu Dwi Apri Nugroho², & Harry Kusuma Aliwarga³

¹PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa

²Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem, Fakultas Teknologi Pertanian, UGM

³PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa dan UMG Idealab

ABSTRAK

Sebagai negara berkembang dengan revolusi industri 4.0, pertanian menjadi sektor terpenting di Indonesia. Teknologi di hulu atau proses budi daya akan menjadi titik paling kritis di sektor pertanian. Masyarakat diharapkan lebih kreatif dan efisien dalam kegiatan bertani ketika populasi manusia terus meningkat dan lahan pertanian semakin berkurang serta perlu mencari solusi penggunaan lahan sempit untuk menghasilkan produksi yang optimal. Namun, ada beberapa kendala dalam proses budi daya yang dialami oleh petani, seperti cuaca yang tidak menentu, kemarau berkepanjangan yang menyebabkan kekurangan ketersediaan air hingga curah hujan terlalu tinggi yang dapat mengakibatkan banjir. Kadang petani sendiri tidak tahu harus melakukan apa atau justru salah dalam mengambil tindakan karena kurangnya informasi dan kesesuaian data yang dapat membantu mereka. Dengan bantuan kecerdasan artifisial, kini petani dapat menganalisis berbagai hal secara langsung, seperti kondisi cuaca, penggunaan air, kondisi tanah, gejala hama, dan penyakit, yang dikumpulkan dari pertanian mereka untuk menginformasikan keputusan mereka dengan lebih baik. Kendala lain yang ditemukan dalam proses budi daya adalah organisme pengganggu tanaman (OPT). Tanpa pemahaman mengenai apa yang menyerang, pengelolaan OPT menjadi tidak efektif. MSMB dengan RiTx Bertani hadir mengembangkan alat pemantauan lahan sensor cuaca dan tanah serta aplikasi Android. RiTx Bertani menyediakan informasi hasil pemantauan kondisi lahan dan rekomendasi dalam proses Bertani, seperti peringatan dini kemunculan hama penyakit dan saran tindakan ketika terjadi perubahan kondisi cuaca. Selain itu, aplikasi tersebut juga mengembangkan teknologi pengenalan gambar

¹ **Didi Widjanarko**, CTO PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa. Jl. Plumbon No. 329, Modalan, Banguntapan, Kecamatan Banguntapan, Kabupaten Bantul, Daerah Istimewa Yogyakarta 55198. Alamat posel: didiwidjanarko@msmbindonesia.com

² **Bayu Dwi Apri Nugroho**, *Co-founder* dan dosen di Departemen Teknik Pertanian dan Biosistem Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gadjah Mada. Alamat posel: bayu.tep@ugm.ac.id

³ **Harry Kusuma Aliwarga**, *Founder* PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa dan UMG Idealab. Alamat posel: kiwi.aliwarga@umgroups.com

D. Widjanarko, B. D. A. Nugroho, and H. K. Aliwarga
PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa, e-mail: didiwidjanarko@msmbindonesia.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
D. Widjanarko, B. D. A. Nugroho, and H. K. Aliwarga, "Transformasi pertanian dengan kecerdasan artifisial," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 15, pp. 165-178, doi: 10.55981/brin.668.c551

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

menggunakan kecerdasan artifisial untuk mempermudah petani mengidentifikasi masalah OPT di lahan berdasarkan gejala yang muncul. Para petani mengambil foto dari tanaman yang terserang hama dan mendapatkan informasi tentang hama serta cara mengatasi hama yang menyerang. Penggunaan aplikasi ini diharapkan dapat menghindari kegagalan panen dan produktivitas hasil stabil atau dapat ditingkatkan sehingga dapat membantu petani di masa depan dan kesejahteraan petani dapat diberikan.

Kata Kunci: kecerdasan artifisial, transformasi, pertanian,

A. PENDAHULUAN

Pertanian adalah sektor penting untuk Indonesia karena selain memberikan pekerjaan bagi bagian besar populasi Indonesia, sektor ini juga menyediakan pangan dan menjadi komoditas ekspor. Tanaman hortikultura merupakan salah satu komoditas yang dikonsumsi dalam jumlah besar oleh masyarakat Indonesia dan memiliki nilai ekonomis yang cukup besar. Teknologi di hulu atau proses budi daya akan menjadi titik paling kritis di sektor pertanian. Masyarakat perlu lebih kreatif dan efisien dalam kegiatan bertani ketika populasi manusia terus meningkat dan lahan pertanian semakin berkurang ketika perlu mencari solusi penggunaan lahan sempit untuk menghasilkan produksi yang optimal. Namun, ada beberapa kendala dalam proses budi daya yang dialami oleh petani, seperti cuaca yang tidak menentu, kemarau berkepanjangan yang menyebabkan kekurangan ketersediaan air hingga curah hujan terlalu tinggi yang dapat mengakibatkan banjir. Kadang petani sendiri tidak tahu harus melakukan apa atau justru salah dalam mengambil tindakan. Salah satu kendala utama yang dihadapi petani hortikultura adalah serangan organisme pengganggu tanaman (OPT). Perubahan iklim yang nyata juga memperparah sebaran dan serangan OPT pada tanaman hortikultura. Langkah pertama penanganan serangan OPT adalah mengidentifikasi dengan tepat penyebab gejala pada tanaman yang berhubungan dengan cara hidup dan pengelolaan penyebab gejala serangan. Tanpa pemahaman ini, pengelolaan OPT yang tidak tepat dapat menyebabkan boros biaya, tenaga, dan tentunya merusak alam karena preferensi dalam menggunakan bahan kimia yang tidak terukur. Sejak dicanangkan oleh Kementerian Komunikasi dan Informasi Republik Indonesia, pekerjaan berkaitan dengan industri 4.0 banyak ditemui di Indonesia. Penggunaan *internet of things* (IoT) telah merambat ke dalam berbagai bidang termasuk pertanian, seperti untuk mencatat variabel cuaca di lahan atau untuk diseminasi informasi kepada petani. RiTx Bertani menyediakan informasi hasil pemantauan kondisi lahan serta rekomendasi dalam proses Bertani,

seperti peringatan dini kemunculan hama penyakit dan saran tindakan ketika terjadi perubahan kondisi cuaca. Selain itu, aplikasi tersebut juga mengembangkan algoritma *image recognition* untuk mengidentifikasi gejala hama dan penyakit, sekaligus memberikan rekomendasi pencegahan dan penanganannya.

B. METODE PENELITIAN

1. Pengumpulan Basis Data (*Database*) untuk Peringatan Dini Hama dan Penyakit

Organisme pengganggu tanaman (OPT) merupakan salah satu faktor pembatas dalam produksi tanaman hortikultura. Dewasa ini, perubahan iklim juga memengaruhi keparahan OPT dengan membantu persebaran ke wilayah baru dan mempercepat perkembangan OPT sehingga memperparah serangan dan meningkatkan kehilangan hasil. Untuk mengelola kerusakan yang disebabkan oleh OPT, pengelolaannya memerlukan pendekatan yang menyeluruh dan tertuang dalam pengelolaan hama terpadu (PHT) [1]. Langkah awal dari PHT adalah dengan pemantauan populasi OPT dan mampu untuk mengidentifikasi OPT dengan tepat (Thorburn, 2015). Akan tetapi, pemantauan di lapangan membutuhkan waktu dan tenaga yang tidak sedikit, terutama untuk lahan yang luas. Selain itu, mengidentifikasi penyebab gejala serangan memerlukan keahlian dan pengalaman yang terkadang tidak dimiliki semua orang [3]. Peningkatan kebutuhan pangan dan mulai merambahnya *home gardening* semakin menunjukkan pentingnya kemampuan mengidentifikasi OPT secara tepat dan cepat. Untuk itu diperlukan teknologi peringatan dini yang dapat membantu petani dalam proses mitigasi serangan hama dan penyakit.

Adapun basis data yang didapatkan dari berbagai macam sumber literasi jurnal dan akan disusun adalah (a) nama tanaman, (b) nama hama dan penyakit, (c) kelembapan udara; (d) umur tanaman; (e) suhu udara, (f) titik serangan, (g) pencegahan, (h) pengendalian, serta (i) notifikasi.

2. Pemasangan Alat *Monitoring*

Penelitian melakukan pemasangan alat *monitoring* berupa *RiTx soil and weather sensor* untuk mendapatkan data kondisi lahan pertanian. Alat tersebut akan mengumpulkan data kondisi cuaca, seperti curah hujan, suhu udara, kelembapan udara, tekanan atmosfer, kecepatan angin, dan arah mata angin, serta kondisi tanah, seperti kelembapan tanah, suhu tanah, nilai *electrical conductivity* (EC) tanah, dan pH tanah.



Gambar 1. *RiTx Soil and Weather Sensor*

3. Pendeteksian Hama dan Penyakit dengan Kecerdasan Buatan

Pertanian adalah satu sektor yang diharapkan terpengaruh oleh adanya teknologi Internet of Things dan kecerdasan buatan. Dalam beberapa tahun terakhir, beberapa penelitian telah membuat sistem *image recognition* untuk serangga pada padi [4], pada tomat [5], singkong, dan pisang [6]. Selain itu, teknologi ini telah dikembangkan di berbagai negara, seperti yang dilaporkan oleh Cheng dkk. [7] di Tiongkok dan Bhadane dkk. [8]. Akan tetapi, banyak penelitian dalam bidang menggunakan foto yang berasal dari foto di laboratorium yang kurang menggambarkan keadaan nyata di lahan karena jenis foto yang dikirimkan memiliki spesifikasi beragam, latar belakang yang bermacam, dan sudut yang sangat bervariasi [9]. Selain itu, data pembangunan model menggunakan *deep learning* memerlukan banyak data yang sangat beragam. Secara umum, data berkualitas dalam jumlah banyak sulit untuk didapatkan, terlebih untuk tanaman khas Indonesia, sehingga sistem ini memiliki tantangan untuk mengumpulkan data tersebut.

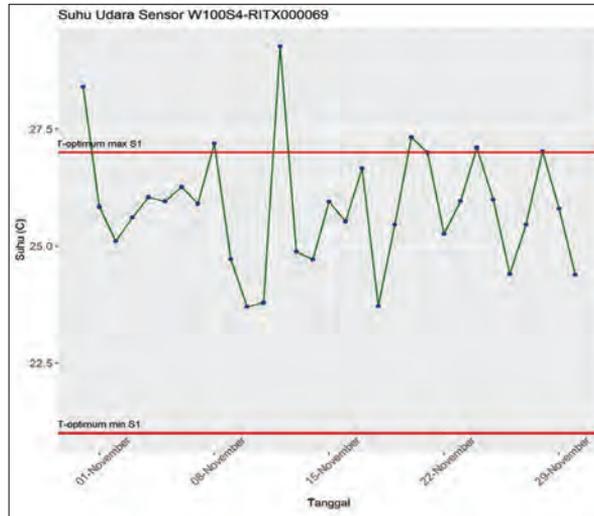
Banyak arsitektur *deep learning* yang telah digunakan untuk membangun algoritma *image recognition*. Beberapa arsitektur yang telah digunakan adalah *convolutional neural networks* [10], *support vector machine*, dan *artificial neural networks* [11]. Setiap arsitektur memiliki kemampuan yang berbeda sehingga dalam penentuan arsitektur yang tepat untuk *dataset* memang diperlukan proses. Oleh karena itu, melalui penelitian ini akan diuji arsitektur yang paling tepat untuk *dataset* yang diambil dari lapangan.

Dalam pembuatan alat atau aplikasi untuk mendeteksi hama dan penyakit menggunakan foto atau gambar, tahapan yang diperlukan adalah (a) pengumpulan data foto, (b) pengidentifikasian gejala, (c) pelabelan (*tagging*) data, (d) pembuatan model algoritma, dan (e) pengetesan dan pengintegrasian dengan aplikasi seluler (*mobile application*) RiTx Bertani.

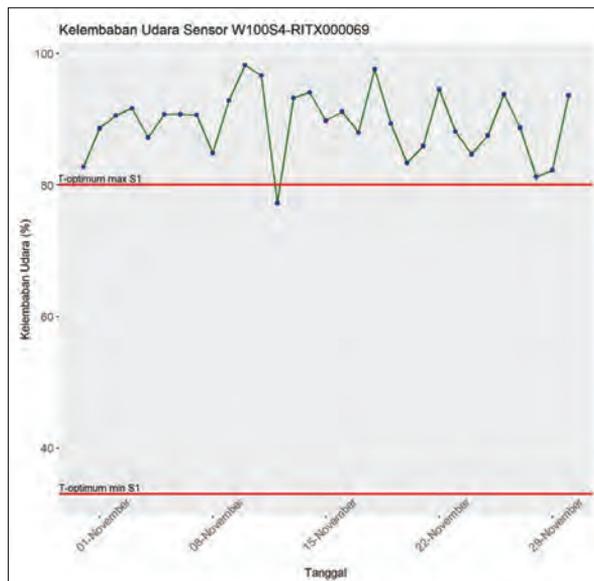
C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Peringatan Dini Hama dan Penyakit

Data sekunder berupa nama tanaman, nama hama dan penyakit, kelembapan udara, umur tanaman, suhu udara, titik serangan, pencegahan, dan pengendalian didapatkan dari literasi jurnal, baik dalam maupun luar negeri. Data tersebut digunakan sebagai *knowledge-based* dalam pembuatan deteksi peringatan dini hama dan penyakit untuk kemudian dicocokkan dengan data aktual RiTx *soil and weather sensor*.



Gambar 2. Suhu Udara RiTx Soil and Weather Sensor ID RITX000069



Gambar 3. Kelembaban Udara RiTx Soil and Weather Sensor ID RITX000069

RiTx *soil and weather sensor* yang dipasang di lahan akan memonitor kondisi di atas permukaan tanah, seperti curah hujan, suhu udara, kelembapan udara, tekanan atmosfer, kecepatan angin, arah mata angin, serta kondisi tanah (kelembapan, suhu, nilai *electrical conductivity* (EC), dan pH). Data diambil setiap interval sepuluh menit dan kemudian diolah menggunakan aplikasi R Studio. Parameter yang digunakan dalam pendeteksian kemungkinan serangan hama dan penyakit, yaitu kelembapan dan suhu udara. Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan grafik suhu dan kelembapan udara selama bulan November.

Hasil bacaan sensor cuaca RITX000069 menunjukkan bahwa suhu udara tertinggi 38,33°C, suhu udara terendah 19,44°C, serta rata-rata suhu udara 28,10°C. Rata-rata persebaran suhu berada di dalam batas atas dan batas bawah suhu optimum, yaitu 21°C–27°C. Suhu rata-rata harian pada bulan November sudah sesuai untuk pertanian.

Hasil bacaan sensor cuaca RITX000069 menunjukkan bahwa kelembapan udara berkisar antara 35–99% dengan rata-rata 89,27% dan rata-rata di atas batas atas optimum, yaitu 80%. Wilayah yang dipasang RiTx *soil and weather sensor* ID RITX000069 memiliki kelembapan terlalu tinggi dan disarankan mengolah lahan menggunakan jarak tanam yang lebar pada musim tanam selanjutnya.

Faktor iklim, terutama suhu, secara langsung memengaruhi kelangsungan hidup, perkembangan, reproduksi, dan pergerakan individu serangga yang memengaruhi potensi distribusi dan kelimpahan populasi [12]. Gavin Ash memiliki konsep segitiga penyakit untuk menjelaskan faktor yang memengaruhi penyakit tanaman, di antaranya inang—patogen—lingkungan. Ia mempertegas bahwa, dari segi lingkungan, temperatur memiliki pengaruh terpenting terhadap perkembangan hama dan transmisi virus tanaman yang dapat disebabkan oleh keberadaan *mobile vector* yang mana sangat dipengaruhi oleh temperatur [13].

Penyakit pada tanaman yang disebabkan oleh cendawan dan bakteri membutuhkan kondisi temperatur dan kelembapan tertentu untuk hidup dan berkembang pada inang. Gavin juga menjelaskan kondisi temperatur optimum patogen penyakit umumnya sama dengan kondisi temperatur optimum tanaman inang, tetapi dalam beberapa kasus patogen penyakit tumbuh lebih cepat dibanding tanaman inang [13].

Kelembapan udara sangat memengaruhi pertumbuhan dan perkembangbiakan patogen penyakit tanaman, terutama jamur yang berkembang biak melalui spora. Segers dkk. melaporkan bahwa jamur memiliki kemampuan jamur untuk mengatasi perubahan kelembapan sama pentingnya dengan kemampuan tumbuh pada media rendah air [14]. Berdasarkan laporan tersebut, dapat disimpulkan bahwa kelembapan sangat penting bagi keberlangsungan jamur

Suhu dan kelembapan udara sebagai parameter utama dari iklim memiliki pengaruh secara langsung maupun tidak langsung terhadap pertumbuhan organisme pengganggu tanaman (OPT). Pada serangga, suhu dan kelembapan udara secara langsung berperan dalam metabolisme tubuh serta perkembangan dan pertumbuhan serangga. Sementara itu, suhu dan kelembapan udara dapat mendukung kualitas dan ketersediaan pangan bagi serangga secara tidak langsung [15].

Lingkungan yang sesuai tersebut dapat mendukung perkembangan OPT di lahan. Dampak ikutan yang terjadi adalah perubahan dalam frekuensi pengaplikasian pestisida. Dampak selanjutnya adalah munculnya resistensi hama dan penyakit [16]. Contoh kasus yang terjadi adalah pada tanaman kentang, jamur *Phytophthora infestans* mulai memunculkan resistensi pada kelembapan udara 62% dan temperatur optimum 28°C. Berdasarkan rincian pembahasan di atas, data aktual suhu dan kelembapan udara dapat dijadikan sebagai dasar notifikasi potensi kemunculan OPT.

Hasil bacaan RiTx *soil and weather sensor* pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan data rata-rata suhu udara dan kelembapan udara masing-masing adalah 28,10°C dan 89,27%. Berdasarkan data sensor, potensi kemunculan OPT pada tanaman jagung pada fase vegetatif adalah bulai, hawar daun, dan busuk pelepah, sedangkan pada fase generatif adalah busuk tongkol dan penggerek tongkol.



Gambar 4 Penyakit bulai menyerang tanaman jagung.

Penyakit bulai memiliki pertumbuhan yang optimal pada suhu 25–30°C dan kelembapan udara 80–100%. Kombinasi suhu dan kelembapan udara yang sesuai mendukung perkecambahan konidia jamur *Peronosclerospora maydis* penyebab bulai [17]. Sementara itu, penyakit busuk tongkol optimal berkembang pada suhu 15–35°C dan kelembapan udara 75–100%. Kondisi suhu dan kelembapan udara tersebut dapat mendukung perkembangan karpus jamur penyebab busuk tongkol, *Fusarium graminearum*, sehingga dapat memunculkan potensi serangan OPT pada tanaman jagung [18].



Gambar 5. Penyakit busuk tongkol menyerang tanaman jagung.

Pada tanaman padi, kondisi suhu dan kelembapan udara yang ditunjukkan oleh RiTx *soil and weather sensor* sesuai untuk pertumbuhan wereng batang coklat. Hama tersebut optimal tumbuh pada suhu 10–32°C dengan kelembapan udara 73–100%. Kondisi suhu dan kelembapan udara yang sesuai akan mendukung perkembangan dan tingkat kelangsungan hidup nimfa dari wereng batang coklat. Kondisi lingkungan yang kurang sesuai sendiri akan memperkecil potensi perkembangan nimfa menjadi wereng batang coklat dewasa [19].



Gambar 6. Hama wereng menyerang tanaman padi.

Pada tanaman cabai, perlu diwaspadai munculnya penyakit layu fusarium yang disebabkan oleh jamur *Fusarium oxysporum*. Perkembangan konidia jamur optimal pada suhu 25–30°C dengan kelembapan udara 80–100% yang mendukung persebaran konidia jamur penyebab layu fusarium ke tanaman yang lainnya [20].



Gambar 7. Penyakit layu fusarium menyerang tanaman cabai.

Salah satu penyakit yang menjadi momok tanaman bawang merah adalah bercak ungu atau yang disebut trotol. Perkembangan fungi *Alternaria porri* optimal terjadi pada suhu 15–40°C dengan kelembapan di atas 90% [21]. Kondisi tersebut mendukung pertumbuhan konidia fungi *Alternaria porri* sehingga berpotensi memunculkan gejala penyakit pada tanaman bawang merah.



Gambar 8. Penyakit bercak ungu menyerang tanaman bawang.

Data dari sensor yang terekam sesuai dengan *range* nilai kelembapan, suhu dan umur tanaman secara otomatis akan mengirimkan notifikasi di aplikasi RiTx Bertani seperti pada Gambar 9 berikut.



Gambar 9. Notifikasi Potensi Serangan Hama Penyakit pada Aplikasi RiTx Bertani

2. Deteksi Hama dan Penyakit dengan Kecerdasan Buatan

a. Pengumpulan Data Foto

Pembuatan algoritma *image recognition* untuk hama dan penyakit pada tanaman membutuhkan variasi foto gejala, seperti sudut foto, bentuk gejala, atau warna gejala, yang akan membuat algoritma semakin kaya karena telah dilatih dengan sumber data yang bervariasi.

b. Pengidentifikasi Gejala

Foto yang ditemukan akan disortir berdasarkan kemiripan gejala, kemudian diidentifikasi penyebab gejalanya melalui perbandingan literatur atau mengajukan pertanyaan kepada ahli. Informasi yang tepat mengenai penyebab gejala akan membantu memastikan algoritma dapat bekerja dengan tepat.

c. Pelabelan Data

Setelah menentukan penyebab gejala pada tanaman, langkah berikutnya adalah memberi label (*tagging*) pada data yang merupakan tahapan penting karena data ini akan digunakan untuk melatih algoritma.

d. Pembuatan Algoritma

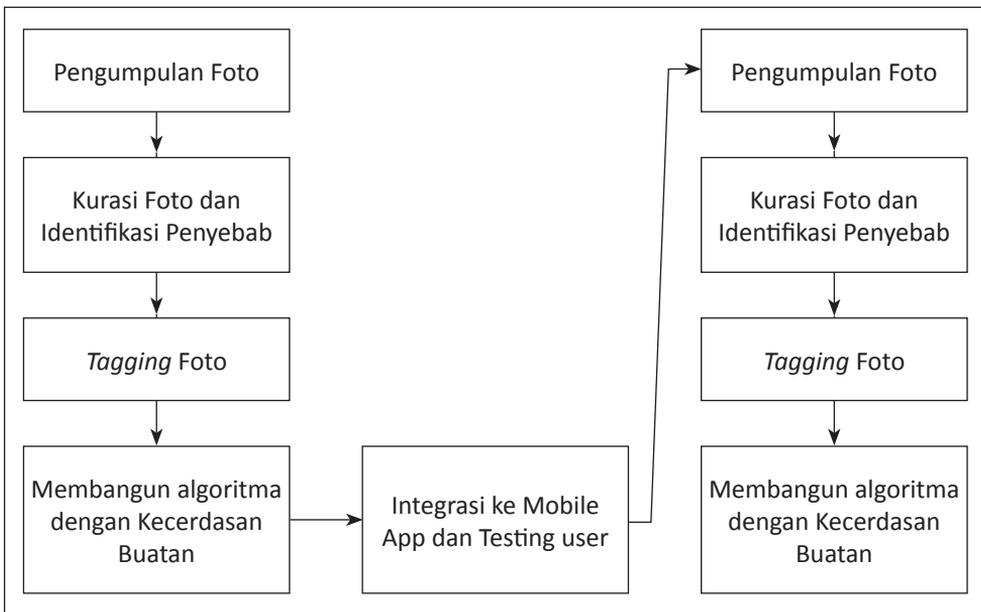
Data yang telah dikumpulkan akan dianalisis menggunakan kecerdasan buatan. Arsitektur yang digunakan untuk penelitian ini adalah Support Vector Machine (SVM).

e. Pengintegrasian Data dengan Aplikasi Seluler

Algoritma yang telah dihasilkan akan diujikan pada aplikasi seluler untuk mendapatkan balikan (*feedback*) selain mengujikan pada *data testing*.

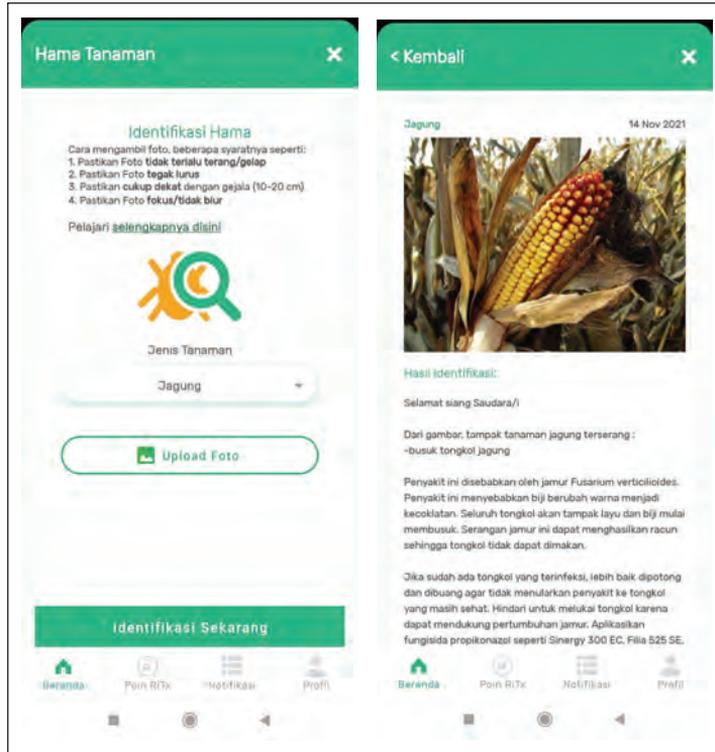
f. Evaluasi dan Pengembangan Lanjut Algoritma

Hasil penelitian akan dievaluasi mengenai jenis data yang masuk atau hal lain, seperti jenis foto yang masuk, dan akan dilakukan pencarian foto lanjutan atau perbaikan pada sistem algoritmanya.



Gambar 10. Alur Penelitian Deteksi Hama dan Penyakit

Setelah pengintegrasian dengan aplikasi RiTx Bertani, pengguna dapat menggunakan fitur identifikasi hama dan penyakit sesuai dengan jenis komoditasnya (Gambar 11). Salah satu fitur pengidentifikasian hama dan penyakit di aplikasi RiTx Bertani pada Gambar 11 menunjukkan halaman pengambilan data setelah identifikasi dan hasil rekomendasinya.



Gambar 11. Tangkapan Layar Penggunaan Aplikasi RiTx Bertani untuk Komoditas Jagung

D. KESIMPULAN

Penelitian ini telah berhasil memberi gambaran integrasi antara alat *monitoring* RiTx *soil and weather sensor* yang berfungsi mengumpulkan data *realtime* sesuai kondisi cuaca dan tanah di lapangan serta aplikasi RiTx Bertani yang dapat diakses oleh petani. Petani akan mendapatkan keuntungan berupa informasi lebih cepat mengenai kondisi lahan sehingga akan membantu penanganan yang lebih tepat. Pengembangan aplikasi untuk deteksi hama dan penyakit menggunakan kecerdasan buatan mempunyai tantangan yang cukup banyak, antara lain basis data foto yang variatif dan *knowledge base* dari agronomis dalam masih dalam pelabelan agar dapat memberikan identifikasi yang lebih akurat. Penggunaan aplikasi ini diharapkan dapat menghindari kegagalan panen serta menstabilkan atau meningkatkan produktivitas hasil yang dapat membantu petani di masa depan sehingga kesejahteraan petani dapat diberikan.

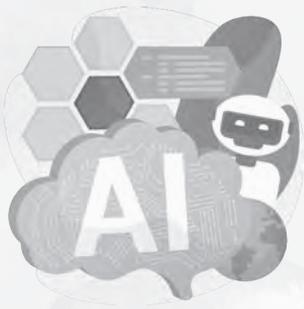
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada PT Mitra Sejahtera Membangun Bangsa atas dukungan pendanaan penelitian. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada Putra Andika, Yovi Avianto, Lingga Rahmawati, Fitrianoor Setyaningsih, dan Rifqi Aziz Al Wakidi, serta semua pihak yang telah membantu pelaksanaan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] B. P. Resosudarmo, "Implementing a national environment policy: Understanding the 'succes' of the 1989-1999 integrated pest management programme in Indonesia," *Singapore Journal of Tropical Geography*, vol. 3, pp. 365–380, 2012, doi:10.1111/sjtg.12006
- [2] Thorburn (2015)
- [3] L. Deng, Y. Wang, Z. Han, R. Yu, "Research on insect pest image detection and recognition base on bio-inspired methods," *Biosystem Engineering*, vol. 169, pp. 139–148, 2018, doi: <https://doi.org/10.1016/j.biosystemseng.2018.02.008>
- [4] J. L. Miranda, B. D. Gerardo, B. T. Tanguilig III, "Pest detection and extraction using image processing techniques," *International Journal of Computer and Communication Engineering*, vol. 3, no. 3, pp. 189–192, 2014.
- [5] J. Liu dan X. Wang, "Tomato disease and pest detection based on improved Yolo V3 convolutional neural network," *Frontiers in Plant Science*, vol. 11, p. 898, 2020.
- [6] M. G. Selvaraj, A. Vergara, H. Ruiz, N. Safari, S. Elayabalan, W. Ocimati, dan G. Blomme, "AI-powered banana disease and pest detection," *Plant Methods*, vol. 15, p. 92, 2019.
- [7] X. Cheng, Y. Zhang, Y. Chen, Y. Wu, dan Y. Yue, "Pest identification via deep residual learning in complex background," *Computer and Electronics in Agriculture*, vol. 141, pp. 351–356, 2017.
- [8] G. Bhadane, S. Sharma, dan V. B. Nerkar, "Early pest identification in agriculture crops using image processign technique," *International Journal of Electrical Electronics and Computer Engineering*, vol. 2, pp. 72–82, 2013.
- [9] O. Lopez, M. M. Rach, H. Migallon, M. P. Malumbres, A. Bonastre, dan J. J. Serrano. 2012. *Sensors* 12: 15801-15819.
- [10] W. Ding dan G. Taylor, "Automatic moth detection from trap images for pest management," *Computer and Electronics in Agriculture*, vol. 123, pp. 17–28, 2016.
- [11] L. Liu, R. Wang, C. Xie, P. Yang, F. Wang, S. Sudirman, dan W. Liu, "PestNet: An end-to-end deep learning approach for large-scale multi-class pest detection and classification," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 45301–45312, 2019.
- [12] M. E. Cammell dan J. D. Knight, *Effects of Climatic Change on the Population Dynamics of Crop Pests*. Cambridge: Academic Press Limited, 1992.
- [13] G. Ash, *Pest and Disease Management*. Melbourne: Oxford University Press, 2002.
- [14] F. J. J. Segers, K. A. van Laarhoven. H. P. Huinink. O. C. G. Adan., H. A. B. Wosten, J. Dijksterhuis, "The indoor fungus *cladosporium halotolerans* survives humidity dynamics markedly better than *Aspergillus niger* and *Penicillium rubens* despite less growth at lowered steady-state water activity," *America Assosiation of Microbiology*, vol. 82, no. 17, pp. 5089–5098, 2016.

- [15] T. Jaworski dan J. Hilszczanski, "The effect of temperature and humidity changes on insects development and their impact on forest ecosystems in the context of expected climate change," *Forest Research Papers*, vol. 74, no. 4, pp. 345–355, 2013.
- [16] R. D. Magarey, T. B. Sutton, dan C. L. Thaye, "A simple generic infection model for foliar fungal plant pathogens," *Ecology and Epidemiology*, vol. 95, no. 1, pp. 92–100, 2005.
- [17] U. S. Rustiani, M. S. Sinaga, S. H. Hidayat, dan S. Wiyono, "Ecological characteristic of *Peronosclerospora maydis* in Java, Indonesia," *International Journal of Sciences: Basic and Applied Research*, vol. 19, no. 1, pp. 159–167, 2015.
- [18] R. Manstretta dan V. Rossi, "Effects of temperature and moisture on development of *Fusarium graminearum* perithecia in maize stalk residues," *Applied and Environmental Microbiology*, vol. 82, no. 1, pp. 184–191, 2016.
- [19] M. Sriniva, N. R. Gopalavarma, R. S. Devi, dan R. Jagadeeshwar. "Effect of temperature on rice brown plant hopper (*Nilaparvata lugens* Stall)," *The Jpurnal of Reseach*, vol. 44, no. 1, pp. 114–117, 2016.
- [20] D. R. Cruz, L. F. S. Leandro, dan G. P. Munkvold, "Effect of temperature and pH on *Fusarium oxysporum* and soybean seedling disease," *Plant Disease*, vol. 103, no. 12, pp. 3234–3243, 2019.
- [21] M. A. Kareem, K. V. K. Murthy, H. A. Nadaf, dan M. A. Waseem, "Effect of temperature, relative humidity and light on lesion length due to *Alternaria porri* in onion," *Asian Journal of Environmental Science*, vol. 7, no. 1, pp. 47–49, 2012.
- [22] K. Lakshmi dan S. Gayathri, "Implementation of IoT with image processing in plant growth monitoring system," *Journal of Scientific & Innovative Research*, vol. 6, no. 2, pp. 80–83, 2017.
- [23] A. Tzounis, N. Katsoulas, T. Bartzanas, dan C. Kittas, "Internet of things in agriculture, recent advances and future challenges," *Biosystem Engineering*, vol. 164, pp. 31–48, 2017.
- [24] A. Ramcharan, K. Baranowski, P. McCloskey, B. Ahmed, J. Legg, dan D. P. Hughes, "Deep learning for image-based cassava disease detection," *Frontier in Plant Science*, vol. 8, p. 1852, 2017.



CHAPTER 16

INTEGRATED SMART FOOD SECURITY SYSTEM PLATFORM (I-SFSSP)

**Sumarni, Alvin Rachmat, Muhammad Yangki Sulaeman,
I Gusti Bagus Baskara Nugraha, & Suhono Harso Supangkat**

¹Pusat Inovasi Kota dan Komunitas Cerdas, Institut Teknologi Bandung

ABSTRAK

Implementasi kecerdasan artifisial (*artificial intelligence*, AI) menjadi tantangan baru bagi penduduk Indonesia. Implementasinya untuk mempermudah dan mengotomasikan mendukung transformasi ketahanan pangan nasional dan rantai pasok pangan, salah satunya pengembangan platform yang bernama *integrated smart food security system platform* (ISFSSP). ISFSSP merupakan suatu *data-driven platform*, analitik prediktif, dan sistem peringatan dini dengan metode *machine learning* untuk meningkatkan efektivitas, efisiensi, dan optimalisasi dalam rantai pasok pangan. Beberapa permasalahan yang sering ditemukan pada rantai pasok pangan adalah ketidakpastian permintaan dan penawaran karena sering terdapat ketidakcocokan data, baik dari sisi produsen maupun konsumen, gagal panen karena oleh kurangnya pemantauan kualitas produk yang mengakibatkan konsumen mengembalikan produk tersebut kepada produsen. ISFSSP menjadi solusi dalam pemecahan masalah untuk mengelola risiko kerawanan rantai pasok pangan. Faktor yang memengaruhi rantai pasok pangan adalah perubahan iklim ekstrem, pandemi, ekonomi makro, sengketa perdagangan, dan kondisi geografi. ISFSSP dapat diimplementasikan pada lima sektor, yaitu dari produsen, pengolah, pergudangan, ritel, dan konsumen, yang dapat membantu pemangku kepentingan untuk mendorong produktivitas dalam ketahanan pangan nasional.

Kata kunci: ketahanan pangan, *data-driven* platform, kecerdasan artifisial, rantai pasok pangan.

A. PENDAHULUAN

Ketahanan pangan merupakan kekuatan bangsa dan negara. Menurut Dewan Ketahanan Pangan [1], ketahanan pangan terwujud apabila secara umum telah terpenuhi dua aspek sekaligus, yaitu (1) ketersediaan pangan yang cukup dan merata untuk seluruh penduduk serta (2) akses fisik dan ekonomi terhadap pangan oleh setiap penduduk untuk memenuhi kecukupan gizi guna menjalani kehidupan yang sehat dan produktif dari hari ke hari.

Sumarni, A. Rachmat, M. Y. Sulaeman, I G. B. B. Nugraha, & S. H. Supangkat
Pusat Inovasi Kota dan Komunitas Cerdas, Institut Teknologi Bandung, e-mail: sumarni.sites@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
Sumarni, A. Rachmat, M. Y. Sulaeman, I G. B. B. Nugraha, and S. H. Supangkat, "Integrated smart food security system platform (I-SFSSP)," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 16, pp. 179-186, doi: 10.55981/brin.668.c552
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

Indonesia merupakan negara agraris yang memiliki lahan begitu luas dan tanah yang subur dengan masyarakat bermata pencaharian sebagai petani. Kemajuan teknologi 4.0 membawa dampak begitu besar untuk masyarakat Indonesia, khususnya para petani. Namun, kemajuan teknologi 4.0 belum diikuti kemajuan teknologi di bidang pertanian. Beberapa kendala yang sering dihadapi oleh para petani sebagai berikut.

1. Petani

Petani memiliki kendala dalam permodalan, kesulitan lahan, teknologi pertanian modern, persoalan pupuk, dan pemasaran.

2. Pascapanen

Petani memiliki kendala pada kapasitas *dryer*, mesin giling padi, dan mesin tumbuk untuk gula, serta jarak lokasi penggilingan yang jauh.

3. Gudang

Permasalahan yang dihadapi dari sistem perencanaan yang kurang baik terhadap stok barang adalah penghitungan stok jarang, pengelolaan stok masih manual, ruang persediaan yang tidak terorganisasi, dan kontrol kualitas yang rendah.

4. Distributor

Permasalahan yang dihadapi terkait *monitoring* dan pengelolaan distribusi adalah sistem *tracking* dan *tracing*, kehilangan barang saat pengangkutan, dan keterlambatan pengiriman.

5. Konsumen

Permasalahan yang dihadapi harga pangan memberatkan konsumen dan konsumen kurang memperoleh pasokan pangan.

Menurut Pribadi [2], cakupan ketahanan pangan adalah (1) ketersediaan pangan yang mencakup produksi, cadangan, dan pemasukan, (2) distribusi atau aksesibilitas mencakup fisik (mudah dijangkau), dan ekonomi (terjangkau daya beli), serta (3) konsumsi mencakup mutu, keamanan, dan kecukupan gizi individu. Menurut Suharyanto [3], kerawanan pangan disebabkan oleh tidak tercapainya target ketersediaan pangan dan akses terhadap pangan bagi masyarakat. Hal ini menjadi paradoks mengingat Indonesia memiliki lahan yang luas dan subur. Pembangunan ketahanan pangan adalah mencapai ketahanan dalam bidang pangan dalam kondisi terpenuhinya pangan bagi setiap individu atau rumah tangga dari produksi pangan nasional yang tercermin dari tersedianya pangan yang cukup, jumlah dan mutu, aman, merata, serta terjangkau di seluruh wilayah Indonesia. Sementara itu, Nugroho [43] menjelaskan bahwa ada empat akar permasalahan pada distribusi pangan yang dihadapi, antara lain

1. dukungan infrastruktur, yaitu kurangnya dukungan akses terhadap pembangunan sarana jalan, jembatan, dan lainnya;
2. sarana transportasi, yaitu kurangnya perhatian pemerintah dan masyarakat dalam pemeliharaan sarana transportasi;

3. sistem transportasi yang dianggap masih kurang efektif dan efisien, serta kurangnya koordinasi antarmoda transportasi yang berdampak pada keterlambatan bahan pangan sampai ke tujuan; dan
4. masalah keamanan dan pungutan liar yang dilakukan oleh preman sepanjang jalur transportasi di Indonesia sering terjadi.

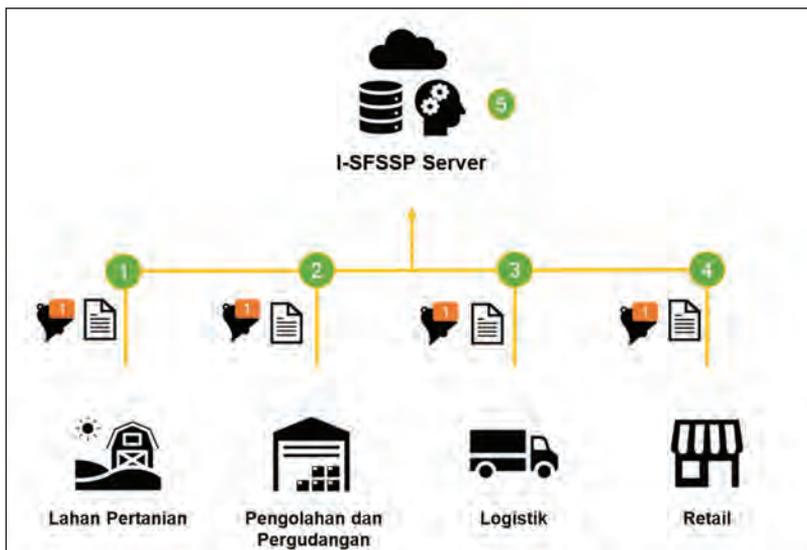
Kedaulatan pangan merupakan suatu strategi dasar untuk melengkapi ketahanan pangan sebagai tujuan akhir pembangunan pangan karena kedua konsep ini sesungguhnya sejalan dan saling melengkapi [54]. Artikel ini akan membahas tentang ISFSSP yang menjadi solusi pemecahan masalah rantai pasok pangan melalui *data driven* dan platform berbasis *machine learning* untuk mengelola risiko kerawanan. Pemerintah, industri, dan lembaga penelitian dapat berkolaborasi dan bersinergi untuk meminimalisasi kerawanan ketahanan pangan.

B. PEMBAHASAN

1. Sistem ISFSSP

Faktor yang memengaruhi kerawanan rantai pasok pangan adalah (a) perubahan iklim yang ekstrem; (b) pandemi; (c) ekonomi makro atau krisis keuangan; (d) sengketa perdagangan; (e) serangan siber; (f) teroris, (g) kondisi geografi, dan (h) perang.

ISFSSP merupakan *data driven platform*, analitik prediktif, dan sistem peringatan dini berbasis *machine learning* pada ketahanan pangan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan optimalisasi rantai pasok pangan yang dapat diimplementasikan ke dalam enam sektor, yaitu importir, produsen, pengolah, pergudangan, retail, dan konsumen.

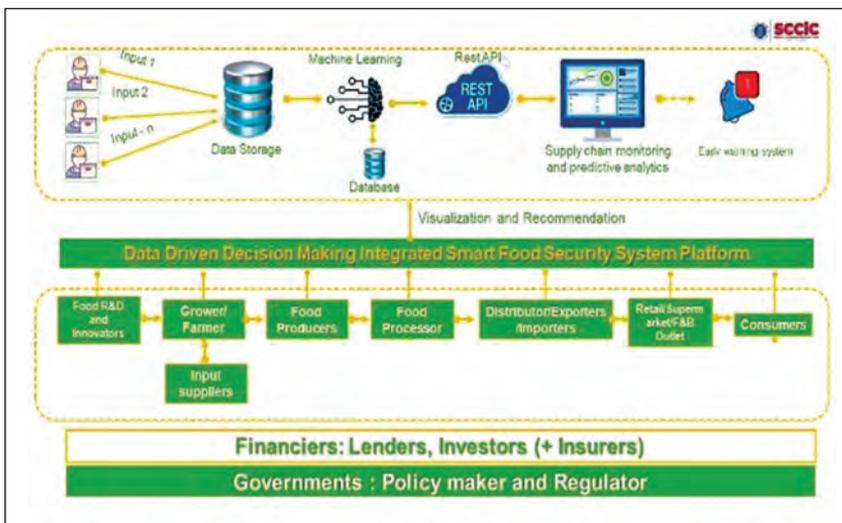


Gambar 1. Metode Implementasi ISFSSP dalam Sistem Pendistribusian Sayuran

Aliran data *smart food security system platform* terdiri dari (a) data cuaca, iklim, operasional petani, serta penelitian dan pengembangan (*research and development*, R&D) pangan; (b) data produsen, distributor, dan logistik pangan; (c) data transaksi dan keuangan; (d) data hukum, properti, dan perizinan; (e) permintaan pasar dan konsumen, serta data komersial.

Gambar 1 menunjukkan contoh kasus implementasi ISFSSP dalam pendistribusian sayuran yang prosesnya dapat diperinci sebagai berikut.

- Perangkat *internet of things* (IoT) pada lahan pertanian mengirimkan data berupa jenis sayuran yang ditanam dan data dari sensor yang dipasangkan pada lahan tersebut. I-SFSSP akan mengirimkan prediksi kepada pengelola lahan kapan panen, seperti prediksi cuaca dan jenis sayuran yang memberikan *return* besar (paling laku di pasaran).
- Hasil panen dikirimkan ke pengolahan dan pergudangan. Data yang dikirimkan dari unit ini melingkupi jenis sayuran yang masuk, jumlah panen, dan data dari sensor yang dipasangkan pada gudang penyimpanan. I-SFSSP akan memberikan data *realtime* kondisi gudang penyimpanan serta sistem peringatan (*warning system*) jika terjadi sesuatu pada gudang. Jumlah stok sayuran yang masuk dan keluar juga ditampilkan pada *dashboard* laporan.
- Unit pengiriman (*delivery unit*) akan mengirimkan hasil panen Keboen Bapak untuk didistribusikan ke mitra retail atau konsumen. Data, seperti alamat pengiriman, jumlah barang, dan data GPS, akan dikirimkan ke server. I-SFSSP akan memberikan data *realtime* kondisi barang yang dikirimkan, apakah produk masih dalam kondisi bagus atau terjadi perubahan pada kondisi produk ketika dikirimkan.



Gambar 2. Sistem ISFSSP

- d. Produk yang sampai di retail akan didata kembali, seperti retail apa yang dituju, jenis sayuran dan jumlah sayuran yang masuk, berapa jumlah sayuran yang terjual, dan berapa jumlah sayuran yang kembali (*return*). Retail akan mendapatkan detail produk dari produk yang masuk dan posisi unit pengiriman.
- e. Semua data dari setiap unit akan dikumpulkan pada suatu basis data (*database*) dan diolah menggunakan *machine learning* untuk memberikan notifikasi (*insight*) pada unit tersebut atau pihak lainnya.

2. ISFSSP pada Keboen Bapak

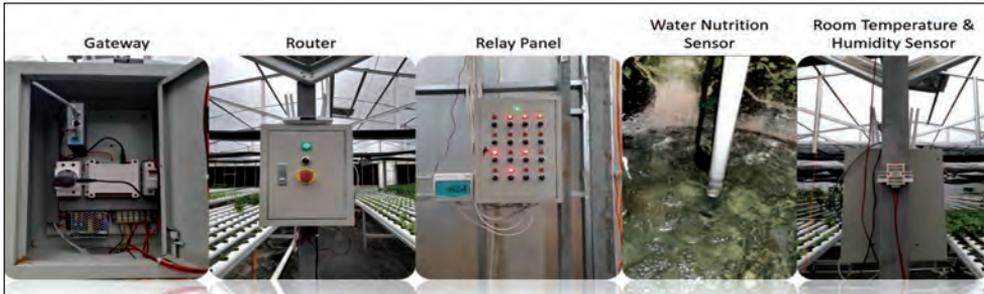
Pengembangan ISFSSP dalam penelitian ini diimplementasikan pada Keboen Bapak. Keboen Bapak merupakan usaha kecil menengah (UKM) yang memproduksi dan menjual sayuran hidroponik tanpa pestisida. Sistem budi daya sayuran Keboen Bapak menggunakan sistem hidroponik rumah kaca yang terintegrasi dengan *internet of things* (IoT). Keboen Bapak menggabungkan teknologi otomatisasi proses berbasis data terbaru dengan ilmu hidroponik untuk menciptakan kondisi pertumbuhan yang sempurna bagi tanaman untuk berkembang.

Produk yang dibudidayakan di Keboen Bapak, antara lain (a) selada hijau, (b) bayam hijau, (c) caisim, (d) pakcoy, dan (e) kangkung.



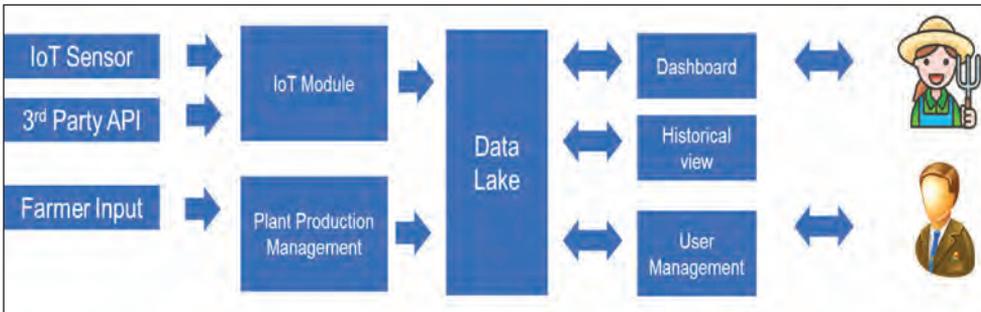
Gambar 3. Contoh Pengembangan ISFSSP pada Keboen Bapak

Peralatan pendukung dalam IoT yang berada di Keboen Bapak, antara lain (a) *gateway*, (b) *router*; (c) panel *relay*, (d) *relay* nutrisi air, serta (e) suhu dan kelembapan ruangan.



Gambar 4. Peralatan Pendukung IoT pada Rumah Kaca (*Greenhouse*) Keboen Bapak

Fitur yang terletak pada pengembangan platform IoT *integration* dan *monitoring* adalah (a) *dashboard monitoring* IoT, (b) integrasi dengan sistem IoT, (c) integrasi dengan API prakiraan cuaca, (d) penyimpanan dan penampil historikal data IoT, (e) pencatatan produksi kebun; serta (f) *multiple user account*.



Gambar 5. Contoh Pengembangan Platform IoT *Integration* dan *Monitoring*

Contoh pengembangan alat *weather station* adalah sebagai alat untuk memonitor suhu, kelembapan, angin, curah hujan, dan intensitas cahaya matahari dan yang lainnya ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Dashboard pengembangan platform IoT *integration* dan *monitoring*.

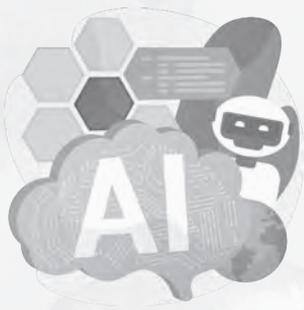
Buku ini tidak diperjualbelikan.

C. KESIMPULAN

Integrated smart food security system platform (ISFSSP) adalah *data-driven platform*, analitik prediktif, dan sistem peringatan dini berbasis *machine learning* pada ketahanan pangan untuk meningkatkan efisiensi, produktivitas, dan optimalisasi rantai pasok pangan. ISFSSP dapat membantu pemangku kepentingan (*stakeholder*) untuk mendorong efektivitas, efisiensi, dan produktivitas dalam ketahanan pangan nasional.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Dewan Ketahanan Pangan, "Kebijakan umum ketahanan pangan 2006-2009," *Jurnal Gizi dan Pangan*, vol. 1, no. 1, pp. 57-63, 2006.
- [2] N. Pribadi, "Program ketahanan pangan: Konsep dan implementasi," dipresentasikan pada *Penyusunan Indikator Kinerja Program Ketahanan Pangan*, Bappenas, 15 Agustus 2005.
- [3] H. Suharyanto, "Ketahanan pangan," *Jurnal Sosial Humaniora*, vol. 4, no. 2, pp. 186-194, 2011.
- [4] G. Nugroho. "Meningkatkan Ketahanan Pangan Indonesia berbasis Sumber Daya Lokal." Galih Nugroho's Blog. Diakses pada 20 Desember 2021. [Daring.] <http://www.nugrohogalih.wordpress.com/2009/02/06/meningkatkan-ketahanan-pangan-indonesia-berbasis-sumber-daya-lokal.htm>
- [5] Syahyuti, Sunarsih, S. Wahyuni, W. K. Sejati, dan M. Azis, "Kedaulatan pangan sebagai basis untuk mewujudkan ketahanan pangan nasional," *Forum Penelitian Agro Ekonomi*, vol. 33, no. 2, pp. 95–109, 2015.



CHAPTER 17

METODE REKAYASA KANSEI CERDAS UNTUK REKA CIPTA PRODUK, JASA, DAN SISTEM KERJA AGROINDUSTRI

Mirwan Ushada¹

Departemen Teknologi Industri Pertanian
Universitas Gajah Mada (UGM)

ABSTRAK

Agroindustri telah berkontribusi secara signifikan terhadap ekonomi sirkular dan ketahanan pangan selama disrupsi ketidakpastian, seperti krisis ekonomi 1998 dan pandemi COVID-19 tahun 2020 dan 2021. Tantangan yang dihadapi agroindustri adalah (1) desain produk dan jasa yang harus beradaptasi secara berkelanjutan terhadap kebutuhan konsumen yang bersifat dinamis dan penuh ketidakpastian, (2) desain teknologi kerja yang ergonomis dan nyaman bagi sumber daya manusia manajer dan pekerja, serta (3) berbagai macam disrupsi yang berpotensi mengubah tatanan kehidupan baru, seperti pandemi COVID-19. Untuk dapat beradaptasi secara berkelanjutan, agroindustri harus rutin melakukan inovasi. Reka cipta atau dikenal dengan invensi, sebagai bagian dari inovasi telah memberikan solusi pada tatanan kehidupan baru dengan menghasilkan luaran berupa produk sebagai bentuk adaptasi berkelanjutan terhadap disrupsi ketidakpastian. Inovasi didefinisikan sebagai gabungan dari invensi dan hilirisasi. Metode rekayasa Kansei cerdas merupakan perpaduan dari metode rekayasa Kansei dan kecerdasan artifisial yang digunakan untuk aplikasi reka cipta di agroindustri. Rekayasa Kansei digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan konsumen secara presisi, sedangkan kecerdasan artifisial digunakan untuk memodelkan kebutuhan yang dibatasi kendala tantangan disrupsi ketidakpastian. Bab ini memaparkan *use cases* reka cipta produk, jasa, sistem kerja, dan standardisasi metodenya dalam agroindustri.

Kata kunci: afektif (kansei), industri pertanian, inovasi, invensi, kecerdasan artifisial

¹ **Mirwan Ushada** adalah dosen Departemen Teknologi Industri Pertanian, Fakultas Teknologi Pertanian, Universitas Gajah Mada (UGM). Dia menyelesaikan pendidikan Sarjana Teknologi Pertanian di UGM. Kemudian, memperoleh beasiswa Hitachi Scholarship Foundation (2004–2010) untuk melanjutkan pendidikan Master dan Doctor of Philosophy in Applied Life Sciences, Osaka Prefecture University, Jepang. Beberapa penghargaan diperoleh di antaranya 2006 CIGR Armand Blanc Prize in CIGR-EurAgEng-VDI-FAO Bonn, Jerman; 2007 Osaka Prefecture University Award for Graduate Student; penghargaan seminar pada tahun 2008-Japanese Society of Agricultural, Biological and Environmental Engineers and Scientists (JSABEES); 2013 dan 2015-Seminar Hasil Penelitian Desentralisasi; 2016-SEANES-Perhimpunan Ergonomi Indonesia (PEI); 2017-Seminar Asosiasi Profesi Teknologi Agroindustri; Penelitian Kolaboratif Terbaik Bidang Eksakta, Penghargaan Tahunan UGM, Yogyakarta-2016; Ketua PEI Award, Surabaya-2019; Tanda Kehormatan Satyalancana Karya Satya X, Presiden RI-2021 dan Dosen Berprestasi Fakultas Teknologi Pertanian UGM Tahun 2021 dan aktif menulis di beberapa jurnal internasional.

M. Ushada

Departemen Teknologi Industri Pertanian, Universitas Gajah Mada, e-mail: mirwan_ushada@ugm.ac.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN

M. Ushada, "Metode Rekayasa Kansei Cerdas untuk reka cipta produk, jasa, dan sistem kerja agroindustri," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 17, pp. 187-194, doi: 10.55981/brin.668.c553

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

1. Adaptasi Berkelanjutan

Agroindustri telah berkontribusi secara signifikan terhadap ekonomi sirkular dan ketahanan pangan selama disrupsi ketidakpastian, seperti krisis ekonomi 1998 dan pandemi COVID-19 tahun 2020 dan 2021. Akselerasi industri pertanian difokuskan pada industri pengolahan yang berkontribusi nilai tambah dan daya saing tinggi. Revolusi agroindustri merupakan salah satu prioritas Making Indonesia 4.0 karena Indonesia memiliki potensi pengembangan besar, sumber daya pertanian berlimpah, serta permintaan domestik tinggi [1]. Beberapa karakteristik agroindustri Indonesia [2] adalah (a) tingkat keakraban yang tinggi terhadap penerapan teknologi tepat guna, (b) program padat karya dan menggunakan sistem kerja manual, dan (c) kontribusi yang tinggi terhadap perekonomian Indonesia.

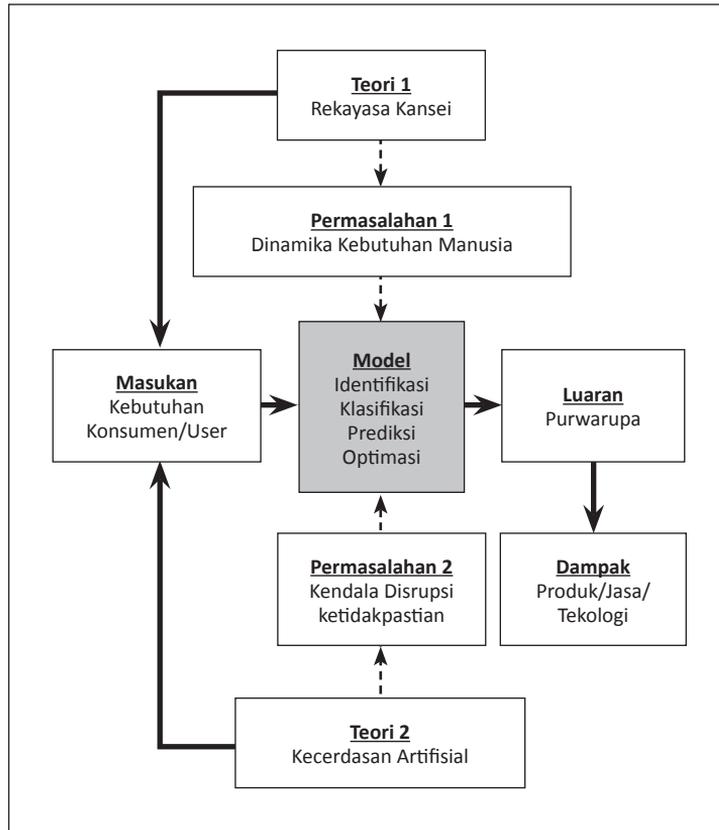
Tantangan ketidakpastian yang dihadapi agroindustri adalah (a) desain produk dan jasa yang harus beradaptasi secara berkelanjutan terhadap kebutuhan konsumen yang bersifat dinamis dan penuh ketidakpastian, (b) desain teknologi kerja yang ergonomis, nyaman bagi sumber daya manusia (SDM) dan meningkatkan produktivitas produksi yang kontinu, dan mampu memenuhi kebutuhan konsumen, serta (c) berbagai macam disrupsi yang berpotensi mengubah tatanan kehidupan baru, seperti pandemi COVID-19.

SDM berkualitas dan berdaya saing, baik pengelola dan pekerja agroindustri, merupakan modal utama pembangunan nasional untuk menuju pembangunan yang inklusif dan merata di seluruh wilayah. Laporan *Global Innovation Index* [3] menginformasikan bahwa posisi indeks inovasi Indonesia berada di posisi 87 dari 132 negara. Dengan demikian, kapabilitas inovasi SDM merupakan kesiapan dari agroindustri untuk menghadapi disrupsi ketidakpastian. Pandemi COVID-19 mengubah tatanan usaha agroindustri sekarang, maka momentum ini yang digunakan untuk dapat beradaptasi secara berkelanjutan.

2. Reka Cipta

Agroindustri harus rutin melakukan inovasi untuk dapat beradaptasi secara berkelanjutan. Pemerintah Indonesia berkomitmen untuk mendukung pengelola agroindustri invensi, inovasi, dan kewirausahaan sebagai *emerging issues* kedaulatan pangan melalui peningkatan produktivitas pangan secara nasional.

Tatanan kehidupan baru dengan menghasilkan luaran berupa produk, jasa, dan teknologi. Berdasarkan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 11 Tahun 2019 tentang Sistem Nasional Ilmu Pengetahuan dan Teknologi, invensi adalah ide inventor yang dituangkan ke dalam suatu kegiatan pemecahan masalah yang spesifik di bidang teknologi berupa produk atau proses atau penyempurnaan dan pengembangan produk atau proses. Inovasi didefinisikan sebagai gabungan dari invensi dan hilirisasi.



Gambar 1. Kerangka Konsep Metode Rekayasa Kansei Cerdas

B. PEMBAHASAN

1. Rekayasa Kansei Cerdas

Rekayasa Kansei adalah salah satu metode reka cipta yang dikembangkan oleh Mitsuo Nagamachi [4] yang menerjemahkan kebutuhan afektif manusia (*kansei*) menjadi produk, jasa, sistem, dan teknologi. Reka cipta Kansei didefinisikan sebagai metode yang menerjemahkan Kansei (afektif perasaan psikologis) pelanggan ke dalam spesifikasi desain dengan menggunakan pendekatan parameter verbal dan nonverbal.

Ruang lingkup dari Kansei adalah manusia, baik sebagai konsumen, manajer, pekerja dan pemangku kepentingan agroindustri. Kebutuhan afektif manusia dapat dimodelkan dengan beberapa parameter, seperti kepuasan, preferensi, beban kerja, kepercayaan, pengetahuan, familiaritas, dan persetujuan. Kendala disrupsi ketidakpastian di antaranya tingkat kecemasan, pengetahuan, dan keakraban. Konsumen/*user* agroindustri kesulitan dalam mengekspresikan kebutuhan afektif karena pandemi atau bentuk ketidakpastian lainnya merupakan hal yang baru, dan membutuhkan penyesuaian menuju fase beradaptasi, dan mengembangkan daya lenting secara berkelanjutan.

Penulis mengembangkan metode rekayasa Kansei ini menjadi Rekayasa Kansei Cerdas (REKDAS) untuk aplikasi agroindustri sejak tahun 2009 [5] dengan pendekatan kecerdasan artifisial mengingat dinamika kebutuhan manusia, baik sebagai makhluk individu maupun makhluk sosial, dalam menghadapi ketidakpastian (Gambar 1). Kecerdasan artifisial berfungsi untuk memodelkan kebutuhan afektif konsumen berbasis kendala disrupsi ketidakpastian [6].

Data masukan dari metode REKDAS adalah kebutuhan konsumen verbal yang diidentifikasi menggunakan instrumen kuesioner berskala Likert atau *semantic differential*, seperti *status mood*, tingkat kepentingan, dan tingkat kepercayaan, serta nonverbal, menggunakan sensor atau alat ukur, seperti denyut nadi, kedipan mata, dan laju keringat.

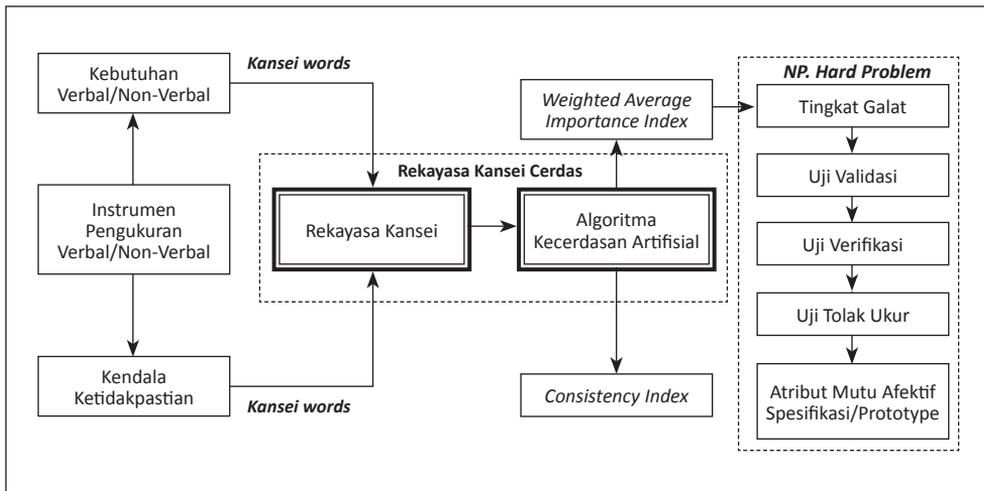
Data masukan ini kemudian dimodelkan dengan metode kecerdasan artifisial yang bersifat individual dan sosial [7]. Contoh kecerdasan buatan individual adalah jaringan syaraf tiruan yang bisa digunakan untuk permodelan klasifikasi atribut, prediksi tingkat kepentingan, dan optimasi terhadap kendala ketidakpastian. Contoh kecerdasan buatan sosial adalah optimasi algoritma kawanan burung (*bird swarm algorithm*) yang dapat digunakan untuk permodelan kepuasan derivatif konsumen berbasis kendala ketidakpastian.

Luaran dari metode ini dapat berupa kebutuhan terpilih, konsep, purwarupa (*prototype*), alat, sensor, atau teknologi yang dapat dihilirisasi dalam proses inovasi.

2. Peran Kecerdasan Artifisial

Reka cipta merupakan permasalahan *non-deterministic polynomial time (NP)-hard problem* [8] dan pengambilan keputusan dengan multikriteria (*multi-criteria decision making*) dalam kebutuhan konsumen dan kendala disrupsi ketidakpastian. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan *NP-hard* berdampak pada laju yang lebih meningkat dibandingkan ukuran dari multi kriteria itu sendiri. Dengan banyaknya kriteria yang dipengaruhi oleh berbagai macam tingkat kendala, solusi pendekatan konvensional, seperti statistik dan numerik, menjadi tidak mungkin untuk digunakan.

Sebagai solusi permasalahan, pendekatan kecerdasan artifisial digunakan untuk reka cipta agroindustri sehingga menjadi esensi diperlukan metode REKDAS (Gambar 2). Pendekatan kecerdasan artifisial memiliki kinerja yang lebih baik dibandingkan pendekatan konvensional. Reka cipta menggunakan kecerdasan artifisial dengan pendekatan bauran terbukti lebih baik dari pendekatan tunggal. Pendekatan bauran dipilih untuk menyelesaikan masalah *NP-hard*.



Gambar 2. Metode Rekayasa Kansei Cerdas

3. Use Case 1: Kustomisasi Atribut Mutu Produk

Use case ini menggunakan *greening material* atau produk penghijauan lumut *bio-towel* menggantikan *air conditioner* sebagai pelapis atap bangunan [5][9][10]. Metode REKDAS digunakan untuk seleksi atribut mutu (*kansei words*) yang dikustomisasi untuk segmen konsumen Jepang dan Indonesia. Data Kansei yang digunakan atribut preferensi dan tingkat kendala pengetahuan, keakraban, persetujuan, dan preferensi untuk mencapai kepuasan derivatif. Kecerdasan artifisial yang digunakan dalam metode REKDAS ini adalah algoritma kawanan burung (*bird swarm algorithm*) dan *Bayesian belief network*. Metode ini dikembangkan berdasarkan analogi antara sistem rekayasa Kansei dengan sistem kecerdasan sosial burung yang mengambil keputusan secara berkelompok. Luaran dari metode ini adalah 4 atribut mutu afektif untuk responden Jepang dan 14 untuk Indonesia [5].

4. Use Case 2: Kustomisasi Atribut Mutu Jasa Layanan

Use case ini menggunakan studi kasus perancangan dan pengembangan jasa, yaitu Café dan Show Window Pusat Inovasi Agroteknologi (PIAT) Universitas Gadjah Mada (UGM). Metode REKDAS digunakan untuk seleksi atribut mutu yang dikustomisasi untuk layanan *dine-in*, *delivery*, *take-away* [11]. Data Kansei yang digunakan adalah atribut preferensi konsumen serta tingkat kecemasan, keakraban, dan kepercayaan terhadap berbagai faktor yang berpengaruh dalam era tatanan kehidupan baru. Kecerdasan artifisial yang digunakan dalam metode REKDAS ini adalah jaringan syaraf tiruan (ANN) dan optimasi gerombolan partikel (PSO). Luaran adalah multi-atribut kebutuhan konsumen terseleksi yang bersifat afektif pada layanan *dine-in*, *delivery*, dan *take-away*.

5. Use Case 3: Teknologi Kansei Engineering-based System for Agroindustry (KESAN)

Use case ini fokus pada reka cipta teknologi ergonomi yang sedikit berbeda dengan *use case* pertama dan kedua pada produk dan jasa. Metode REKDAS digunakan pada pengembangan teknologi industri 4.0 pada UMKM makanan dan minuman yang dinamakan sebagai *Kansei Engineering-based System for Agroindustry* (KESAN). Sistem KESAN berfungsi menilai beban kerja, mengendalikan lingkungan kerja, menentukan insentif yang sesuai, dan menilai kenyamanan dan kepercayaan. Metode REKDAS digunakan untuk mengembangkan konsep, prototipe, uji, dan kelayakan dari KESAN [12]. Data Kansei yang digunakan adalah *mood*, beban kerja [13][6], serta kenyamanan dan kepercayaan pekerja [6]. Kecerdasan aritifisial yang digunakan dalam metode REKDAS adalah permodelan jaringan syaraf tiruan (ANN) [2], inferensi *fuzzy* [14], dan algoritma genetika [15]. Integrasi KESAN diwujudkan dalam *one-stop-service* sistem penilaian kerja berbasis industry 4.0 [16].

6. Use Case 4: Modul Etika Bekerja dalam Sistem Kerja

Jika *use case* 1, 2, dan 3 fokus pada pengembangan produk, jasa, dan teknologi, maka *use case* 4 ini fokus pada pembuatan modul panduan kerja dalam bagian dari manajemen etik dan penguatan integritas (MEPI) dengan judul “Etika Bekerja dalam Sistem Kerja: Pendekatan Falsafah Kansei dan Kecerdasan Artifisial” [17]. Modul ini berfungsi sebagai panduan etika untuk bekerja dalam sistem kerja bagi sivitas akademika UGM dalam berbagai ruang lingkup pekerjaan administrasi atau non-administrasi kantor, kelompok kerja, dan struktur organisasi tata kelola di Universitas. Falsafah REKDAS digunakan sebagai analog untuk membangun kolektivitas tim dalam sebuah sistem kerja. Untuk versi pengabdian masyarakat, modul kerja berbasis falsafah REKDAS ini dihilirkan dalam program kelas daring berbagi UMKM agroindustri bermitra dengan Rumah Kreatif Sleman dan Dinas Perindustrian dan Perdagangan Kabupaten Sleman.

7. Use Case 5: Standardisasi Metode Reka Cipta

Berdasarkan rekam jejak aplikasi metode REKDAS dalam *use case* 1, 2, 3, dan 4, maka penelitian yang sedang dijalankan adalah standardisasi metode REKDAS dengan menggunakan *framework for analysis, comparison, and testing of standards* (FACTS). Luaran yang diharapkan adalah rekomendasi parameter mutu metode REKDAS yang dapat digunakan sebagai standar metode yang bisa digunakan untuk pemerataan kapabilitas inovasi bagi UMKM agroindustri.

C. KESIMPULAN

Metode Rekayasa Kansei Cerdas merupakan perpaduan dari metode rekayasa Kansei dan kecerdasan artifisial untuk aplikasi reka cipta di agroindustri. Rekayasa Kansei digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan konsumen secara presisi, sedangkan kecerdasan artifisial digunakan untuk memodelkan kebutuhan konsumen yang dibatasi kendala tantangan ketidakpastian.

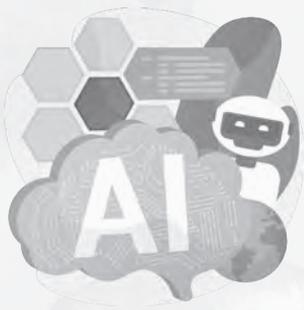
UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis berterima kasih atas dukungan pendanaan penelitian dari periode 2011 sampai sekarang dari Kementerian Pendidikan, Kebudayaan, Riset, dan Teknologi; Badan Riset dan Inovasi Nasional; Osaka Prefecture University (sekarang: Osaka Metropolitan University); Hitachi Scholarship Graduate Support Program; serta Direktorat Penelitian dan Pusat Inovasi Agroteknologi Universitas Gadjah Mada. Penulis juga berterima kasih kepada seluruh anggota tim penelitian yang telah berkolaborasi sejak periode tahun 2011 hingga sekarang.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] “Indonesia national ministry of industry-making indonesia 4.0.” Kementerian Perindustrian. Diakses tanggal 17 Februari 2020. [Daring] <https://www.kemenperin.go.id/download/18384>
- [2] M. Ushada, T. Okayama, N. Khuriyati, dan A. Suyantohadi, “Affective temperature control in food SMEs using artificial neural network,” *App. Art. Intell.*, vol. 31, no. 7-8, pp. 555–567, 2017.
- [3] “Global innovation index. world intellectual property organization.” World Intellectual Property Organization. Diakses pada 27 Desember 2021. Diakses pada 27 Desember 2021 [Daring] https://www.wipo.int/global_innovation_index/en/2021/.
- [4] M. Nagamachi, “Kansei engineering: A new ergonomic consumer-oriented technology for product development,” *Int. J. Ind. Ergon.*, vol. 15, no. 1, pp. 3–11, 1995, doi: 10.1016/0169-8141(94)00052-5.
- [5] M. Ushada dan H. Murase, “Design of customisable greening material using swarm modelling,” *Biosystems Engineering*, vol. 104, no. 2, pp. 169–183, 2009.
- [6] M. Ushada, T. Wijayanto, dan F. Trapsilawati, “Sistem parameterisasi kepercayaan kolektif,” Patent Granted IDP000077715, 2021.
- [7] M. Ushada, Media Indonesia-Edisi Perdana-Inspirasi Bulaksumur, 10 Juni 2021, pp. 12, 2021.
- [8] T. Ding, G. Yan, Y. Lei, dan X. Xu, “A niching behaviour-based algorithm for multi-level manufacturing service composition optimal-selection,” *Journal of Ambient Intelligence and Humanized Computing*, vol. 11, no. 3, 2020.
- [9] M. Ushada, dan H. Murase, “Modelling consumer preference for greening material using bayesian belief networks and particle swarm optimization,” *CIGR Journal*, vol. 13, no. 1, 2011.

- [10] M. Ushada, A. Wicaksono, dan H. Murase, “Design of moss greening material for Merapi disaster prone area using kansei engineering,” *Engineering in Agriculture, Environment and Food*, vol. 5, no. 4, pp. 140–145, 2012.
- [11] M. Ushada, F. Trapsilawati, G. Kusuma Aji, R. Amalia, dan L. Setyowati, “Metode kustomisasi atribut afektif untuk reka cipta industri kuliner,” Paten Terdaftar No. P00202111920, 2021.
- [12] M. Ushada, N. Khuriyati, S. Agustriana, dan T. Okayama, “Evaluation of kansei engineering-based sensor for agro-industry (KESAN),” *Agricultural Engineering International: CIGR E-journal*, vol. 22, no.2, 2020.
- [13] M. Ushada, T. Okayama., A. Suyantohadi., N. Khuriyati, dan D. R. Fudholi, “Integrated workload assesment sensor for agro-industrial production system (alat penilai beban kerja terpadu di sistem produksi agroindustri),” Paten Granted No: IDP000065902, 2019.
- [14] M. Ushada, N. A. S. Putro, dan N. Khuriyati. “An intelligent incentive model based on environmental ergonomics for food SMEs,” *Journal of Engineering and Technological Sciences*, vol. 51, no. 6, pp. 839–864, 2019.
- [15] M. Ushada, H. F. Mustika, A. Musdholifah, dan T. Okayama, “An optimization model for environmental ergonomics assessment in bioproduction of food SMEs,” *HAYATI Journal of Biosciences*, vol. 27, no. 4, 2020.
- [16] M. Ushada, N.A.S. Putro, T. Wijayanto, F. Trapsilawati, dan N. Khuriyati, “Development of kansei engineering-based system for agro-industry (KESAN) for worker trust assessment in food small medium-sized enterprises,” *Engineering in Agriculture, Environment and Food.*, vol. 13 no. 2, 2021.
- [17] M. Ushada, *Etika Bekerja dalam Sistem Kerja: Pendekatan Falsafah Kansei dan Kecerdasan Artifisial, Modul Manajemen Etik dan Penguatan Integritas.*, Direktorat Penelitian UGM, 2021.



CHAPTER 18

DETEKSI OBJEK DAN PENGUKURAN PANJANG SERTA BERAT IKAN MENGGUNAKAN YOLOV3-RESNET18

Suryadiputra Liawatimena, Edi Abdurahman,
Agung Trisetyarso, & Antoni Wibowo

Universitas Bina Nusantara¹

ABSTRAK

Upaya menjaga kelestarian usaha perikanan tangkap terutama yang menghasilkan devisa, yaitu ikan tuna, tongkol dan cakalang, perlu dilakukan untuk menghindari kondisi *overfishing* yang akan berakibat pada kepunahan. Kontribusi penelitian dan novelty yang dicapai adalah percepatan pada proses yang terdapat pada algoritma Maxpool. Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat mengenali empat jenis ikan dalam penelitian, yaitu cakalang (*Katsuwonus pelamis*), tongkol (*Euthynnus affinis*), lemadang (*Coryphaena hippurus*), dan cumi-cumi (*Loligo chinensis*), serta mendeteksi panjang ikan dan bobotnya dengan menggunakan kamera yang sebelumnya diukur dan ditimbang secara manual dengan latar belakang berbeda-beda dan jarak yang statis. Penelitian juga melakukan modifikasi *maxpool layer* sehingga dapat meningkatkan kinerjanya. Model yang dilatih dapat melakukan pendeteksian obyek dengan tingkat akurasi 89,55%. Penelitian menghasilkan eror estimasi panjang sebesar 2,59% dan berat sebesar 15,67%, serta percepatan *maxpool* 221,01 ms (27,99%).

Kata kunci: visi komputer, pengenalan obyek, *maxpool layer*, *overfishing*

¹ Korespondensi: Bina Nusantara University, Jl. K. H. Syahdan No. 9, Kemanggisan, Palmerah, Jakarta 11480, Indonesia; {suryadi; edia}@binus.ac.id; {atrisetyarso; anwibowo}@binus.edu

A. PENDAHULUAN

1. Latar Belakang

Ikan tuna, cakalang, dan tongkol (TCT) merupakan komoditas dengan nilai ekspor terbesar kedua dari hasil perikanan Indonesia setelah udang sebagaimana terlihat pada Tabel 1. Pada tahun 2018, TCT telah menyumbang devisa sebesar 713,9 juta USD atau 14,69% dari total nilai ekspor hasil perikanan. Sementara itu, dari sisi volume, ekspor TCT Indonesia pada tahun 2018 sebesar 168,4 ribu ton atau 14,96% dari total volume ekspor hasil perikanan [1]. Namun, hal penting yang perlu menjadi perhatian bersama adalah karena berdasarkan data yang dikeluarkan Indian Ocean Tuna Commission (IOTC), penangkapan tuna di hampir seluruh wilayah perairan Indonesia sudah dinyatakan melebihi batas *overfishing* dan sudah berjalan dari 2010 hingga 2014. Dua dari tiga jenis tuna yang ada, yakni madidihang dan cakalang, dinyatakan dapat punah dalam waktu tiga hingga sepuluh tahun jika tidak segera dilakukan pembatasan penangkapan. Wilayah perairan yang selalu menjadi target penangkapan tuna sebagian besar ada di Samudra Hindia, Samudra Pasifik, Laut Jawa, dan Laut Sulawesi [2].

Tabel 1. Nilai dan Volume Ekspor Produk Kelautan dan Perikanan Tahun 2018

KOMODITAS	NILAI (USD)	% NILAI	VOLUME (KG)	% VOLUME
Udang	1,742,119,193	35,84%	197,433,608	17,53%
Tuna-Tongkol-Cakalang	713,919,147	14,69%	168,433,759	14,96%
Cumi-Sotong-Gurita	554,594,192	11,41%	152,108,581	13,51%
Rajungan-Kepiting	472,962,123	9,73%	27,791,618	2,47%
Rumput Laut	291,837,226	6,00%	212,961,523	18,91%
Komoditas Lainnya	1,085,479,049	22,33%	367,349,488	32,62%
Grand Total	4,860,910,931	100,00%	1,126,078,577	100,00%

Sumber: BPS diolah Ditjen PDS, 2019 [1]

Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) melaksanakan tugas dan fungsi terkait kebijakan kelautan dan perikanan, salah satunya adalah pelaporan statistik kelautan dan perikanan yang diatur sesuai dengan Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 1997 Tentang Statistik (Indonesia, 1997) [3]. Masalah yang dihadapi adalah jumlah petugas pencacah yang sangat terbatas di setiap pangkalan pendaratan ikan (PPI) serta waktu pengumpulan dan pengompilasian data sehingga terjadi keterlambatan hingga satu tahun untuk menyerahkan dan keakuratan data yang dikumpulkan.

Berbagai penelitian untuk mengetahui berat ikan masih secara *sampling* dan ditimbang secara manual yang tentunya akan memakan waktu lama dan tidak akurat [4], beberapa di antaranya melakukan pengukuran ikan menggunakan kamera digital

[5][6][7][8][9][10][11]. Namun, kelemahan penelitian tersebut adalah menggunakan *setting* laboratorium dengan latar belakang yang sama dan jarak antara kamera dan ikan yang tetap. Tantangan yang dihadapi adalah penggunaan kamera digital yang dipasang pada kapal nelayan dan *convolutional neural network* (CNN) untuk dapat diujicobakan di lapangan. Sistem yang sudah dapat mengenali jenis ikan, panjang ikan dan beratnya diperlukan untuk mengidentifikasi pergerakan ikan yang sedang menggelepar di geladak dan sedang meluncur menuju ke lubang palka. Seiring perkembangan CNN dengan jumlah lapisan (*layer*) yang semakin banyak, maka pengenalan membutuhkan waktu proses yang semakin lama. Untuk mempercepat proses *training* dan inferensi CNN, diperlukan upaya untuk meningkatkan kinerja pada lapisan tersebut. MaxPool *layer* adalah salah satu komponen utama pada arsitektur CNN yang menjadi fokus penelitian. Menurut Habib dan Qureshi, cara melakukan optimisasi dan akselerasi CNN adalah dengan menggunakan *mixed pooling*, *stochastic pooling*, *spectral pooling*, dan *ordinal pooling* [12]. Namun, semuanya melakukan perhitungan satu sel demi satu sel secara berurutan untuk menghasilkan luaran (*output*).

Kemajuan teknologi kecerdasan artifisial berkembang semakin pesat dalam dekade terakhir, salah satunya adalah *machine learning* (ML). CNN adalah bagian dari ML yang baru-baru ini mendapat perhatian kalangan peneliti karena didorong oleh kemajuan secara drastis *graphics processing unit* (GPU) yang dikeluarkan oleh perusahaan NVIDIA® [13]. Menurut Baldominos, Saez, dan Isasi, akurasi untuk mengenali angka dan gambar oleh *deep learning* sudah melewati kemampuan manusia [14]. CNN dapat dimanfaatkan untuk mengenali objek berdasarkan sejumlah besar gambar sebagai masukan ke dalamnya. *Dataset modified national institute of standards and technology* (MNIST) berupa digit tulisan tangan diperkenalkan pada tahun 1988 oleh Lecun, Bottou, Bengio, dan Haffner yang telah banyak digunakan untuk memvalidasi algoritma visi komputer sebagai tolok ukur pengujian arsitektur dan pendekatan jaringan saraf konvolusional yang berbeda. Hasil terbaik yang diperoleh untuk *dataset* ini melibatkan tingkat kesalahan pengujian sebesar 0,21% dan menggunakan jaringan saraf konvolusional [15].

Dengan mengumpulkan gambar (*image*) jenis ikan yang ingin dikenali, seperti cakalang (*Katsuwonus pelamis*), tongkol (*Euthynnus affinis*), lemadang (*Coryphaena hippurus*), dan cumi-cumi (*Loligo chinensis*), serta melakukan augmentasi (perubahan sudut, skala, kecerahan, dan lainnya) sebagai usaha melipatgandakan jumlah gambar lebih banyak lagi, pelatihan sebuah CNN dapat dilakukan dengan akurasi validasi mencapai 99,63% [15]. Pengenalan jenis ikan menggunakan CNN dan algoritma juga dikembangkan untuk mengonversi panjang ikan berdasarkan *bounding box* yang terdeteksi menjadi berat dengan menggunakan struktur ukuran ikan cakalang [16].

Oleh karena itu, penulis tertarik untuk melakukan penelitian pengenalan dan pengukuran berat ikan laut menggunakan algoritma YOLOv3-ResNet18 sebagai disertasi untuk membantu pengumpulan data hasil tangkapan secara otomatis.

2. Rumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang yang telah dikemukakan pada bagian sebelumnya, dapat identifikasi rumusan permasalahan penelitian ini, yaitu bagaimana cara mengenali jenis ikan, mengukur panjang ikan, dan mengonversi data tersebut menjadi bobot sebagai langkah persiapan menolong petugas pencacah di setiap pangkalan pendaratan ikan (PPI). Permasalahan dibagi menjadi tiga pertanyaan penelitian sebagai berikut.

- a. Bagaimana mengakselerasi algoritma Maxpool *layer*?
- b. Bagaimana cara mendeteksi objek (*object detection*) ikan dari sebuah gambar dengan latar belakang berbeda dan jarak yang statis?
- c. Bagaimana mendapatkan panjang objek yang sebenarnya dari hasil pendeteksian?

3. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang dicapai adalah sebagai berikut.

- a. Melakukan analisis algoritma Maxpool *layer* untuk kebutuhan perubahan.
- b. Mempelajari pendeteksian objek menggunakan YOLOv3-ResNet18 untuk mengenali cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi dengan latar belakang berbeda dan jarak yang statis.
- c. Membangun sistem yang dapat mengenali jenis serta mengukur panjang dan berat ikan yang sebenarnya dari hasil pendeteksian objek.

4. Ruang Lingkup Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk mengenali cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi menggunakan ModelArts sebagai CNN dari gambar dengan latar belakang berbeda dan jarak (kamera dengan objek) statis. Penempatan kamera perpendiklular terhadap objek. Perhitungan menggunakan CPU dan tidak mengeksplorasi kemampuan paralel pada GPU. Penelitian disertai mengasumsikan orientasi badan ikan adalah horizontal.

5. Kontribusi Penelitian

Kontribusi penelitian terbagi ke dalam dua aspek, yaitu aspek keilmuan dan kontribusi praktis. Aspek keilmuan dan novelti berkontribusi terhadap percepatan proses yang terdapat pada algoritma Maxpool untuk membuat sistem yang dapat mengenali serta mendeteksi panjang dan bobot cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi menggunakan kamera yang sebelumnya dilakukan secara manual dengan latar belakang berbeda-beda dan jarak statis.

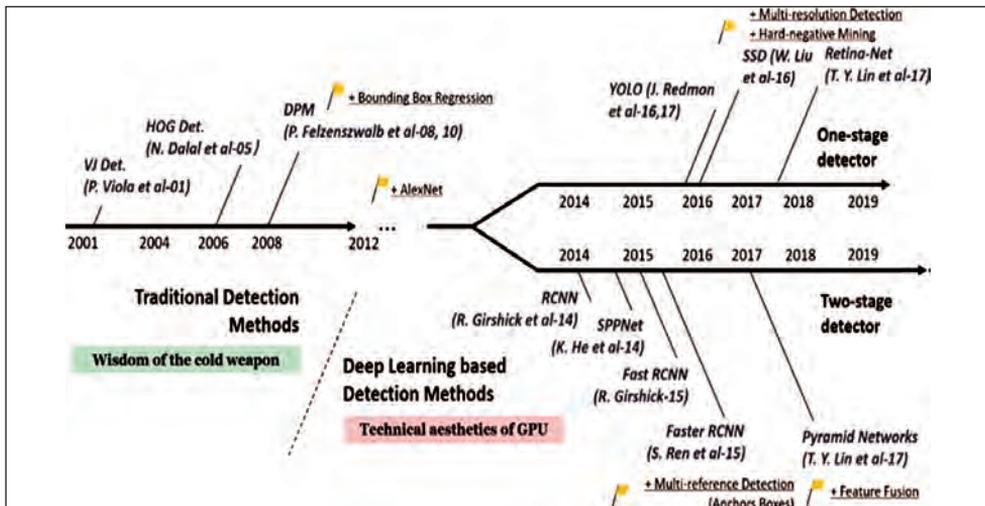
Sementara itu, aspek kedua, yaitu kontribusi praktis mengungkapkan bahwa metode ini dapat dilanjutkan untuk dapat diterapkan sebagai alat bantu bagi petugas pencacah di PPI untuk mengenali hasil tangkapan dan bobotnya.

B. STUDI LITERATUR

1. Visi Komputer (*Computer Vision*)

Menurut Zou dkk., deteksi objek, sebagai salah satu masalah paling mendasar dan menantang dalam visi komputer, telah menerima perhatian besar dalam beberapa tahun terakhir, seperti tonggak sejarah detektor objek (*object detector*), *dataset*, metrik, blok bangunan dasar sistem deteksi, dan teknik percepatan [17]. Pendeteksian objek adalah tugas visi komputer yang penting dan berkaitan dengan deteksi *instance* objek visual dari kelas tertentu (seperti manusia, hewan, mobil, dan bangunan) dalam gambar digital. Tujuan deteksi objek adalah untuk mengembangkan model dan teknik komputasi yang menyediakan salah satu bagian paling dasar dari informasi yang dibutuhkan oleh visi komputer.

Salah satu masalah mendasar dari visi komputer adalah mendeteksi objek seperti segmentasi contoh (*instance segmentation*) [18][19][20][21], keterangan gambar [22][23][24], dan pelacakan objek [25]. Dari sudut pandang aplikasi, deteksi objek dapat dikelompokkan menjadi dua topik penelitian, yaitu secara umum dan secara spesifik. Secara umum, deteksi objek bertujuan untuk mengeksplorasi metode mendeteksi berbagai jenis objek di bawah kerangka kerja terpadu untuk menyimulasikan visi manusia dan kognisi. Secara spesifik, deteksi objek mengacu pada deteksi di bawah skenario aplikasi spesifik, seperti deteksi pejalan kaki, wajah, dan teks. Dalam beberapa tahun terakhir, pesatnya perkembangan teknik pembelajaran mendalam (*deep learning*) [26] telah membawa semangat baru dalam penelitian deteksi objek, mengarah ke terobosan luar biasa, dan mendorongnya maju penelitian dengan perhatian yang belum pernah terjadi sebelumnya. Deteksi objek kini telah banyak digunakan dalam banyak aplikasi di dunia nyata, seperti pengemudian secara otonom, penglihatan robot, dan pengawasan video.



Gambar 1. Peta Jalan dan Tonggak Sejarah Deteksi Objek [17]

Meskipun orang selalu bertanya mengenai apa saja kesulitan dan tantangan dalam deteksi obyek, sebenarnya pertanyaan ini tidak mudah dijawab, bahkan mungkin terlalu digeneralisasi. Oleh karena tugas deteksi objek memiliki tujuan dan kendala yang sama sekali berbeda, kesulitannya mungkin berbeda satu sama lain. Selain beberapa tantangan umum dalam tugas penglihatan komputer lainnya, seperti objek di bawah sudut pandang yang berbeda, iluminasi, dan variasi antarkelas, tantangan dalam pendeteksian objek tidak terbatas pada rotasi objek dan perubahan skala (misalnya objek kecil), lokalisasi objek yang akurat, deteksi objek padat dan tumpang tindih, serta percepatan proses deteksi [17].

Dalam dua dekade terakhir, secara luas telah diterima bahwa kemajuan deteksi objek umumnya telah melewati dua periode sejarah, yaitu periode deteksi objek tradisional (sebelum 2014) dan periode deteksi berbasis pembelajaran yang mendalam (*deep learning*) (setelah 2014), seperti yang terlihat pada Gambar 1.

2. Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dilakukan dengan mempelajari berbagai penelitian sebelumnya, seperti pengukuran panjang ikan dengan teori optik dan teknik pemrosesan gambar menggunakan kamera digital delapan megapiksel dengan jarak tetap dan latar belakang sama [5][8]. Anumudu dan Mojekwu melakukan pengenalan jenis (spesies) ikan berbentuk mirip menggunakan analisis morfometrik, seperti *truss network measurement*, analisis gambar dengan univariat, bivariat, dan multivariat, serta *principal component analysis* (PCA) dengan jarak tetap dan latar belakang sama [6]. Jamaluddin dkk. (2015) melakukan pengukuran panjang ikan dengan pendekatan pengukuran nonkontak menggunakan kamera USB, sensor jarak ultrasonik, dan mikrokontroler dengan jarak berbeda dan latar belakang sama [7]. Jin dkk. Mencari hubungan berat dan panjang ikan dan faktor kondisi Fulton cakalang [27], sedangkan Li dkk. berusaha mengenali ikan dengan menggunakan CNN [28]. Hao, Yu, dan Li melakukan pengukuran panjang ikan dengan visi komputer dengan kamera tunggal dan kamera stereo, pengukuran jarak dan perhitungan luas penampang ikan dengan jarak dan latar belakang sama [9]. Penelitian berikutnya melakukan pengukuran dan estimasi berat dan ukuran ikan dengan pengolahan gambar penetasan ikan di bawah air dengan jarak berbeda, tetapi dengan latar belakang sama [10]. Islamadina dkk. mengukur badan ikan berupa estimasi panjang, lebar, dan tinggi dengan kamera tunggal untuk jarak dan latar belakang sama [11]. Beberapa penelitian melakukan deteksi ikan melalu gambar, yaitu pendeteksian ikan menggunakan model CNN dengan segmentasi citra untuk mengenali ikan dari air laut yang buram [29] serta pendeteksian yang menghasilkan tiga model dengan kerangka deteksi objek untuk mendeteksi target spesies, ikan yang penting secara ekologis dari video yang diolah per bingkai (*frame*) [30]. Terakhir, Habib dan Qureshi melakukan optimalisasi dan percepatan jaringan saraf *convolutional* dengan melakukan perubahan pada *convolution* dan *maxpool layer*, di mana usaha perhitungan *maxpool layer* empat sel secara berurutan satu persatu [12].

Berdasarkan penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa visi komputer dapat digunakan untuk mengenali jenis ikan dan mengukur panjang ikan menggunakan kamera, baik tunggal maupun stereo, dengan latar belakang yang sama dan usaha untuk mengubah *convolution* dan *maxpool layer* secara berurutan satu per satu. Kontribusi penelitian ini pada latar belakang yang berbeda-beda, menggunakan dataset ikan sendiri (terdiri dari 4.000 foto), adanya estimasi bobot ikan berdasarkan panjang ikan yang terdeteksi berdasarkan ukuran dari *bounding box*nya, dan berupaya untuk melakukan peningkatan kecepatan *maxpool layer*.

3. Kecerdasan Artifisial

Kecerdasan artifisial (*artificial intelligence*, AI) adalah studi dan implementasi teknologi, di mana suatu mesin melakukan hal yang membutuhkan kecerdasan manusia [31]. Beberapa hal, seperti mengidentifikasi gambar, menerjemahkan bahasa, dan analisis data hanya dapat dilakukan oleh kecerdasan manusia, tetapi, dengan kecerdasan artifisial, hal tersebut sekarang dapat ditangani oleh mesin. Oleh karena itu, mesin dengan kemampuan kecerdasan artifisial merupakan sebuah sistem yang dapat meniru salah satu bentuk dari kecerdasan manusia untuk menyelesaikan sebuah masalah serta memberikan sebuah terobosan baru di dalam dunia teknologi.

Menurut Entwistle, kecerdasan artifisial adalah ilmu yang berfokus untuk menciptakan suatu mesin pintar dengan tujuan memaksimalkan data-data di sekitarnya untuk menyelesaikan permasalahan layaknya manusia [32]. Pada era modern ini, kecerdasan artifisial digunakan pada berbagai bidang, antara lain *game playing*, *speech recognition*, *understanding natural language*, *computer vision*, *expert system*, dan *heuristic classification*. *Machine learning* (ML) adalah salah satu cabang ilmu kecerdasan artifisial yang memiliki tujuan mempelajari algoritma untuk meningkatkan performa secara sendiri lewat pengalaman belajar dari setiap iterasi. ML sebagai salah satu cabang dari kecerdasan artifisial meniru salah satu bentuk kecerdasan pada manusia melalui belajar.

Akan sangat berguna jika komputer dapat belajar dari pengalaman dan secara otomatis meningkatkan efisiensi program mereka sendiri selama eksekusi. Sebagai contoh, ketika tikus melihat sebuah makanan, ia akan mencoba memakannya sedikit dan akan menghabiskannya tergantung dari rasa serta efek yang timbul setelah memakannya. Hal ini merupakan faktor psikologis makhluk hidup. Jika makanan tersebut memberikan efek negatif, makanan tersebut tidak akan dihabiskan. Menurut Shalev-Shwartz dan Ben-David, peristiwa tersebut belajar dari pengalaman sebelumnya [33]. Sistem ML melakukan tugasnya secara spesifik layaknya yang dilakukan oleh manusia. Tahapan pertama, sistem akan melewati tahapan pelatihan dengan data latihan yang *supervised*, *unsupervised*, *supervised and unsupervised*, *self-learning*, atau *reinforcement*. Setelah dilatih, terciptalah sebuah model yang dapat digunakan untuk mendapatkan sebuah hasil dari semua data yang dimasukkan. *Deep learning* dengan menggunakan model *deep max-pooling convolutional neural network*, sebuah

deep neural network dengan lapisan konvolusional dan *max-pooling* [34]. Model ini digunakan untuk deteksi, klasifikasi, dan prediksi pada gambar.

Sebuah penelitian menjelaskan bahwa *deep learning* adalah model komputasi yang terdiri dari beberapa lapisan pemrosesan untuk mempelajari suatu representasi data dengan tingkat abstraksi yang berbeda [26]. Metode secara umum digunakan untuk pengenalan suara, pengenalan objek secara visual, deteksi obyek, dan banyak domain lainnya. *Deep learning* layaknya sistem sensori, di mana aliran informasi yang memiliki koneksi secara internal dengan neuron dan setiap neuron membantu memproses informasi berikutnya [35].

Metode pada *deep learning* adalah metode *representation-learning* yang memungkinkan mesin untuk diisi dengan data mentah secara otomatis untuk menemukan representasi yang diperlukan untuk deteksi dan klasifikasi. Hal ini diperoleh dari pembelajaran representasi dengan beberapa level representasi dan penyusunan modul nonlinear yang dimulai dari satu level (input mentah) menjadi representasi pada level yang lebih tinggi dengan komposisi transformasi yang memadai sehingga fungsi yang sangat kompleks dapat dipelajari, misalnya sebuah gambar yang hadir dalam bentuk piksel. Fitur pada lapisan pertama representasi akan mewakili ada atau tidaknya tepi pada orientasi dan lokasi gambar tersebut. Kemudian, lapisan kedua akan mendeteksi motif dengan melihat susunan tepi tertentu, lapisan ketiga merangkai motif menjadi kombinasi yang lebih besar sesuai dengan bagian obyek yang sudah dikenal, dan lapisan berikutnya akan mendeteksi objek sebagai kombinasi dari bagian tersebut.

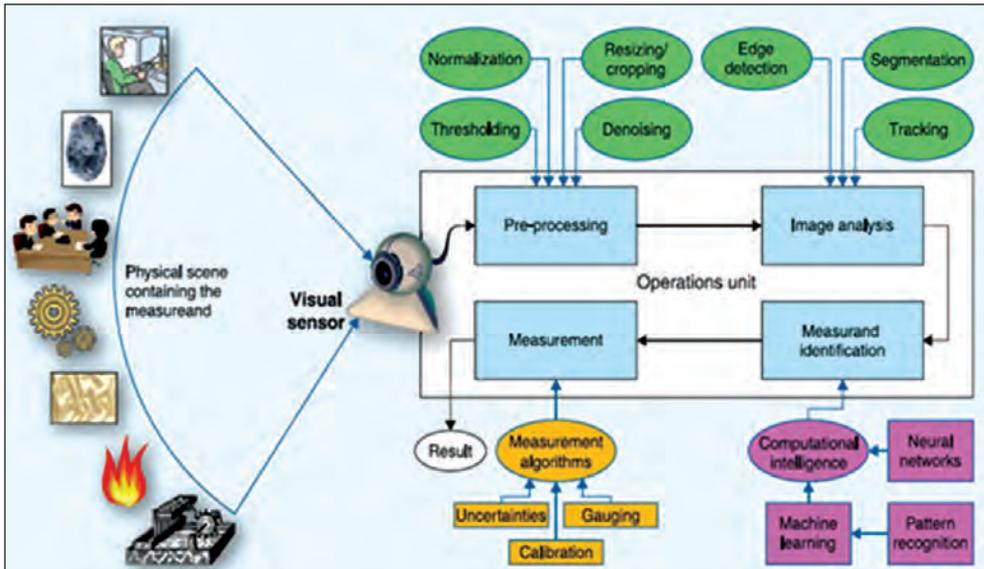
4. Pengukuran Berbasis Visi Komputer

Pembelajaran mendalam merevolusi banyak bidang visi komputer (*computer vision*). Sejak ledakan eksplosif dalam tantangan ImageNet pada 2012 [36], kinerja model telah meningkat dengan kecepatan yang taktertandingi. Menurut Shirmohammadi dan Ferrero, kemajuan yang berkelanjutan dan cepat dari teknologi perangkat keras atau lunak dalam kamera dan sistem komputasi, pengguna kini memiliki akses ke kamera dan unit komputasi yang lebih kecil, murah, dan berkualitas [37].

Hal ini membawa angin segar pada metode berbasis visi yang terdiri dari pemrosesan gambar dan kecerdasan komputasi yang dapat diimplementasikan dengan lebih mudah dan lebih murah daripada sebelumnya. Terlihat pada Gambar 2 bahwa sebuah gambar diperoleh oleh sensor visual dan diumpankan ke berbagai unit operasi untuk melakukan pra-pemrosesan gambar (warna hijau), inteligen komputasional (warna violet), dan operasi pengukuran (warna kuning). Empat tahapan dalam melakukan pengukuran berbasis visi komputer adalah sebagai berikut.

a. Pra-Pemrosesan

Tujuan tahap ini adalah mempersiapkan gambar mentah untuk tahap operasi selanjutnya. Gambar yang diperoleh dari sensor visual dapat memiliki kekurangan, seperti silau, *noise*, kabur. Selain itu, gambar mungkin tidak dalam format yang diperlukan



Gambar 2. Arsitektur Pengukuran Berbasis Visi Komputer [36]

pada operasi berikutnya, misalnya gambar sidik jari yang biasanya diperoleh dalam skala abu-abu, tetapi perlu dikonversi menjadi hitam putih murni tanpa latar belakang apapun untuk tahap pemrosesan. Tahapan ini juga melakukan operasi, seperti normalisasi yang memodifikasi intensitas piksel dan kontras bagian-bagian gambar, ambang batas yang mengubah gambar menjadi gambar hitam dan putih biner, *denoising* yang *meridge* gambar dari aditif *white Gaussian noise* atau jenis kebisingan lainnya, pengubahan ukuran, dan pemangkasan. Operasi ini adalah pemrosesan sinyal, khususnya pemrosesan gambar, dengan banyak metode dan algoritma yang tersedia untuk implementasinya.

b. Analisis Gambar

Tujuan tahap ini adalah untuk menganalisis gambar dan mengekstrak informasi yang diperlukan untuk menemukan pengukuran dan melakukan pengukuran nanti. Tahap ini juga menggunakan operasi pemrosesan gambar, seperti segmentasi yang membagi gambar menjadi beberapa segmen yang masing-masing mewakili sesuatu dalam adegan, mendeteksi tepi yang menemukan tepi objek dalam adegan, dan membantu pengguna mengidentifikasi objek yang menarik, serta melacak objek setelah terdeteksi dan ketika mereka bergerak melalui adegan. Pada akhir tahap analisis gambar, luaran (*output*) dapat berupa pengukuran dan informasi yang dapat mengarah pada identifikasi pengukuran. Dalam beberapa kasus, pengguna dapat melewati tahap mengidentifikasi dan langsung menuju ke tahap pengukuran.

Sebagai contoh, untuk menghitung jumlah orang dalam ruangan dengan menghitung jumlah wajah, setelah wajah terdeteksi pada tahap analisis gambar, pengguna dapat langsung menghitungnya tanpa operasi lebih lanjut. Namun, dalam beberapa aplikasi, lebih banyak operasi diperlukan untuk mengidentifikasi apa yang menjadi target pengukuran.

c. Identifikasi target

Tujuan tahap ini adalah untuk mengidentifikasi pengukuran spesifik dan dalam gambar, jika belum diidentifikasi pada tahap analisis gambar sebelumnya. Teknik yang digunakan di sini sebagian besar didasarkan pada kecerdasan komputasi, terutama pembelajaran mesin (*machine learning*), dan khususnya pengenalan pola dan pencocokan pola, di mana yang pertama memberikan pencocokan yang paling masuk akal dari input yang diberikan ke *output* dan memperkenalkan beberapa ketidakpastian, sedangkan yang terakhir terlihat untuk melaporkan kecocokan tepat dari input yang diberikan ke pola apriori. Pada tahap ini, pengguna dapat menemukan, mencocokkan, dan mengidentifikasi pola, bentuk, dan kelas objek tertentu untuk mengidentifikasi pengukuran. Pengenalan karakter optik dan jaringan saraf (*neural network*) juga dilakukan pada tahap ini jika diperlukan. Sebagai contoh, dengan memasukkan gambar ke dalam *support vector machine* (SVM) yang sebelumnya telah dilatih dengan gambar makanan serupa dalam hal warna, tekstur, bentuk, dan ukuran, pengguna dapat mengidentifikasi bahan apa yang ada dalam makanan dengan tingkat akurasi tertentu.

d. Pengukuran

Pada tahap ini pengguna memiliki pengukuran dan dapat melakukan operasi pengukuran yang diperlukan, seperti pengukuran yang memberi dimensi pengukuran dan kelilingnya, luas, dan volume. Pengukuran secara temporal saat melacak mengukur dan mengecek kondisinya dari waktu ke waktu. Kalibrasi adalah persyaratan lain pada tahap ini. Referensi diperlukan untuk mengetahui dimensi bahan makanan, dalam hal ini adalah ibu jari pengguna yang telah diukur sebelumnya dan dapat digunakan untuk kalibrasi di sini. Contoh lain pengukuran temporal adalah mempertimbangkan aplikasi pemantauan keberadaan pengemudi untuk mendeteksi kondisi menguap. Langkah pertama adalah pengguna harus dapat mendeteksi dan melacak mulut manusia yang tertutup, kemudian mendeteksi apakah mulut manusia yang sama terbuka dan tertutup sesuai dengan pola tertentu selama waktu tertentu. Hubungan temporal antara berbagai keadaan mulut manusia adalah yang paling penting. Jika tidak, akan ada positif palsu (*false positive*) karena menyanyi atau berbicara akan disalahartikan sebagai menguap.

5. *Convolutional Neural Network (CNN)*

CNN merupakan salah satu jaringan saraf yang paling populer karena memiliki banyak lapisan, seperti *convolutional layer*, *non-linearity layer*, *pooling layer*, dan *fully connected layer*. CNN digunakan untuk menangani data gambar, seperti kumpulan data klasifikasi gambar (Image Net), visi komputer, dan pemrosesan bahasa (NLP) [38]. CNN menjadi efisien dalam mempelajari data dikarenakan dapat mengekstrak *low-level features*, mendeteksi, dan mengklasifikasikan obyek [26].

Menurut Karphaty, arsitektur dari CNN dibagi menjadi dua bagian besar, yaitu *feature extraction layer* dan *fully-connected layer* [39]. *Feature extraction layer* adalah proses yang melakukan *encoding* dari sebuah gambar menjadi *features* berupa angka yang merepresentasikan gambar tersebut. Proses ini terdiri dari dua bagian, yaitu *convolutional layer* dan *pooling layer*.

a. *Convolutional Layer*

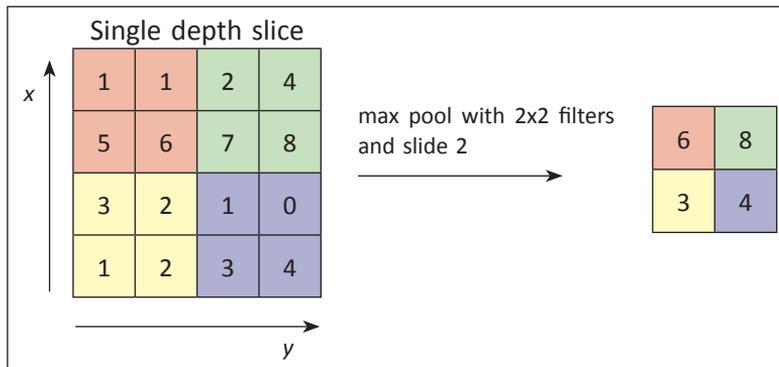
Lapisan ini terdiri dari neuron yang tersusun sedemikian rupa sehingga membentuk sebuah filter dengan panjang dan tinggi (piksel). Lapisan konvolusi merupakan lapisan pertama tempat berbagai fitur hasil ekstrak dari *input layer*, misalnya lapis pertama pada *extraction feature* adalah lapis konvolusi berukuran $5 \times 5 \times 3$, yang berarti panjang 5 piksel, tinggi 5 piksel dengan ketebalan 3 yang merupakan *channel* dari gambar.

Setelah proses konvolusi, fungsi aktivasi merupakan tahapan sebelum memasuki *pooling layer* dan sering digunakan pada *convolutional network*, yaitu *tanh()* atau *reLU*. Beberapa peneliti menggunakan fungsi aktivasi *reLU* karena sifatnya lebih berfungsi dengan baik dan memiliki fungsi nilai *output* dari *neuron* dapat dikatakan sebagai nol jika nilai input adalah negatif. Jika nilai input dari fungsi aktivasi adalah positif, *output* dari neuron adalah nilai input aktivasi itu sendiri.

b. *Pooling Layer*

Lapisan ini terdiri dari filter dengan ukuran dan *stride* tertentu yang bergeser pada seluruh area *feature map*. *Pooling* yang biasa digunakan adalah *max pooling* dan *average pooling*. Tujuan dari *pooling layer* adalah untuk mengurangi dimensi pada *feature map*. Metode ini dikenal sebagai *down-sampling* untuk mempertahankan informasi penting dari hasil *output* sehingga mempercepat komputasi karena parameter yang harus dimutakhirkan semakin sedikit dan mampu mengatasi *overfitting*. Jenis metode *pooling* adalah *max pooling*, *average pooling*, *mixed pooling*, *stride pooling*, *fractional pooling*, dan *stochastic pooling*. Menurut Singh dkk., metode *max pooling* dan *average pooling* adalah metode yang umum digunakan dalam praktik karena kesederhanaannya, kemudahan dalam implementasi, dan memiliki hasil yang sebanding dengan metode penyatuan lainnya [40].

Hal terpenting dalam pembuatan model CNN adalah memilih banyak jenis lapisan *pooling* [41]. Lapisan *pooling* bekerja pada setiap tumpukan di *feature map* dan mengurangi ukurannya. Pada umumnya bentuk lapisan *pooling* menggunakan filter berukuran 2 x 2 yang diaplikasikan dengan *stride* sebanyak 2 dan kemudian beroperasi pada setiap irisan dari *input*. Model demikian mampu mengurangi *feature map* hingga 75% dari ukuran aslinya. Gambar 3 memperlihatkan operasi *max pooling*.



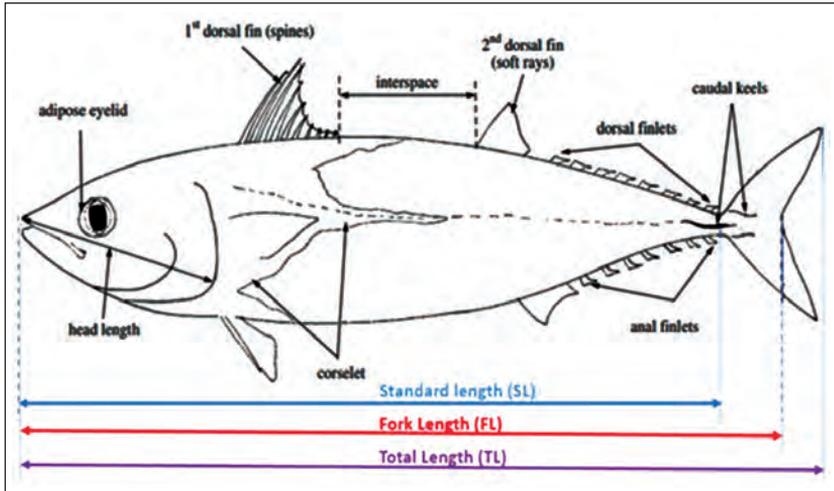
Gambar 3. Max-Pooling [41]

Max pooling ada operasi *pooling* dengan menghitung nilai maksimum atau nilai terbesar di setiap *patch* dari setiap peta fitur. Penyatuan maksimum adalah operasi penyatuan yang menghitung nilai maksimum, atau terbesar, di setiap *patch* dari setiap peta fitur. Hasilnya adalah peta fitur yang dikumpulkan yang menyoroti fitur yang paling ada di *patch*, bukan keberadaan rata-rata fitur. Hal ini ditemukan bekerja lebih baik ketimbang *average pooling*, terutama untuk tugas klasifikasi gambar.

6. Pengukuran Panjang Ikan

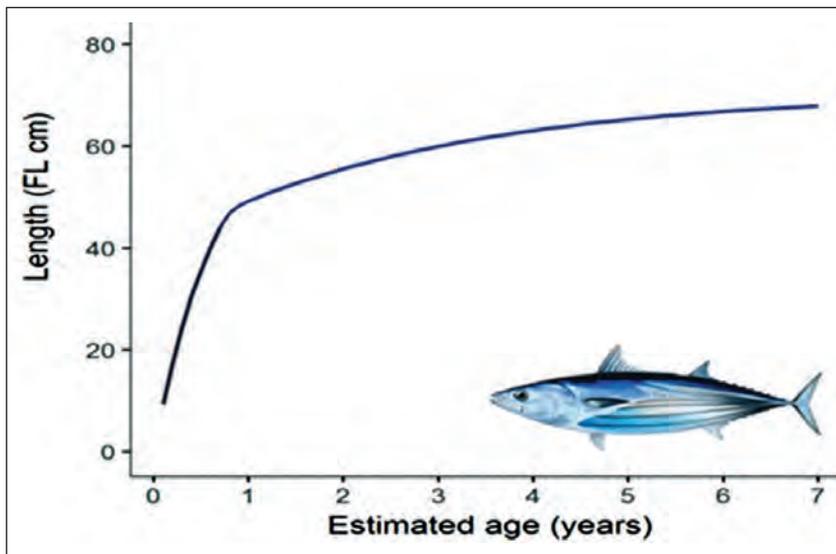
Gambar 4 di bawah ini menunjukkan cara mengukur beragam jenis ikan dan kerang-kerangan dengan panduan sebagai berikut [42].

- Panjang total (*total length*, TL) diukur mulai dari bagian terdepan moncong atau bibir (*premaxillae*) hingga ujung ekor.
- Panjang cagak atau panjang garpu (*fork length*, FL) diukur mulai dari bagian terdepan moncong atau bibir (*premaxillae*) hingga ekor.
- Panjang standar (*standard length*, SL) diukur mulai dari bagian terdepan moncong atau bibir (*premaxillae*) hingga pertengahan pangkal sirip ekor (pangkal sirip ekor bukan berarti sisik terakhir karena sisik-sisik tersebut biasanya memanjang sampai ke sirip ekor).



Gambar 4. Ukuran Panjang Ikan [42]

Ikan cakalang menjadi dewasa ketika mulai berusia dua tahun, panjang 41–43 cm, dan rata-rata umur maksimumnya mencapai tujuh tahun. Bobot rata-rata ikan cakalang yang ditangkap di Samudra Hindia berkisar dari 3 kg untuk penangkapan dengan *purse sein*, 2,8 kg untuk kapal umpan Maladewa, dan 4–5 kg untuk *gillnet* [43][44].



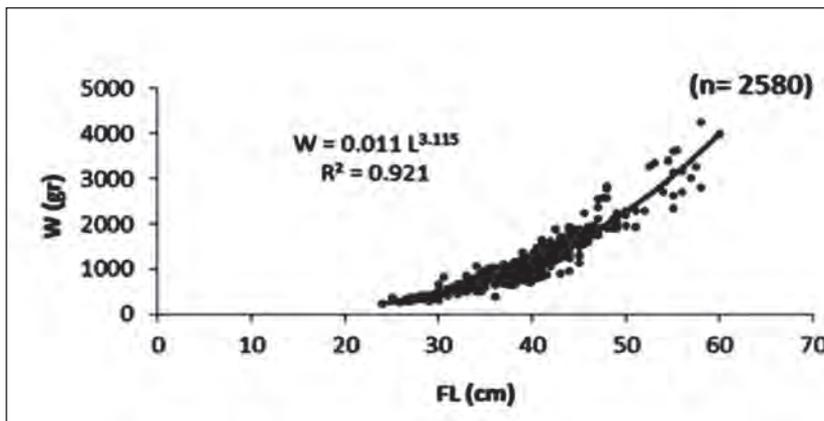
Gambar 5. Hubungan Panjang dengan Umur Ikan Cakalang [45]

Model pertumbuhan ikan cakalang dicirikan pertumbuhan yang cepat pada tahap pertama, diikuti oleh pertumbuhan yang lebih lambat dalam tahap kedua. Karena tinggi awal tingkat pertumbuhan, cakalang dapat mencapai 45cm FL pada tahun pertama kehidupan, 50–65 cm FL di tahun kedua, di mana tingkat pertumbuhan melambat, dan umur tua berkisar hingga 70 cm. Ikan cakalang dianggap memasuki umur produktif setelah mencapai dua tahun dengan angka harapan hidupnya sampai tujuh tahun dan usia produktifnya mencapai 50–70 cm. Berat ikan tergantung dari lingkungan hidupnya sehingga memungkinkan memiliki panjang yang sama dengan berat berbeda [16][46].

Hubungan antara panjang dan berat badan ikan dirumuskan dengan persamaan sebagai berikut [27][47].

$$W = a L^b$$

Hubungan berat-panjang (HBP) dihitung menggunakan persamaan di atas, di mana a dan b adalah koefisien, sedangkan L adalah panjang cagak (cm) dan W adalah berat (g).

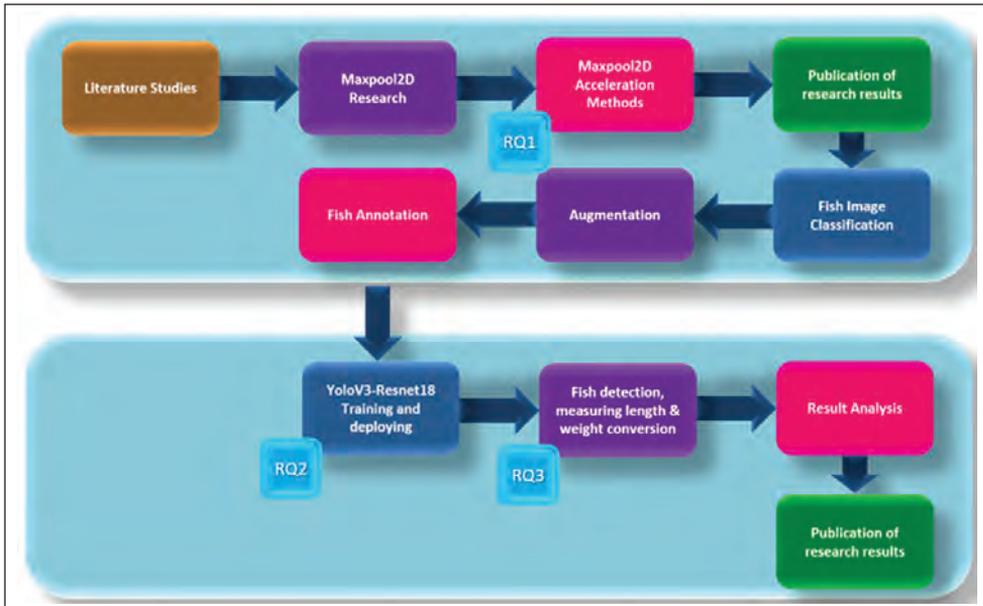


Gambar 6. Hubungan Panjang Cagak dan Bobot Ikan Cakalang [27]

7. Metode Penelitian

Seperti yang terlihat pada Gambar 7, kerangka penelitian dimulai dengan melakukan studi literatur dan fokus pada algoritma *maxpool* untuk menemukan cara mempercepat algoritma *maxpool* dan untuk mengumpulkan gambar ikan dengan berbagai latar belakang (klasifikasi, augmentasi, dan anotasi), *training YOLOv3-ResNet18*, dan melakukan *deploying* untuk mendeteksi ikan dari sebuah gambar untuk ditemukan jenis ikan, *bounding box* agar dapat menghitung panjang ikan dan konversi ke berat ikan.

Sumber daya komputasi yang digunakan saat training pada Huawei Cloud adalah *compute-intensive 1 instance* (GPU), yaitu *random access memory* (RAM) 64 GB, GPU NVIDIA-V100 (32 GB), 8 Cores. Implementasi menggunakan dua vCPUs dengan



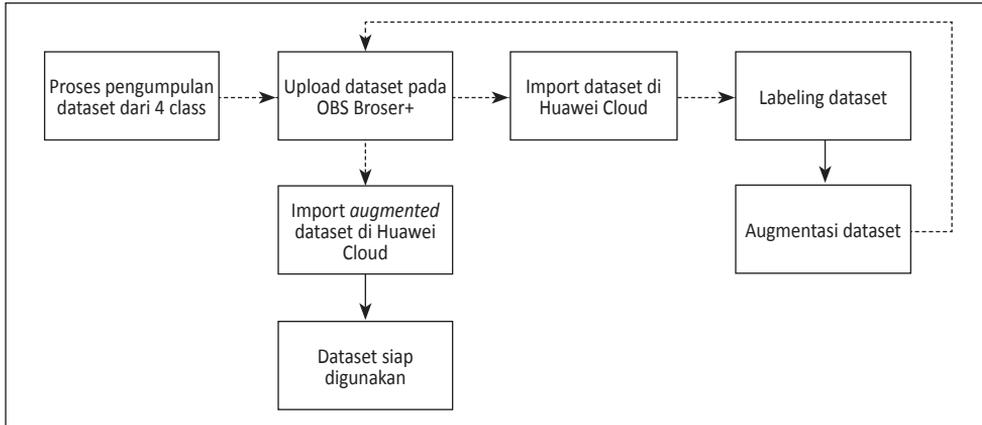
Gambar 7. Kerangka Penelitian [48]

RAM sebesar 8 GB dan implementasi modifikasi algoritma *maxpool* adalah dengan sebuah *notebook* dengan Processor Intel™ Co™(TM) i7-8750H CPU @ 2.20GHz, 2208 Mhz, 6 Cores, RAM sebesar 16 GB. Tahapan evaluasi hasil penelitian melakukan evaluasi dari hasil program.

Metode penelitian disertasi ini menggunakan pendekatan eksperimental kuantitatif. Karakteristik utama dari pendekatan ini adalah adanya kontrol yang lebih besar terhadap lingkungan penelitian dan manipulasi beberapa variabel untuk mengamati pengaruhnya terhadap variabel lain [49].

Data sekunder ikan diperoleh dari situs web Flickr [50]. Gambar tersebut memiliki *creative commons attribution license* yang memungkinkan untuk pengguna saling berbagi dan menyesuaikan materi. Gambar 8 memperlihatkan pengolahan *dataset* yang diawali dari pengumpulan data berupa gambar dari empat *class* objek yang akan dilakukan deteksi, yaitu cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi, sebanyak seratus gambar untuk setiap *class*. Total *dataset* sebelum dilakukan augmentasi adalah empat ratus gambar.

Proses dilanjutkan dengan pengunggahan (*upload*) *dataset* pada *object storage* pada Huawei Cloud dengan OBS Browser+ dan proses impor data dari *object storage* untuk diolah pada proses *labelling*. Pelabelan (*labelling*) dilakukan dengan cara memberikan *bounding box* secara manual kepada objek yang ingin dilakukan deteksi. Selanjutnya, tahap augmentasi adalah menerapkan sembilan jenis filter pada *dataset* gambar yang telah diberikan label. Filter yang digunakan adalah *flip*, *rotate*, *scale*, *blur*, *crop*, *histogram equal*, *light contrast*, *light arithmetic*, dan *saturation*. Setelah



Gambar 8. Pengolahan *Dataset* [48]

dilakukan proses augmentasi, jumlah *dataset* yang ada menjadi total 4.000 gambar. Kemudian melakukan proses publikasi *dataset* untuk *training* dan data validasi dengan rasio 80:20. Gambar yang sudah siap diberi *bounding box* dan label *Katsuwonus pelamis*, *Euthynnus affinis*, *Coryphaena hippurus*, *Loligo chinensis*, dan *Person*. Label *Loligo chinensis* berjumlah lebih banyak karena satu gambar dapat berisi lebih dari satu cumi-cumi. Pada Huawei Cloud à ModelArts à Algorithm Management à Subscription memilih YOLOv3-Resnet sebagai algoritmanya.

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Modifikasi Algoritma Maxpool

Modifikasi algoritma Maxpool diilustrasikan seperti seseorang yang diberi tugas untuk memindahkan 64 penumpang dari satu lokasi ke lokasi lain dengan sebuah mobil kecil atau sebuah minibus. Jika ia menggunakan sebuah mobil kecil, ia perlu melakukan 16 kali perjalanan bolak-balik dengan sekali angkut 4 penumpang. Sementara itu, jika ia menggunakan sebuah minibus, ia cukup melakukan 4 kali perjalanan bolak-balik dengan sekali angkut 16 penumpang sekaligus. Dapat dibayangkan jika ternyata jarak tempuh perjalanan kedua lokasi tersebut berjauhan dan terjebak kemacetan. Dengan menggunakan mobil kecil, pemindahan 64 penumpang akan memakan waktu lebih lama dan bahan bakar lebih banyak dibandingkan menggunakan sebuah minibus.

Peneliti memperbanyak jumlah *maxpool* dari *maxpool* tensor 2-axis: [4,4] menjadi 16 *maxpool* dengan ukuran filter 2 x 2. Ukuran dari *maxpool* tensor 2-axis:[16,16] artinya memiliki panjang 16 dan lebar 16 (*TileBlock* berukuran 16x16).

Perhitungan *maxpool* dapat dilihat pada Gambar 9, dimulai ketika *row* = 0 dan *col* = 0, 4 baris dan 4 kolom pertama merupakan sebuah *maxpool* dengan filter 2 x 2 yang merupakan sebuah *maxpool* dengan 2-axis tensor (diberi garis kotak warna hitam). Dalam satu proses *maxpool* dengan filter 2 x 2 akan mendapat 4 buah nilai yang akan dicari nilai maksimal atau nilai terbesarnya. Proses *maxpool* tradisional akan

1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6
3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8
9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14
11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16
1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6
3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8
9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14
11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16
1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6
3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8
9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14
11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16
1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6
3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8
9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14
11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16
1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6	1	2	5	6
3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8	3	4	7	8
9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14	9	10	13	14
11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16	11	12	15	16

Gambar 9. 16 Buah Maxpool Tensor 2D

menghasilkan 4 buah nilai, yaitu 131, 130, 127, dan 127. Kemudian *col* bergeser 4 ke kanan, proses berulang untuk mencari 4 nilai terbesar dari *maxpool* berikutnya.

Pada algoritma *maxpool* yang dimodifikasi, disebut *Maxpool2DT4D*, ketika *row* = 0 dan *col* = 0, maka dicari ke-16 nilai untuk sel berwarna coklat terlebih dahulu (lihat Gambar 10). Kemudian *col* naik 2 dan dimulai pencarian ke-16 nilai untuk sel berwarna kuning. Selanjutnya, *row* = 2 dan *col* = 0 untuk mencari ke-16 nilai sel berwarna hijau, kemudian *col* naik 2 untuk mencari ke-16 nilai sel berwarna biru. Nilai *output* dari *maxpool* sejumlah 64 sudah terhitung ketika proses ini selesai.

16	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	127	131	130	130	130	132	132	132	133	131	131	131	132	134	134	134
1	128	128	128	129	130	129	130	130	130	129	129	129	130	131	132	131
2	127	126	126	127	128	127	128	128	127	127	127	127	128	128	129	128
3	125	126	126	126	126	126	126	126	125	126	126	126	126	126	127	126
4	124	125	125	125	124	125	126	125	124	125	126	126	125	127	125	124
5	126	125	126	125	125	126	127	125	125	125	125	125	125	125	124	123
6	126	125	125	127	127	128	127	125	125	125	125	125	125	125	124	124
7	125	126	126	128	127	128	128	126	126	126	125	126	126	126	125	125
8	125	126	127	127	127	128	128	128	127	126	126	126	126	126	126	127
9	125	126	127	127	128	128	128	128	127	126	127	126	126	126	127	128
10	126	126	127	127	128	128	127	127	128	128	128	126	126	128	128	128
11	128	128	128	128	129	129	129	129	129	129	128	126	127	127	128	128
12	128	128	128	128	128	129	128	130	128	129	128	127	128	128	128	128
13	128	128	129	128	128	129	129	129	128	129	129	128	129	129	128	128
14	128	129	129	129	129	128	129	130	129	129	129	129	129	130	128	129
15	130	130	129	130	129	129	130	130	130	130	129	129	128	130	129	128
16	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
0	131				132				133				134			
1																
2																
3																
4	126				126				125				127			
5																
6																
7																
8	126				128				127				126			
9																
10																
11																
12	128				129				129				129			
13																
14																
15																

Gambar 10. Perhitungan Maxpool2DT4D untuk Sel Berwarna Coklat

Maka *row* = 0 dan *col* bisa langsung melompat ke-16 dan proses berulang untuk mengolah *TileBlock* berikutnya. Berdasarkan cara kerja di atas, terlihat *Maxpool2DT4D* tidak memerlukan sumber daya tambahan dari segi perangkat keras (*hardware*), melainkan mengubah susunan pengulangannya.

Hal yang membedakan antara algoritma *maxpool* tradisional dan *Maxpool2DT4D* hasil modifikasi adalah dari banyaknya jumlah iterasi. Sebagai contoh, ada sebuah *TileBlock* sebesar 16 x 16 dengan ukuran filter sebesar 2 x 2. Metode *maxpool* tradisional mencakup 16 kali iterasi untuk mendapatkan 4 nilai yang menghasilkan 64 dari *TileBlock* tersebut. Sementara *Maxpool2DT4D* melakukan hanya 4 kali iterasi untuk mendapatkan 16 nilai yang menghasilkan 64.

Algoritma *Maxpool2D* dan *Maxpool2DT4D* diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman Python 3.75. Library Package, yaitu OpenCV dan *numpy*.

```

80 def pool2dt4d_16x16(img, tileMaxpool=16):
81     '''
82     :img = 426 x 426 (Yolov3 input resolution 416x416)
83     :out2 = 213 x 213
84     :param img: input image
85     :param tileMaxpool: window size
86     :return:
87     '''
88     H, W = img.shape
89     filterMaxpool = int(math.sqrt(tileMaxpool)) # 16 --> 4
90     cellMaxpool = int(math.sqrt(filterMaxpool)) # 4 --> 2
91     Nh = H // cellMaxpool # Nh = NewHeight
92     Nw = W // cellMaxpool # Nw = NewWidth
93
94     # img size = 345 x 518 divide by 16 --> 21 tileBlockRow
95     # plus 9 pixel x 32 tileBlockCol plus 6 pixel
96     # image size = 348 x 520 (multiple of filterMaxpool)
97     if (H % tileMaxpool) == 0:
98         maxpoolMaxRow = math.floor(H // tileMaxpool)
99     else:
100         maxpoolMaxRow = math.floor(H // tileMaxpool) + 1
101     if (W % tileMaxpool) == 0:
102         maxpoolMaxCol = math.floor(W // tileMaxpool)
103     else:
104         maxpoolMaxCol = math.floor(W // tileMaxpool) + 1
105
106     totalRow = maxpoolMaxRow * tileMaxpool
107     totalCol = maxpoolMaxCol * tileMaxpool
108     image = np.zeros((totalRow, totalCol))
109     image[0:H, 0:W] = img
110     temp = np.zeros((totalRow//2+filterMaxpool, totalCol//2+filterMaxpool))
111     m = 0

```

Gambar 11. *Maxpool2D*

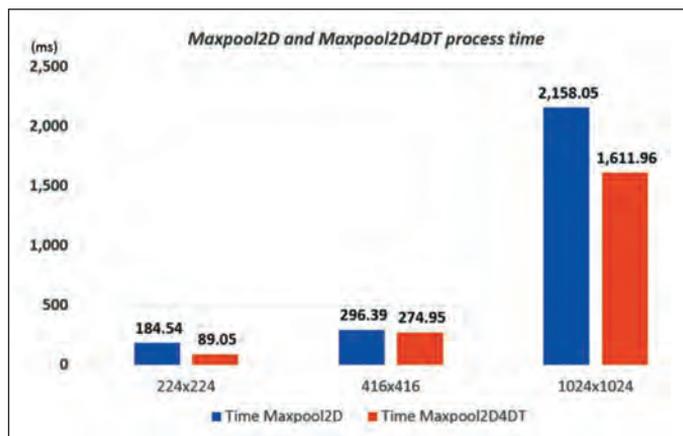
```

113     for maxpoolRow in range(0, totalRow, tileMaxpool):
114         for maxpoolCol in range(0, totalCol, tileMaxpool):
115             # Get a tileBlock consists 16x16
116             lastPart = image[maxpoolRow:maxpoolRow + tileMaxpool, maxpoolCol:maxpoolCol + tileMaxpool]
117             blr, blc = np.shape(lastPart) # get the shape of the lastPart
118             if (blr != tileMaxpool) or (blc != tileMaxpool): # Check if we are the last block
119                 aBlock = np.zeros((tileMaxpool, tileMaxpool))
120                 aBlock[0:blr, 0:blc] = lastPart # copy the lastPart into 16x16
121             else:
122                 aBlock = lastPart
123             # We process each cell. 16 values are calculated at a time
124             for cellRow in range(cellMaxpool):
125                 for cellCol in range(cellMaxpool):
126                     if wantDebug:
127                         print("\nmaxpoolRow {}, maxpoolCol {}, cellRow {}, cellCol {}".format(maxpoolRow, maxpoolCol, cellRow, cellCol))
128                     for row in range(filterMaxpool):
129                         for col in range(filterMaxpool):
130                             # Take oneCell, find itsMax
131                             sourceRow = (row * filterMaxpool) + (cellMaxpool * cellRow)
132                             sourceRow2 = (row * filterMaxpool) + (cellMaxpool * (cellRow+1))
133                             sourceCol = (col * filterMaxpool) + (cellMaxpool * cellCol) # 0, 4, 8, 12
134                             sourceCol2 = (col * filterMaxpool) + (cellMaxpool * (cellCol+1)) # 0, 4, 8, 12
135                             oneCell = aBlock[sourceRow:sourceRow2, sourceCol:sourceCol2]
136
137                             targetRow = maxpoolRow//2 + (row * cellMaxpool + cellRow)
138                             targetCol = maxpoolCol//2 + (col * cellMaxpool + cellCol)
139                             itsMax = np.max(aBlock[sourceRow:sourceRow2, sourceCol:sourceCol2])
140                             if wantDebug:
141                                 print("maxPool #{}, oneCell[{},{}] = \n {} \ntemp[{},{}] = {}".format(m, sourceRow, sourceCol, oneCell, targetRow, targetCol, itsMax))
142                             temp[targetRow, targetCol] = itsMax
143                             m = m + 1
144
145             out2 = temp[0:Nh, 0:Nw]
146             print("total maxPool2dt4d = ", m)
147             print(out2.shape)
148             return out2

```

Gambar 12. *Maxpool2DT4D*

Untuk membuktikan bahwa algoritma *Maxpool2DT4D* hasil modifikasi lebih cepat dibandingkan *maxpool* tradisional, maka dilakukan percobaan untuk memproses sebuah foto dengan resolusi berbeda-beda, yaitu 224x224, 416x416 dan 1024x1024 piksel (Gambar 13).



Gambar 13. Grafik Perbandingan Maxpool dan Maxpool2DT4D

Sesuai dengan analisis algoritma, program Maxpool2D terlihat menggunakan struktur pengulangan dua lapis, sedangkan Maxpool2DT4D menggunakan struktur pengulangan enam lapisan (*nested loops*) dan memiliki notasi Big-O(n^2). Tabel 2 dan Tabel 3 memperlihatkan analisis jumlah *loop* untuk setiap resolusi *maxpool2D* dan *maxpool2DT4D* dan Gambar 14 memperlihatkan grafik jumlah loopnya, terjadi penurunan jumlah *loop* sebanyak 25%.

Tabel 2 Jumlah *Loop* Maxpool2d

Lebar x Tinggi	Resolusi (n)	y	x	Jumlah Loop maxpool2D
224x224	224	224	224	50,176
512x512	512	512	512	262,144
1024x1024	1,024	1,024	1,024	1,048,576
5120x5120	5,120	5,120	5,120	26,214,400
10240x10240	10,240	10,240	10,240	104,857,600

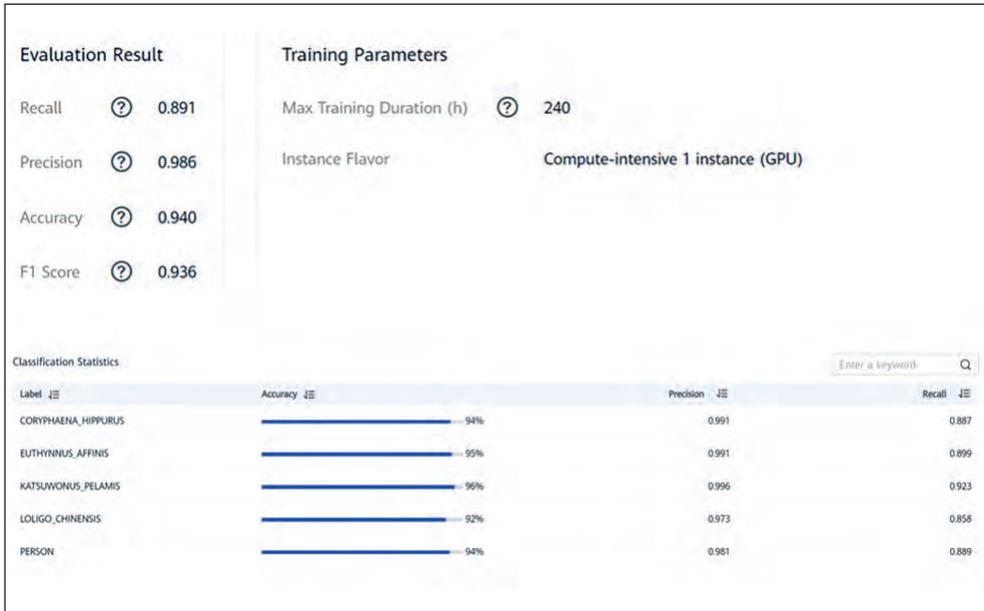
Tabel 3 Jumlah *Loop* Maxpool2d4td

Lebar x Tinggi	Resolusi (n)	maxpolRow	maxpoolCol	cellRow	cellCol	row	col	Jumlah Loop maxpool2DTD
224x224	224	14	14	4	4	2	2	12,544
512x512	512	32	32	4	4	2	2	65,536
1024x1024	1,024	64	64	4	4	2	2	262,144
5120x5120	5,120	320	320	4	4	2	2	6,553,600
10240x10240	10,240	640	640	4	4	2	2	26,214,400



Gambar 14. Grafik Jumlah *Loop* Maxpool2D dan Maxpool2DT4D

2. Pengenalan Objek

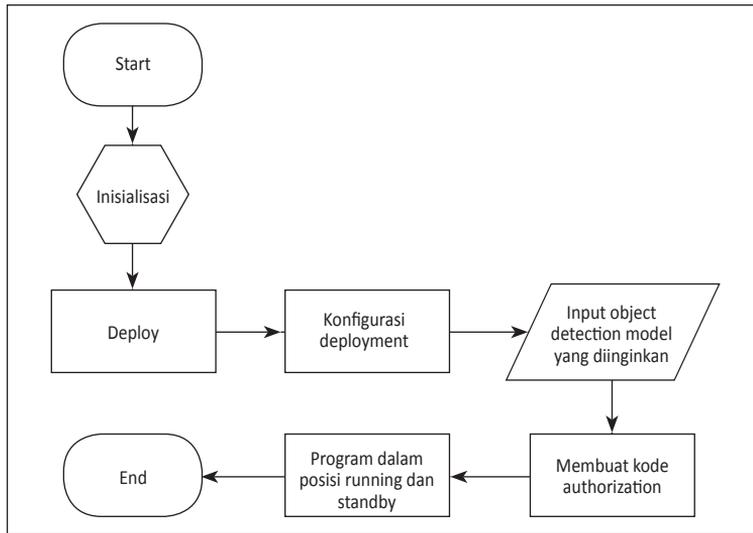


Gambar 15. Hasil *Training* Pengenalan Objek

Gambar 15 menunjukkan proses *training* menggunakan 1 buah GPU dengan hasil *recall* sebesar 0,891, *precision* sebesar 0,896, *accuracy* sebesar 0,940, dan *F1 score* 0,936.

Spesifikasi *object detection model* diperoleh setelah proses *training* selesai. Spesifikasi ini didapatkan dari hasil pengujian atau evaluasi yang sudah dilakukan secara otomatis ketika proses *training* berlangsung. *Recall* merupakan indikator untuk mengetahui rasio antara data *true positive* yang sudah diberi label oleh *object detection model* terhadap data yang sebenarnya pada realita atau seberapa banyak prediksi yang benar dari semua ikan sesungguhnya. *Precision* merupakan rasio antara prediksi *true positive* oleh *object detection model* terhadap data *true positive* yang diberi label oleh pengguna (*user*) atau seberapa banyak ikan cakalang yang sebenarnya diberi label oleh pengguna. *Accuracy* merupakan rasio antara pemberian *label* yang benar pada objek atau target deteksi terhadap seluruh objek yang ingin dilakukan deteksi atau seberapa banyak objek yang diberikan label dengan benar terhadap objek yang ingin dideteksi. Kemudian, *F1 score* merupakan *harmonic average* antara *precision* dan *recall* atau dapat disebut juga keseimbangan antara *precision* dan *recall*. *Object detection model* ini sudah siap digunakan untuk melakukan deteksi objek yang diinginkan.

Gambar 16 menunjukkan diagram alir proses *deploy* yang dilakukan dalam Huawei Cloud pada layanan *real-time services*. Setelah memilih menu *deploy*, pengguna akan diarahkan untuk langsung melakukan konfigurasi, seperti memilih jenis *object detection model* yang ingin digunakan, *timer*, aksesibilitas, dan jenis perangkat keras yang ingin digunakan. Dalam melakukan implementasi, peneliti menggunakan



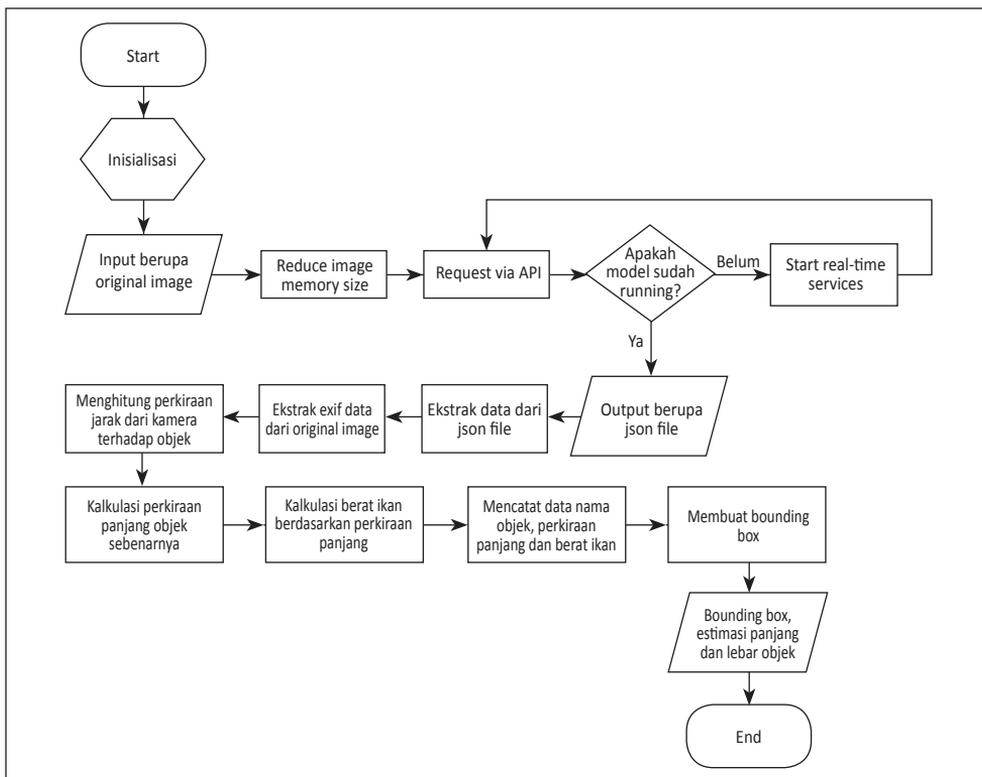
Gambar 16. Diagram Alir Model *Deployment*

object detection model yang sebelumnya sudah selesai dalam proses *training* serta memilih *public resource pools* agar dapat diakses oleh banyak pengguna dalam waktu bersamaan dan perangkat keras 2 vCPUs dengan memori RAM sebesar 8 GB. Setelah konfigurasi selesai, langkah selanjutnya adalah menambah *code authorization* yang berfungsi sebagai kode akses *object detection model* yang sedang berjalan pada layanan *real-time services* Huawei Cloud.

3. Estimasi Panjang dan Berat

Seperti yang terlihat pada Gambar 17, pada saat mulai, pengguna memberikan *input image* yang dapat diambil dari berbagai macam sumber berbeda. Namun, jika ingin melakukan kalkulasi perkiraan jarak dari kamera terhadap objek, perkiraan panjang dan berat objek diperlukan *input image* yang memiliki data *exchangeable image file* (EXIF). Biasanya, data EXIF tertanam bersama *image file* yang diambil dari kamera digital. Pengguna juga dapat melakukan *image input* yang tidak memiliki data EXIF, tetapi *output* hanya akan berupa *bounding box* dari objek yang terdeteksi dan tidak dapat melakukan estimasi jarak dari kamera terhadap objek serta perkiraan panjang dan berat objek

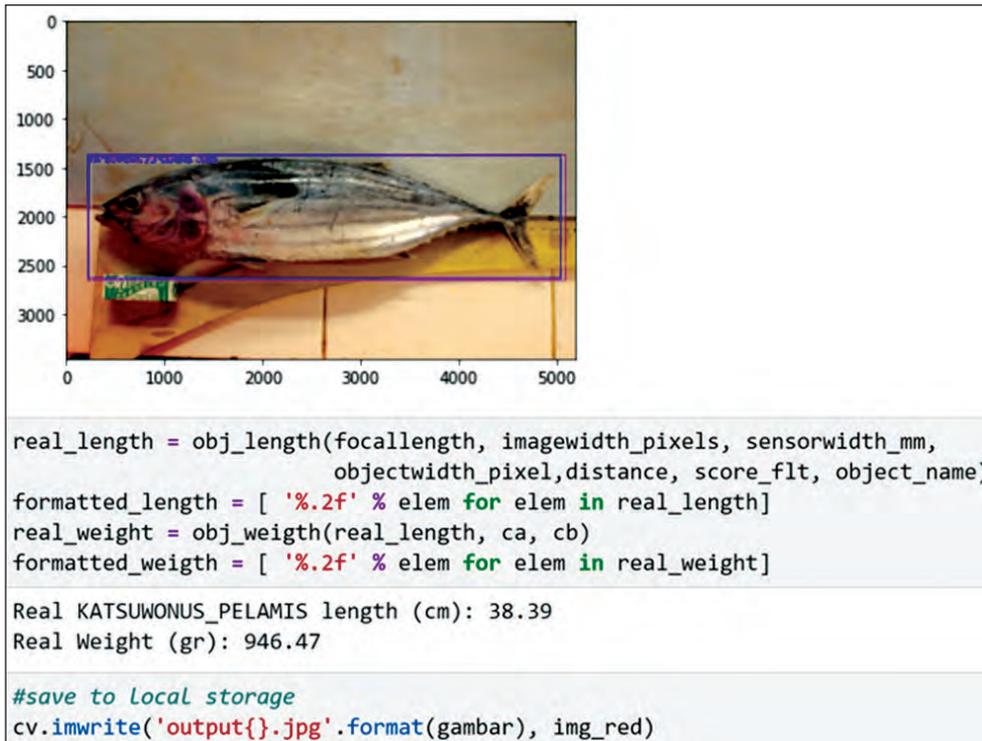
Uji coba kali ini melibatkan sumber *input image* yang memiliki data EXIF dan tidak. Input *image* yang memiliki data EXIF dari kamera digital akan memiliki ukuran lebih dari 1 MB sehingga diperlukan *compress image size* agar data gambar yang dikirim kepada Huawei Cloud tidak mengalami *time out* karena membutuhkan waktu di atas 30 detik. Setelah berhasil diperkecil, gambar akan dikirim pada *Huawei Cloud* melalui API dan mendapatkan *authorization code*, kemudian dideteksi dan akan mengirimkan kembali *output* kepada pengguna berupa format *.json* yang berisikan *class name*, *bounding box coordinate*, dan *detection score*. Namun, layanan *real-time*



Gambar 17. Diagram Alir Uji Coba

services harus diaktifkan terlebih dahulu untuk mendapatkan *output* dengan format tersebut. Data dari *.json file* ini berfungsi untuk menggambar *bounding box* pada *local environment*. Data koordinat *bounding box* juga dapat digunakan untuk menemukan perkiraan panjang objek dengan satuan piksel. Setelah data *.json file* berhasil diolah, program sudah dapat membuat *bounding box* dalam *local environment*.

Selanjutnya adalah tahap pengukuran estimasi jarak antara kamera dan objek. Data estimasi jarak antara kamera dan objek ini diperoleh dari data EXIF pada sebuah gambar yang ditangkap menggunakan kamera digital (penelitian menggunakan Canon Kiss X7 dan Panasonic DMC-FH1). Data EXIF akan mengambil perkiraan jarak terjauh (*distance upper*) dan perkiraan jarak terdekat (*distance lower*), kemudian didapatkan nilai rata-rata yang akan digunakan untuk estimasi jarak dari kamera terhadap objek. Setelah itu, diperlukan juga *focal length* dan *image width pixel* dari data EXIF tersebut. Terakhir, diperlukan juga *sensor width* yang didapatkan dari data spesifikasi kamera yang akan digunakan untuk mencari perkiraan panjang objek. Setelah mendapatkan perkiraan panjang dan berat objek, data akan disimpan dalam bentuk *.csv file* beserta dengan *class name* pada *local storage* untuk mempermudah melakukan pencatatan data dari objek yang sudah diketahui, dalam kasus ini berarti mencatat juga seberapa banyak hasil tangkapan ikan yang sudah diperoleh dan data juga dapat diolah lagi setelah itu.



Gambar 18. Perhitungan Panjang Ikan [48]

Uji coba dengan gambar yang memiliki data EXIF akan menggunakan sepuluh gambar yang telah ditangkap menggunakan kamera Canon Kiss X7. Data yang diambil adalah ikan cakalang. Gambar dikirim pada *real-time services* Huawei Cloud untuk mendapatkan hasil prediksi, data *class name*, *coordinate*, dan *prediction score*. Gambar yang dikirim akan dilakukan kompresi terhadap *file size* terlebih dahulu.

Kalkulasi penjang ikan diperoleh dari *bounding box* yang terdeteksi kemudian diambil selisih koordinat x-nya, mengambil jarak informasi EXIF sehingga diketahui jaraknya, serta menampilkan gambar ikan dalam piksel, kelas beserta skornya, panjang dan beratnya. Sebagai contoh, ikan tongkol dengan *ground truth* panjang 46 cm dan bobot 1.410 gram dengan jarak antara kamera dan ikan sejauh 50 cm. Hasil percobaan mencatat estimasi panjang dan berat ikan tongkol sebanyak sepuluh kali pengambilan foto dengan perhitungan persentase error estimasi panjang diperoleh 2,59%.

$$\%Error \text{ Estimasi panjang} = -X100$$

$$\text{Error Estimasi panjang} = 2,59\%$$

Sedangkan persentase *error* estimasi bobot diperoleh 15.67%.

$$\%Error \text{ Estimasi bobot} = \frac{1630,94 - 1410}{-410} \times 100$$

$$\text{Error Estimasi bobot} = 15,67\%$$

Data dari hasil uji coba yang diperoleh menunjukkan bahwa *object detection model* mampu mengenali perbedaan setiap *class* dengan baik. Terlihat rerata tingkat persentase ketepatan mendeteksi sebesar 89,55% sebagai bukti keberhasilan deteksi yang sangat baik (lihat Tabel 4). Hasil penelitian yang dilakukan lebih baik dibandingkan beberapa penelitian yang menggunakan CCN dengan hasil 81,4% [27], 83,2% [28], dan 88,12% [9].

Tabel 4. Ketepatan Prediksi Tiap Kelas

No	Kelas	Akurasi (%)
1.	Katsuwonus Pelamis	82,30
2.	Euthynuss Affinis	91,40
3.	Coryphaena Hippurus	89,40
4.	Loligo Chinensis	95,10
Rerata		89,55

Algoritma YOLOV3-Resnet18 sudah banyak digunakan dan beberapa di antaranya sudah menjadi produk komersial untuk mendeteksi objek dan mengenalinya, tetapi *dataset* yang digunakan pada umumnya menggunakan ImageNet. YOLOV3-Resnet18 yang dilatih dengan *dataset* sendiri sebanyak 4.000 gambar ikan dengan masing-masing 1.000 gambar tiap kelasnya dapat mengenali cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi.

D. KESIMPULAN DAN SARAN

Percepatan proses pada *maxpool layer* adalah dengan mengurangi jumlah *loop* dan memperbanyak perhitungan hasil dalam setiap iterasinya. Hasil percobaan memperoleh percepatan Maxpool2DT4D dengan rata-rata 221.01 ms (27,99%) dan kompleksitas *maxpool* dapat diturunkan menjadi 25% dari jumlah *loop* semula. Cara mendeteksi objek ikan dari sebuah gambar dengan latar belakang berbeda-beda dan jarak yang statis adalah dengan melakukan *training* gambar cakalang, tongkol, ikan lemadang, dan cumi-cumi menggunakan YOLOV3-Resnet18 yang dapat mendeteksi objek dengan tingkat akurasi 89,55%. Perhitungan estimasi panjang objek yang ditangkap oleh kamera digital ditentukan oleh besarnya ukuran APS-C *sensor size* dalam penelitian ini adalah 22,3 x 14,9 mm sehingga jika menggunakan kamera lain dengan ukuran sensor berbeda dapat menyesuaikan dalam program perhitungannya. Penempatan kamera terhadap objek secara perpendikular mengestimasi panjang objek yang tertangkap pada sensor lensa kamera dalam piksel dengan mendeteksi *bounding box*-nya, jarak kamera dengan objek yang diketahui, dan karakteristik lensa kamera yang digunakan sehingga panjang ikan yang sesungguhnya dapat dihitung. Dari hasil percobaan diperoleh eror estimasi panjang sebesar 2,59% dan eror estimasi berat sebesar 15,67%.

Saran pengembangan yang dapat diberikan adalah melanjutkan penelitian dengan menerima input berupa video dan melakukan uji coba secara langsung dengan menempatkan kamera pada kapal nelayan berjarak 50 cm perpendikular dari atas dek kapal dan kamera dipasang pada saat akan ikan masuk ke lubang palka. Proses kalibrasi dilakukan setelah menempatkan kamera dengan mengukur seekor ikan dengan panjang diketahui dan menyesuaikan faktor kalibrasi sehingga sistem dapat mendeteksi ikan dengan panjang yang sebenarnya. Sistem dikembangkan lebih lanjut untuk dapat diterapkan pada kondisi lapangan yang sesungguhnya dengan memperhatikan juga faktor kabut, hujan, dan suasana terang atau mendung. Sistem mengambil titik GPS kapal nelayan ketika melakukan penangkapan. Cara kerja berbasis Maxpool2DT4D dapat diadaptasikan untuk melakukan modifikasi algoritma *convolve2D*. Perlu penelitian lebih lanjut untuk mengamati permasalahan *resources* dan *computational time*.

DAFTAR PUSTAKA

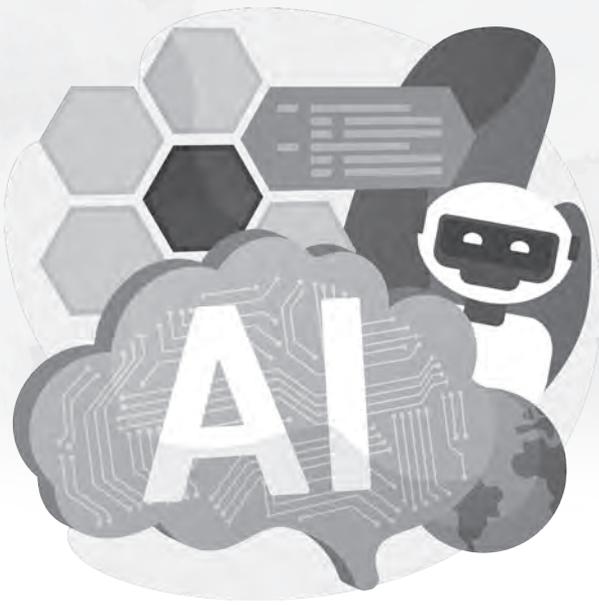
- [1] Hariono. "Nilai dan Volume Ekspor Tuna, Cakalang, Tongkol Periode Januari-Maret (Triwulan I) Tahun 2019 Mengalami Kenaikan." KKP.go.id. Diakses pada 16 Oktober 2019 [Daring.] <https://kkp.go.id/djpdspkp/bbp2hp/artikel/11444-nilai-dan-volume-ekspor-tuna-cakalang-tongkol-periode-januari-maret-triwulan-i-tahun-2019-mengalami-kenaikan>
- [2] M. Ambari. "Menelusuri Keberadaan Tuna yang Terancam Punah di Indonesia." Mongabay.co.id. Diakses pada 17 April 2018 [Daring.] <https://www.mongabay.co.id/2017/02/20/menelusuri-keberadaan-tuna-yang-terancam-punah-di-indonesia/>
- [3] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 16 Tahun 1997 Tentang Statistik (Indonesia, 1997). Diakses pada 16 Oktober 2019. [Daring.] <https://peraturan.bpk.go.id/Home/Details/45944>
- [4] S. Triharyuni dan B. I. Prisantoso, "Species and size composition of tuna longline catches in the Southes of Java, Indian ocean," *Jurnal Saintek Perikanan*, vol. 8, no. 1, pp. 52–58, 2012. <https://doi.org/10.14710/ijfst.8.1.52-58>
- [5] M. R. M. Shafry, A. Rehman, R. Kumoi, N. Abdullah, dan T. Saba, "A new approach in measuring fish length using fish length from digital images (FiLeDI) framework," *International Journal of the Physical Sciences*, vol. 7, no. 4, pp. 607–618, 2012. <https://doi.org/10.5897/ijps11.1581>
- [6] C. I. Anumudu dan T. O. Mojekwu, "Advanced techniques for morphometric analysis in fish," *Journal of Aquaculture Research & Development*, vol. 06, no. 08, pp. 6–11, 2015. <https://doi.org/10.4172/2155-9546.1000354>
- [7] M. H. Jamaluddin dkk., "The effectiveness of fish length measurement system using non-contact measuring approach," *Jurnal Teknologi*, vol. 77, no. 20, pp. 67–74, 2015. <https://doi.org/10.11113/jt.v77.6554>
- [8] M. Man, N. Abdullah, M. S. M. Rahim, dan I. M. Amin, "Fish length measurement: The results from different types of digital camera," *Journal of Advanced Agricultural Technologies*, vol. 3, no. 1, pp. 67–71, 2016. <https://doi.org/10.18178/joaat.3.1.67-71>

- [9] M. Hao, H. Yu, dan D. Li, "The measurement of fish size by machine vision: A review," dalam *9th International Conference on Computer and Computing Technologies in Agriculture (CCTA)*, 2017.
- [10] G. Sanchez-Torres, A. Ceballos-Arroyo, dan S. Robles-Serrano, "Automatic measurement of fish weight and size by processing underwater hatchery images," *Engineering Letters*, vol. 26, no. 4, pp. 461–472, 2018.
- [11] R. Islamadina, N. Pramita, F. Arnia, K. Munadi, dan T. M. Iqbal, "Pengukuran badan ikan berupa estimasi panjang, lebar, dan tinggi berdasarkan visual capture," *Jurnal Nasional Teknik Elektro dan Teknologi Informasi (JNTETI)*, vol. 7, no. 1, pp. 57–63, 2018. <https://doi.org/10.22146/jnteti.v7i1.401>
- [12] G. Habib dan S. Qureshi, "Optimization and acceleration of convolutional neural networks: A survey," *Journal of King Saud University: Computer and Information Sciences*, vol. 34, no. 7, pp. 4244–4268, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.jksuci.2020.10.004>
- [13] NVIDIA. "Developer Resources for Deep Learning and AI." NVIDIA. Diakses pada 30 November 2018. [Daring.] <https://www.nvidia.com/en-us/deep-learning-ai/developer/>
- [14] A. Baldominos, Y. Saez, dan P. Isasi, "A survey of handwritten character recognition with MNIST and EMNIST," *Applied Sciences (Switzerland)*, vol. 9, no. 15, 2019. <https://doi.org/10.3390/app9153169>
- [15] S. Liawatimena dkk., "A fish classification on images using transfer learning and Matlab," dalam *1st 2018 Indonesian Association for Pattern Recognition International Conference, INAPR 2018 - Proceedings*, 2019, pp. 108–112. <https://doi.org/10.1109/INAPR.2018.8627007>
- [16] E. Nurdin dan A. S. Panggabean, "Musim penangkapan dan struktur ukuran cacalang (Katsuwonus pelamis Linnaeus, 1758) di sekitar rumpon di Perairan Palabuhanratu," *Jurnal Penelitian Perikanan Indonesia*, vol. 23, no. 4, pp. 299, 2017. <https://doi.org/10.15578/jppi.23.4.2017.299-308>
- [17] Z. Zou, Z. Shi, Y. Guo, dan J. Ye, "Object detection in 20 years: A survey," arXiv:1905.05055v2 [cs.CV], pp. 1–39, 2019. doi: <http://arxiv.org/abs/1905.05055>
- [18] B. Hariharan, P. Arbeláez, R. Girshick, dan J. Malik, "Simultaneous detection and segmentation," dalam *Computer Vision-ECCV 2014: Part VII*, D. Fleet, T. Padjla, B. Schiele, dan T. Tuytelaars, Eds., Zurich, Swiss, 2014, pp. 297–312. https://doi.org/10.1007/978-3-319-10584-0_20
- [19] B. Hariharan, P. Arbeláez, R. Girshick, dan J. Malik, "Hypercolumns for object segmentation and fine-grained localization," dalam *Proceedings of the IEEE Computer Society Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015, pp. 447–456. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2015.7298642>
- [20] J. Dai, Y. Li, K. He, dan J. Sun, "R-FCN: Object detection via region-based fully convolutional networks," dalam *Advances in Neural Information Processing Systems*, D. Lee, M. Sugiyama, U. Luxburg, I. Guyon, dan R. Garnett, Eds., 2016, pp. 379–387.
- [21] K. He, G. Gkioxari, P. Dollár, dan R. Girshick, "Mask R-CNN," dalam *Proceedings of the IEEE International Conference on Computer Vision*, 2017, pp. 2980–2988. <https://doi.org/10.1109/ICCV.2017.322>
- [22] A. Karpathy dan L. Fei-Fei, "Deep visual-semantic alignments for generating image descriptions," dalam *Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition*, 2015, pp. 3128–3137.

- [23] K. Xu dkk., “Show, attend and tell: Neural image caption generation with visual attention,” dalam *Proceedings of the 32nd International Conference on Machine Learning*, vol. 37, 2015 pp. 2048–2057.
- [24] Q. Wu, C. Shen, P. Wang, A. Dick, dan A. Van Den Hengel, “Image captioning and visual question answering based on attributes and external knowledge,” *IEEE Transactions on Pattern Analysis and Machine Intelligence*, vol. 40, no. 6, pp. 1367–1381, 2018. <https://doi.org/10.1109/TPAMI.2017.2708709>
- [25] K. Kang dkk. “T-CNN: Tubelets with convolutional neural networks for object detection from videos,” *IEEE Transactions on Circuits and Systems for Video Technology*, vol. 28, no. 10, pp. 2896–2907, 2018. <https://doi.org/10.1109/TCSVT.2017.2736553>
- [26] Y. Lecun, Y. Bengio, dan G. Hinton, “Deep learning,” *Nature*, vol. 521, no. 7553, pp. 436–444, 2015. <https://doi.org/10.1038/nature14539>
- [27] S. Jin, X. Yan, H. Zhang, dan W. Fan, “Weight-length relationships and Fulton’s condition factors of skipjack tuna (*Katsuwonus pelamis*) in the western and central Pacific Ocean,” *PeerJ*, vol. 2015, no. 2, 2015 <https://doi.org/10.7717/peerj.758>
- [28] X. Li, M. Shang, H. Qin, dan L. Chen, “Fast accurate fish detection and recognition of underwater images with fast R-CNN,” dalam *OCEANS 2015 – MTS/IEEE Washington*, Washington DC, AS, 2015, pp. 1–5. doi: [10.23919/OCEANS.2015.7404464](https://doi.org/10.23919/OCEANS.2015.7404464)
- [29] S. Cui, Y. Zhou, Y. Wang, L. Zhai, “Fish detection using deep learning,” *Applied Computational Intelligence and Soft Computing*, vol. 2020, Art. no. 3738108, 2020. doi: <https://doi.org/10.1155/2020/3738108>
- [30] E. M. Diritia, S. Lopez-Marcano, M. Sievers, E. L. Jinks, C. J. Brown, dan R. M. Connolly, “Automating the analysis of fish abundance using object detection: Optimizing animal ecology with deep learning,” *Frontiers in Marine Science*, vol. 7, no. June, pp. 1–9, 2020. <https://doi.org/10.3389/fmars.2020.00429>
- [31] M. Dhankar dan N. Walia, “An introduction to artificial intelligence,” dalam *Emerging Trends in Big Data, IoT and Cyber Security*, M. Kumar, R. Choudary, dan S. K. Pandhey, Eds. 2020, pp. 105–111.
- [32] A. Entwistle, “What is artificial intelligence?” *Engineering Materials and Design*, vol. 32, no. 3), pp. 1–14, 1988. <https://doi.org/10.1201/9781003080626-1>
- [33] S. Shalev-Shwartz dan S. Ben-David, *Understanding machine learning: From theory to algorithms*. Cambridge, Inggris: Cambridge University Press, 2014.
- [34] A. Giusti, D. C. Cireşan, J. Masci, L. M. Gambardella, dan J. Schmidhuber, “Fast image scanning with deep max-pooling convolutional neural networks,” dalam *2013 IEEE International Conference on Image Processing, ICIP 2013 - Proceedings*, 2013, pp. 4034–4038. <https://doi.org/10.1109/ICIP.2013.6738831>
- [35] K. Raza dan S. Hong, “Fast and accurate fish detection design with improved yolo-v3 model and transfer learning,” *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, vol. 11, no. 2, pp. 7–16, 2020. <https://doi.org/10.14569/ijacsa.2020.0110202>
- [36] O. Russakovsky dkk., “ImageNet large scale visual recognition challenge,” *International Journal of Computer Vision*, vol. 115, no. 3, pp. 211–252, 2015. <https://doi.org/10.1007/s11263-015-0816-y>

- [37] S. Shirmohammadi dan A. Ferrero, "Camera as the instrument: The rising trend of vision based measurement," *IEEE Instrumentation and Measurement Magazine*, vol. 17, no. 3, pp. 41–47, 2014. <https://doi.org/10.1109/MIM.2014.6825388>
- [38] S. Albawi, T. A. Mohammed, dan S. Alzawi, "Understanding of a convolutional neural network," dalam *2017 International Conference on Engineering and Technology (ICET)*, Antalya, Turki, 2017. doi: [10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186](https://doi.org/10.1109/ICEngTechnol.2017.8308186)
- [39] Karpathy, A. (2018). *CS231n Convolutional Neural Networks for Visual Recognition*. Diakses pada 10 Desember 2019. [Daring.] <https://cs231n.github.io/>
- [40] P. Singh, P. Raj, dan V. P. Namboodiri, "EDS pooling layer," *Image and Vision Computing*, vol. 98, Art. no. 103923, 2020. <https://doi.org/10.1016/j.imavis.2020.103923>
- [41] C. Y. Lee, P. W. Gallagher, dan Z. Tu, "Generalizing pooling functions in convolutional neural networks: Mixed, gated, and tree," dalam *Proceedings of the 19th International Conference on Artificial Intelligence and Statistics, AISTATS 2016*, 2016, pp. 464–472.
- [42] M. J. Holden dan D. F. S. Raitt. *Manual Of Fisheries Science Part 2 - Methods of Resource Investigation and their Application*, 1974. [Daring.] <http://www.fao.org/3/F0752E/F0752E03.htm>
- [43] Anonymous. (2016). *Skipjack tuna Updated : December 2016 Skipjack tuna Updated : December 2016. December*, 1–15.
- [44] W . Dimmlich. *Smart fishing initiative (SFI): Species overview skipjack tuna (Katsuwonus pelamis)*, 2015, pp. 1–5. Diakses pada 10 Desember 2018. [Daring.] https://wwfint.awsassets.panda.org/downloads/fact_sheet_wwf_sfi_skipjack_tuna_april_2015_final.pdf
- [45] I. Artetxe-Arrate dkk., "A review of the fisheries, life history and stock structure of tropical tuna (skipjack *Katsuwonus pelamis*, yellowfin *Thunnus albacares* and bigeye *Thunnus obesus*) in the Indian Ocean. *Advances in Marine Biology*, vol. 8, pp. 89–99, 2020. doi: <https://doi.org/10.1016/bs.amb.2020.09.002>
- [46] L. H. Baidhowie, S. Redjeki, H. Endrawati, S. Rejeki, dan H. Endrawati, "Morfometri dan komposisi isi lambung *Katsuwonus pelamis* yang didaratkan di Pantai Puger Jember Jawa Timur," *Journal of Marine Research*, vol. 8, no. 1, pp. 69–74, 2019. <https://ejournal3.undip.ac.id/index.php/jmr/article/view/24331>
- [47] J. S. Huxley, *Problems of Relative Growth*. New York: The Dial Press, 1932.
- [48] C. R. Kothari dan G. Garg, *Research Methodology: Methods And Techniques* (edisi keempat). New Delhi, India: New Age International, 2019.
- [49] S. Liawatimena, "Akselerasi maxpool pada pengenalan obyek dan pengukuran panjang *Katsuwonus Pelamis*, *Euthynnus Affinis*, *Coryphaena Hippurus* dan *Loligo Chinensis* menggunakan Convolutional Neural Network," Disertasi Doktorat, Universitas Bina Nusantara, 2022.
- [50] Anonymous. (n.d.) *Cakalang*. Diakses pada 7 Mei 2018. [Daring.] <https://www.flickr.com/photos/tags/cakalang/>
- [51] S. Liawatimena. (2022). *Cakalang*. Diakses pada 19 Mei 2022. [Daring.] <https://github.com/sliawatimena/cakalang>

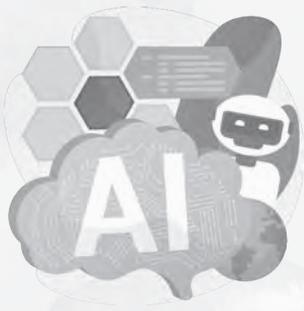
Buku ini tidak diperjualbelikan.



**KLASTER:
INISIATIF PEMANFAATAN
KECERDASAN ARTIFISIAL**

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 19

NLP'S GOLDEN ERA IN INDONESIA: PROJECT BINA

On Lee¹

GDP Labs and GDP Venture

ABSTRACT

Project BINA (Bahasa Indonesia NLP Alliances) is an Indonesia-based group of NLP leaders, innovators, researchers, practitioners, and businesses from around the globe collaborating to advance Natural Language Processing (NLP) technology for the official Indonesian language or Bahasa Indonesia. Its motto is "Advancing Indonesian language through collaboration, data and technology".

Over 400 exabytes (1018 bytes) of data will be generated globally each day by 2025. In addition to the official language, Indonesia has over 700 indigenous languages and dialects. Additionally, there are almost 130 million Meta (Facebook) users and about 19 million Twitter users, ranked #3 and ranked #5 most users in the world respectively. Furthermore, some Indonesian NLP researchers, innovators and practitioners have been researching NLP technology for the Indonesian language for decades and, similarly to other countries, progress has accelerated in recent years.

This is the golden era for NLP in Indonesia with talent, knowledge, data, technology and applications able to benefit the government, industry, academia, and the broader community.

Keywords: *Natural Language Processing, Bahasa Indonesia, Indigenous Languages, Dialects*

A. INTRODUCTION

1. What is Project BINA?

Project BINA (Bahasa Indonesia NLP Alliances) is an Indonesia-based group of NLP leaders, innovators, researchers, practitioners, and businesses from around the globe collaborating to advance the natural language processing (NLP) data and technology for the official Indonesian language, Bahasa Indonesia [1].

BINA is an Indonesian word which means architect, build, construct, or foster or make it better. Natural language processing (NLP) is a subfield of linguistics, computer science, and artificial intelligence (AI) concerned with the interactions between computers and human language [2]. Project BINA's motto is "Advancing the Indonesian language through collaboration, data and technology".

¹ **On Lee** has over 30 years of experience in technology. He has built teams in the United States, Indonesia, China, and India and is a board member of several AI start-up companies.

O. Lee
GDP Labs & GDP Venture, e-mail: onlee@gdpventure.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
O. Lee, "NLP's Golden Era in Indonesia: Project BINA," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 19, pp. 227-234, doi: 10.55981/brin.668.c555
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

2. Why Now?

Holon IQ [3] stated in their 50 National AI Strategies report that “Governments around the world see artificial intelligence (AI) as a nation defining capability. Countries are looking to their education systems to develop world-class generational AI capability while ensuring equity, privacy, transparency, accountability, economic, and social impact.” These 50 countries represent 90% of the global gross domestic product. Indonesia is one of them.

From Wikipedia, the Vision of Indonesia 2045 is an Indonesian ideal that set the goal for the country to be a sovereign, advanced, fair, and prosperous nation by its centennial in 2045 [4]. The goal is set in 2045, since by then the republic will commemorate 100 years of independence.

Prof. Bambang P. S. Brodjonegoro, as the Minister of Research and Technology/ Head of National Research and Innovation Agency announced Indonesia’s national AI strategy [5] during *Indonesia 25th National Technology Awakening Day* on August 10, 2020. The implementation of this AI strategy aligns with the sustainable development goals (SDG) and the Vision of Indonesia 2045.

KORIKA (*Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial Indonesia*) has been formed to execute Indonesia’s national AI strategy with collaboration between government, academia, industry and community, establishing *quad-helix* innovation ecosystem [6].

Over 400 exabytes (10^{18} bytes) of data will be generated globally each day by 2025. Indonesia has over 700 languages and dialects [7][8]. Additionally, there are almost 130 million Meta (Facebook) users and almost 19 million Twitter users, ranked #3 and ranked #5 most users in the world respectively [9]. Furthermore, some Indonesian NLP researchers, innovators, and practitioners have been researching NLP technology for Indonesian language for decades and, similarly to other countries, progress has accelerated in recent years.

3. Who? Customers, Contributors and Members

NLP is one of the latest technologies to emerge in the past few years. The recent breakthroughs in NLP follow patterns similar to the PC, the internet, and smartphone evolutions, which all started as niche areas and eventually became general-purpose technologies.

Text is everywhere! Every company produces and consumes texts. It means that everyone could be potential Project BINA customers. We could categorize them as government, academia, industry, and end-users.

There has been a strong interest in this area as shown by the initial contributors and members (in alphabetical order) as of this writing, AI Center ITB, APP Sinar Mas, BCA, Bahasa Kita, BRIN, Bukalapak, CATAPA, Datasaur.ai, DigitData.

ai, TekenAja, GDP Labs, GDP Venture, GLAIR.ai, INACL, KASKUS, Kontrak Hukum, KORIKA, Prosa.ai, Samsung, Telkom Indonesia, Tokopedia, and Twitter. In addition, the following in discussion are AWS, Bilibli, KOMINFO, Meta, Nvidia, Solve (MIT), and Tiket.com.

I am confident that many more organizations globally will be interested in joining Project BINA, as Indonesia is the second most linguistically diverse and the fourth most populous nation in the world, and the benefits are abundant.

4. Benefits

Project BINA aligns with the Vision of Indonesia 2045 and one of the main programs of KORIKA. It collaborates with the government, academia, industry, and community to improve the official language bahasa Indonesia and more than 700 languages and dialects in Indonesia by initially cleaning and labeling raw data from government regulations, Meta, and Twitter and turning it into intelligent data. The above will benefit the customers and Project BINA members tremendously. The customers and Project BINA members will receive more benefits as more data becomes available.

Equally important, there are benefits for Project BINA contributors as well.

- a. Avoid reinventing the wheel—popular data from Meta, Twitter, and government regulations are in high demand. Project BINA could perform the most common pre-processing and post-processing on the data to avoid duplicated efforts.
- b. Serve multiple stakeholders' requests using the same format—It's common practice that multiple government agencies, academia, industry, and community request the same data from Meta and Twitter. It would help with interoperability if everyone uses the same data and format.
- c. Networking opportunities—NLP is an emerging technology that is rising quickly. The NLP community is relatively small and scattered across different projects nationally and globally. Project BINA becomes a place where all NLP enthusiasts can collaborate in one place.
- d. Expand the ecosystem—there are new datasets being produced daily. They are increasingly large and complex. We could use all the help we could get. Progress could be made much faster by collaborating globally. It would increase productivity and reduce cost significantly.
- e. Potential new revenue source—as the data becomes intelligent, it becomes more useful and more applications will be developed. As a result, there will be more customers who are willing to pay for the value-added services.
- f. Potential integration with the national program Satu Data Indonesia (SDI) which will foster the digital transformation in Indonesia and establish data standardization and interoperability for all ministries and agencies in implementing digital government or *Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik* (SPBE).

B. DISCUSSION AND RESULT

1. Applications

Project BINA will initially annotate and build models of Meta Bahasa Indonesia, Twitter Bahasa Indonesia, and Indonesian Government regulations. Then, it will provide data-as-a-service (DaaS) via API.

Some proven to be useful NLP-based applications (not an exhaustive list) are sentiment analysis, product and service reviews, social media analytics, advertisement to targeted audience, article summarization, government regulation search, misinformation detection, detection for *suku, ras, agama, and antargolongan* (SARA), porn detection, illegal drug selling and arms detection, counterfeit product, phishing, and terrorism. For additional examples, see Going Paperless 2.0 [10] and Picture 1 below.

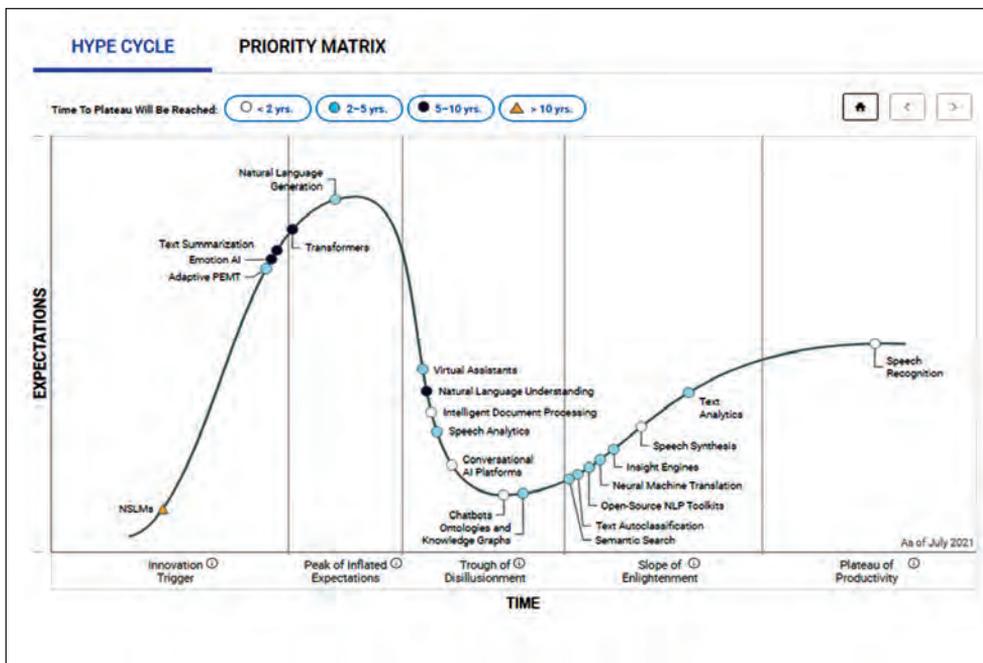


Figure 1. Diagram of hype cycle for natural language technologies 2021 [11]

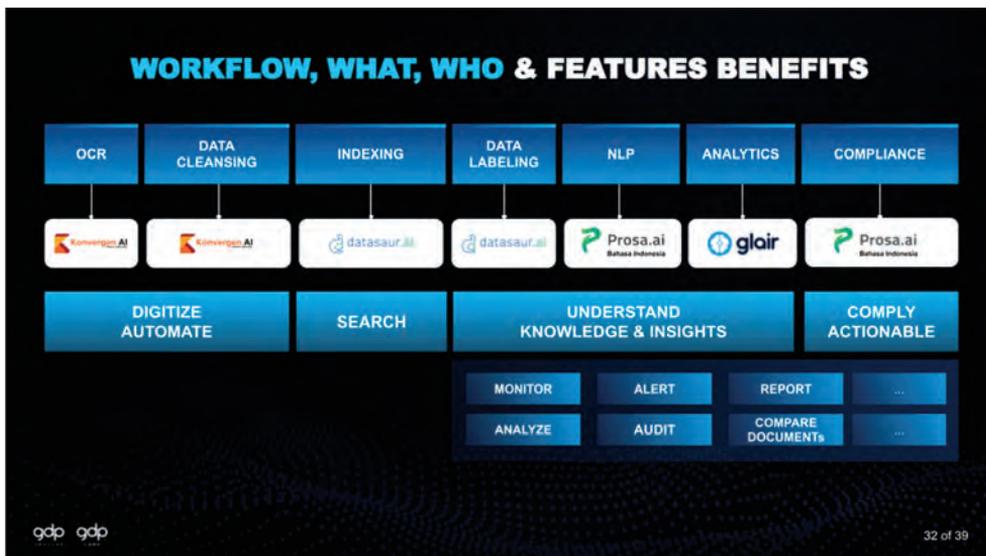
2. The Rise of Exponential ABCD-X Technologies

Although Amazon, Apple, Google, and Microsoft focus on ecommerce, device, search and software productivity respectively, they all have one thing in common: they all invest heavily in—and leverage—AI, Blockchain, Cloud, Data (ABCD), and X (Cryptography, IoT, Mobile, Security, Web) technologies. In short, exponential ABCD-X technologies. Each of these technologies has become a multi-billion dollar business in its own right.

NLP is part of AI, it can't run on its own and it has to be integrated with some or all ABCD-X technologies. Specifically, we want to respect user's privacy. Project BINA will encrypt the data in use, in transit and at rest. Additionally, we will apply privacy-enhancing computation like zero-knowledge-proof and apply military-grade security.

3. Case Study

I would like to share a case study of implementing AI in financial services, specifically for regulatory technology (regtech) [12]. It applies NLP on almost 50,000 pages from Bank Indonesia (BI), Otoritas Jasa Keuangan (OJK, Financial Services Authority), and government documents as shown on Picture 2 below.



Picture 2. Workflow

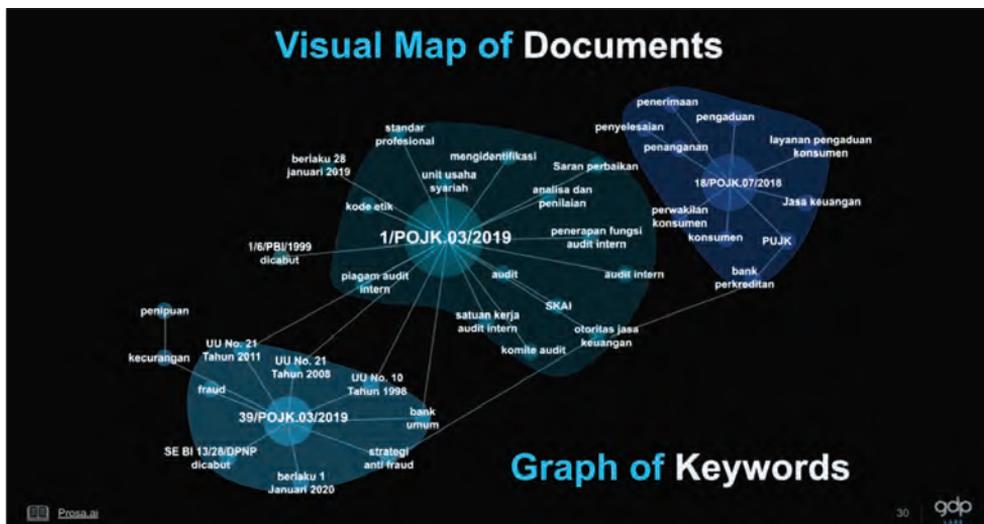
a. Input

- 1) Bank Indonesia
 - a) PBI (Peraturan Bank Indonesia)
 - b) SKDIR (Surat Keputusan Direktur Bank Indonesia)
 - c) SEBI (Surat Edaran Bank Indonesia)
 - d) PADG (Peraturan Anggota Dewan Gubernur Bank Indonesia)
- 2) Otoritas Jasa Keuangan
 - a) POJK (Peraturan OJK)
 - b) SEOJK (Surat Edaran OJK)
 - c) BAPEPAM (Badan Pengawas Pasar Modal dan Lembaga Keuangan)

- 3) Government
 - a) UU (Undang-Undang)
 - b) PMK-KMK (Peraturan/Keputusan Menteri Keuangan)
 - c) PP (Peraturan Pemerintah)
- b. Workflow
 - 1) Konvergen.ai [13] deep learning technology converts legacy hardcopy and PDF documents into text. Digitizing everything is a prerequisite for any digital transformation initiative to understand what has happened in the past so the companies could plan accordingly for the future.
 - 2) Datasaur.ai [14] text labeling tool annotates converted text so NLP algorithms could be applied effectively.
 - 3) Prosa.ai [15] NLP technology takes the labeled text and models it using deep learning algorithms. It can build relationships between documents, check for the differences and similarities, etc.
 - 4) GLAIR.ai [16] applies its analytics platform to do text mining. The above pre-processing enables the digital transformation initiative to analyze the data by using AI-powered analytics: Descriptive Analytics to learn what happened, predictive analytics to predict what will happen and prescriptive analytics to recommend actionable plan

c. Output

Below is one of the outputs.



Picture 3. Visual Map of Documents with Graph of Keywords

Buku ini tidak diperjualbelikan.

The result is consistent with McKinsey's The state of AI in 2021: cost-reduction, improved productivity and increased revenues. Why? AI is doing something different and much better than traditional software automation. The analogy: AI (NLP and OCR) is a smartphone and traditional software automation is a feature phone.

Armand Hartono, Deputy President Director, said, *“BCA is an early adopter of AI technology. AI has been implemented at both BCA front-facing customer services as well as our back office. The RegTech and other AI projects have served us well especially during pandemic. AI is part of our professional and daily life now. We will continue developing AI-powered services.”*

The above technology and solution could be applied to other industries like healthcare, telecommunications, transportations, legal, etc. Some select forward-looking government agencies and companies in Indonesia have been implementing AI.

C. CALL TO ACTION

This is the golden era for NLP in Indonesia with the new talents, knowledge, data, technology, and applications to benefit everyone in the government, industry, academia and community. An African Proverb says, *“If you want to go fast, go alone. If you want to go far, go together.”* Let's advance Indonesian language through collaboration, data and technology. Please join, contribute and develop <https://projectbina.id>!

You need to describe the workflow for project BINA to develop NLP downstream task just like you have elaborate on Use case for GDPLabs delivering output visual map documents. Please ask Prosa.ai to elaborate on sentiment analysis that they have developed and can be re-use in ProjectBina.

You should also describe the role and task that will be carried out by each members in Project Bina, whether they will do crowdsourcing on data collection, information extraction etc.

REFERENCES

- [1] “Project BINA.” projectbina.org. [Online]. <https://projectbina.org>
- [2] “Natural language processing.” Wikipedia. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Natural_language_processing
- [3] HolonIQ, “50 national AI strategies – The 2020 AI strategy landscape.” holonIQ.com. [Online]. <https://www.holonIQ.com/notes/50-national-ai-strategies-the-2020-ai-strategy-landscape>
- [4] “Vision of Indonesia 2045.” Wikipedia. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Vision_of_Indonesia_2045
- [5] Asia AI News, “Indonesia national AI strategy published this month.” Medium.com. [Online]. <https://medium.com/@asiaainews/indonesia-national-ai-strategy-published-this-month-6eab3d76224>

- [6] “Kolaborasi untuk percepatan inovasi kecerdasan artifisial Indonesia.” KORIKA. [Online]. <https://korika.id>
- [7] B. Vuleta, “How much data is created every day? +27 staggering stats.” SeedScientific. [Online]. <https://seedscientific.com/how-much-data-is-created-every-day/>
- [8] A. F. Aji et al., “One country, 700+ languages: NLP challenges for underrepresented languages and dialects in Indonesia.” Mar 2022, <https://doi.org/10.48550/arXiv.2203.13357>
- [9] “Leading countries based on Facebook audience size as of January 2022.” Statista. [Online]. <https://www.statista.com/statistics/268136/top-15-countries-based-on-number-of-facebook-users/>
- [10] O. Lee. (2021). Going paperless 2.0 (GP2). [PowerPoint slides]. https://docs.google.com/presentation/d/1L7OkErg03vpWpV_tkHk7M73WrCY9V4vTqGGMd1-cqmE/edit#slide=id.gf91cca1084_0_3098
- [11] “Hype cycle for natural language technologies.” Gartner. [Online]. <https://www.gartner.com/account/signin?method=initialize&TARGET=https%3A%2F%2Fwww.gartner.com%2Finteractive%2Fhc%2F4003843%3Fref%3DnotificationCenter>
- [12] “Intelligent data capture for an automated workflow.” Konvergen AI. [Online]. <https://konvergen.ai>
- [13] “Regulatory technology.” Wikipedia. [Online]. https://en.wikipedia.org/wiki/Regulatory_technology
- [14] “The best text and audio data labelling tool.” Datasaur. [Online]. <https://datasaur.ai>
- [15] “Bahasa Indonesia NLP – Text and speech AI solutions.” Prosa.ai. [Online]. <https://prosa.ai>
- [16] “AI, blockchain, cloud, big data and security consulting company in Indonesia.” GLAIR.ai. [Online]. <https://glair.ai>
- [17] O. Lee. “AI opportunities: Made in Indonesia by Indonesians for Indonesians.” The Jakarta Post. [Online] <https://www.thejakartapost.com/life/2019/10/30/ai-opportunities-made-in-indonesia-by-indonesians-for-indonesians.html>
- [18] AI is Going Mainstream - Google Docs
- [19] "Optical character recognition." Wikipedia. [Online] https://en.wikipedia.org/wiki/Optical_character_recognition



CHAPTER 20

KECERDASAN ARTIFISIAL DALAM *GENOME SEQUENCING*

Telly Kamelia

Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA)

ABSTRAK

Materi genetik, baik berupa *deoxyribonucleic acid* (DNA) maupun *ribonucleic acid* (RNA), yang tersimpan dalam sel-sel penyusun tubuh disebut dengan genom. Informasi yang dibawa oleh genom merupakan informasi biologi yang diperlukan untuk membangun jaringan tubuh, mempertahankan hidup, dan mewariskan ke keturunan berikutnya. *Genome sequencing* merupakan suatu pengurutan nukleotida DNA dari suatu genom organisme. Saat ini, generasi terbaru menggunakan teknologi *next-generation sequencing* (NGS) yang dapat diaplikasikan dari level makro hingga mikro. Proses *genome sequencing*, aplikasinya pada berbagai bidang, dan pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam prosesnya diuraikan dalam tinjauan literatur ini. Artikel ini adalah tinjauan literatur terhadap dua puluh tujuh artikel yang didapatkan dari basis data daring. Hasil dari berbagai studi menunjukkan terdapat berbagai metode pengurutan genom serta pengaplikasian pengurutan genom pada biologi, manusia, hewan, dan tumbuhan. Pengaplikasian *genome sequencing* atau genom berbasis kecerdasan artifisial juga telah dikembangkan, misalnya dalam penyebutan varian genom, penyuntingan genom, farmakologi molekuler, dan proses pertukaran data. Tinjauan ini menyimpulkan bahwa pengurutan genom berbasis kecerdasan artifisial dapat meningkatkan efektivitas suatu proses *genome sequencing*. Dibutuhkan kolaborasi antarhli dalam bidang biologi, khususnya ahli genomik dan ahli kecerdasan artifisial, untuk menghasilkan suatu algoritma kecerdasan artifisial yang bermanfaat untuk masyarakat Indonesia.

Kata kunci: pengurutan genom, kecerdasan artifisial, *next-generation sequencing*, *biologi molekuler*

A. PENDAHULUAN

Setiap makhluk hidup memiliki materi genetik, baik berupa *deoxyribonucleic acid* (DNA) maupun *ribonucleic acid* (RNA), yang tersimpan dalam sel-sel penyusun tubuh yang disebut genom [1]. Genom merupakan suatu kesatuan dari materi genetik sebuah organisme yang mengandung pusat data sebuah organisme dalam menjalani

T. Kamelia

Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA), e-mail: ilmiah.korika@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN

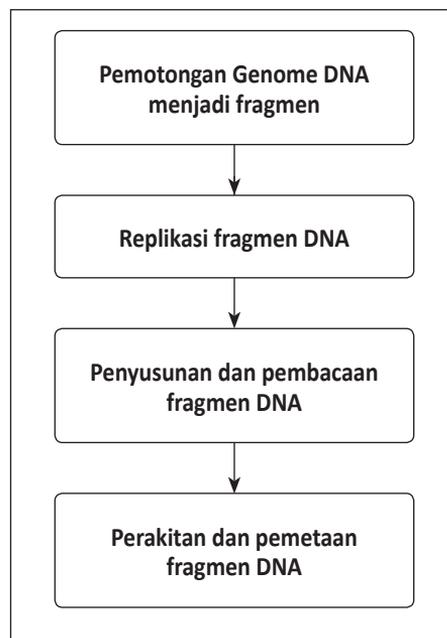
T. Kamelia, "Kecerdasan artifisial dalam *Genome Sequencing*," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 20, pp. 235-247, doi: 10.55981/brin.668.c556

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

fungsinya dalam kehidupan. Informasi yang dibawa oleh genom merupakan informasi biologi yang diperlukan untuk membangun jaringan tubuh, mempertahankan hidup, dan mewariskan ke keturunan berikutnya [2]. Pengurutan genom (*genome sequencing*) merupakan pengurutan dan perangkaian nukleotida DNA dari suatu genom organisme menggunakan komputasi dan algoritma yang kompleks.

Genome sequencing pertama kali dikenalkan oleh Frederick Sanger pada tahun 1975. Hal ini terus berkembang hingga pada tahun 1977 Frederick Sanger merumuskan sebuah metode pengurutan genom, yaitu metode *dideoxy*, diikuti oleh Maxam-Gilbert yang merumuskan sebuah metode pemutusan rantai [1][2][3]. Kedua metode ini dianggap menjadi generasi pertama dalam dunia pengurutan genom. Saat ini, generasi terbaru menggunakan teknologi *next-generation sequencing* (NGS) yang dapat diaplikasikan dari level makro hingga mikro, termasuk pengurutan seluruh *genom de novo* (*whole-genome sequencing*), pengurutan ulang genom, pembuatan profil mRNA, menganalisis evolusi molekuler, mendeteksi pola metilasi, memecahkan kasus kriminal, menjelajahi catatan, serta mengevaluasi protein pengikat DNA dan struktur kromatin [4].

Secara umum, pengurutan genom diawali dengan pemotongan rantai-rantai DNA yang nantinya akan disusun kembali sesuai dengan urutannya dari fragmen potongan DNA tersebut. Proses pengurutan genom secara singkat dapat dilihat pada Gambar 1. Metode pengurutan DNA yang pertama kali dirumuskan dinamakan Sanger *sequencing* atau metode pemutusan rantai. Metode ini menggunakan sintesis enzim untuk memecah rantai fragmen dari DNA. Sintesis enzim membutuhkan

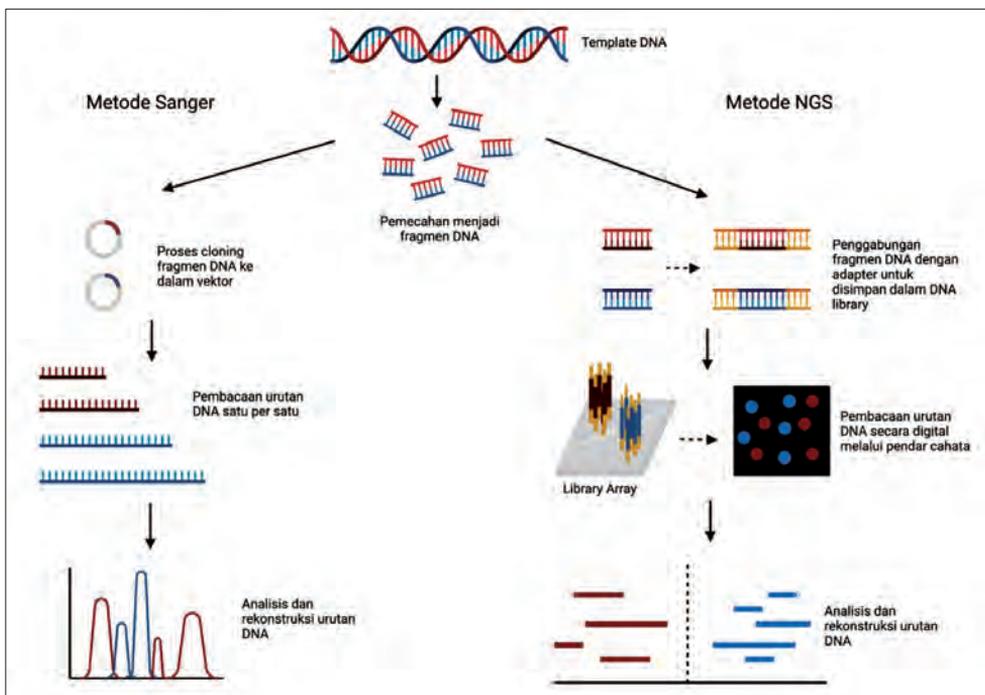


Gambar 1. Skema Singkat Pengurutan Genom

cetakan ssDNA yang akan diurutkan, primer, Taq polimerase untuk memperkuat cetakan DNA, *buffer*, *deoxynucleotida* (dNTPs), dan pewarna nukleotida, yaitu *dideoxynucleotide triphosphates* (ddNTPs). Metode ini cukup mahal dan memakan waktu yang lama untuk mendapatkan hasil yang baik untuk dibaca. Kunci utama dalam metode ini adalah penggunaan ddNTPs sebagai pemutus rantai DNA [3].

Metode pengurutan genom juga dikeluarkan oleh Maxam-Gilbert yang melibatkan bahan kimia radioaktif dalam prosesnya. Reagen kimia akan bekerja secara spesifik pada basa yang ada di dalam molekul DNA. Walaupun metode ini sangat cocok untuk pengurutan DNA yang heterogen, penggunaan bahan kimia radioaktif cukup berbahaya dan sulit untuk digunakan pada pengurutan DNA berskala besar. Metode Sanger *sequencing* masih lebih diminati dikarenakan lebih efisien [1][2][3].

Saat ini, terdapat metode pengurutan genom yang telah dimodifikasi sedemikian rupa sehingga tercipta sebuah metode yang efektif dan efisien dalam pengurutan genom, yaitu NGS. NGS menggantikan sintesis enzim dengan mesin sehingga proses pengurutan genom menjadi lebih cepat. Langkah awal dari metode ini adalah persiapan fragmen dari sampel DNA menjadi sebuah bentuk yang sesuai dengan data pengurutan. Persiapan dilakukan dalam sebuah *library preparation* dengan beberapa tahap, seperti fragmentasi DNA, pengurutan adaptor, seleksi ukuran, dan kuantifikasi, serta kontrol kualitas dari fragmen tersebut. Setelah melewati tahapan ini, fragmen tersebut akan dibawa ke sebuah mesin pengurutan DNA [1][3]. Saat ini, terdapat beberapa aplikasi pengurutan genom yang lazim digunakan, yaitu 454 GS Roche,



Gambar 2. Perbandingan Metode Sanger dan NGS

HiSeIllumina, dan Life Technology Solid 4, dengan kelebihan dan kekurangannya masing-masing. Bidang ilmu genomika saat ini terus berkembang dengan memanfaatkan perkembangan teknologi komputer, salah satunya kecerdasan artifisial, yang diaplikasikan untuk meningkatkan performa dari pengurutan genom ini.

B. PEMBAHASAN

1. Aplikasi Pengurutan Genom pada Biologi

Pengurutan genom dapat bermanfaat dalam perkembangan dunia obat-obatan, salah satunya dalam menganalisis interaksi obat dengan genom inang (simulasi molekular). Saat ini, tidak hanya identifikasi *strain* patogenik dan faktor virulensi, tetapi dapat melawan kedua hal tersebut menggunakan rekayasa genetik dan protein yang sesuai.

Terdapat proyek yang dikhususkan dalam menganalisis evolusi virus influenza melalui penyediaan data lengkap dari genom virus tersebut. Data ini dapat digunakan untuk pengembangan vaksin baru, pengobatan, dan diagnostik dari penyakit tersebut. National Center for Biotechnology Information Viral Genomes Project juga membentuk sebuah proyek yang menyediakan data molekuler lengkap mengenai diagnosis virus untuk digunakan sebagai bahan penelitian [6]. Selain proyek yang melibatkan virus, terdapat juga proyek yang menganalisis urutan genom spesies mikroba yang dinamakan *microbial genome sequencing*. Proyek ini mengumpulkan informasi mengenai fisiologis dan evolusi spesies mikroba yang nantinya akan digunakan sebagai pendekatan untuk diagnostik dan pengobatan dari penyakit infeksius yang disebabkan oleh mikroba tersebut.

Keanekaragaman hayati yang ada mencetuskan sebuah proyek Earth BioGenome Project, di mana membuat sebuah daftar urutan genom dan mengategorikan urutan genom tersebut. Hasil dari proyek ini dapat memberikan informasi dari berbagai masalah yang akan dihadapi, seperti dampak perubahan iklim terhadap keanekaragaman hayati, konservasi spesies, pelestarian ekosistem yang terancam punah, dan peningkatan ekosistem yang sudah ada [7].

2. Aplikasi Pengurutan Genom pada Manusia

Aplikasi dari pengurutan genom ini, antara lain pengurutan keseluruhan genom (*whole genome sequencing*), pengurutan target (*target sequencing*), pembuatan profil ekspresi gen, pengurutan presipitasi imun kromatin, dan pengurutan RNA. Pengaplikasian pengurutan genom dapat diterapkan dalam hal personalisasi terapi, penyakit keturunan, diagnosis beberapa penyakit yang disebabkan oleh virus maupun penyakit kanker. Beberapa contoh aplikasi klinis dari pengurutan genom ini adalah penemuan mutasi gen pembawa penyakit kanker, seperti BRCA1, BRCA2, dan TP53; penemuan *mismatch* dari gen MLH1, MSH2, MSH6, dan PMS2; penerapan *karyotyping* untuk mendiagnosis keganasan dalam bidang hematologi; analisis gen ERBB2 dalam kanker payudara; mutasi gen KRAS pada kanker *colorectal*; dan masih banyak lagi [8].

Salah satu penerapan pengurutan genom keseluruhan adalah Human Genome Project yang dimulai sejak tahun 1990 dan pertama kali terselesaikan pada tahun 2003. Program ini memberikan pengetahuan dengan pembacaan cetak biru (*blue-print*) genetik lengkap. Tujuan proyek ini adalah mengetahui lokasi gen pada semua kromosom dan memetakan gen-gen pewaris sifat dari tetua keturunannya. Hal ini berfungsi untuk mengetahui dan melacak berbagai penyakit yang diwariskan dari generasi ke generasi secara genetik [9].

Program lain yang mengaplikasikan pengurutan genom adalah The Cancer Genome Atlas Programme (TCGA), sebuah program genomik kanker yang akan mengarakterisasi 20.000 kanker utama dan mencocokkan dengan sampel normal secara molekular. Tujuan utama dibentuknya program ini adalah untuk meningkatkan kemampuan dalam diagnostik, pengobatan, dan pencegahan kanker.

Selain dalam bidang diagnostik, penerapan ilmu genomik dan kecerdasan artifisial juga diterapkan dalam bidang terapi. Salah satunya adalah penelitian yang dilakukan oleh Abedi dkk. yang mengembangkan sebuah inovasi dalam terapi kanker menggunakan bakteri *Escherichia coli* yang telah diprogram untuk membunuh hanya sel kanker [10]. Peneliti merekayasa bakteri *E. coli* menjadi dua kelompok gen, yaitu pertama ditugaskan untuk memproduksi *nanobodies* yang berfungsi sebagai protein untuk mematikan sinyal yang digunakan oleh sel tumor untuk mencegah datangnya respons dari sistem imun tubuh. Hal ini akan mengakibatkan sistem imun tubuh dapat menyerang sel tumor tersebut. Sementara itu, kelompok gen yang kedua adalah bakteri *E. coli* yang akan aktif mengeluarkan obat antikanker saat mengenai suhu 42–43°C, yang pada penelitian ini diaktifkan oleh gelombang *ultrasound* [10].

Melihat banyaknya manfaat yang didapatkan dari penerapan bidang ilmu genomik terhadap kehidupan manusia, hal ini dapat dijadikan ladang penelitian, khususnya di Indonesia, untuk mengetahui lebih dalam mengenai persebaran genomik dan kecenderungan ras tertentu yang lebih rentan terkena suatu penyakit sehingga dapat dilakukan suatu pencegahan sebelum menjadi sakit. Selain itu, pengurutan genom juga dimanfaatkan untuk mendiagnosis suatu penyakit turunan langka yang nantinya dapat digunakan sebagai alat prediksi kecenderungan dari hasil perkawinan dua subjek untuk memiliki turunan dengan kelainan genetik.

3. Aplikasi Pengurutan Genom pada Hewan

Penerapan bidang genomik juga banyak dilakukan pada proyek non-manusia, seperti The Mouse Genome Project yang memiliki tujuan membuat daftar variasi molekular dari *strain* tikus yang digunakan laboratorium dan *strain* dari tipe liar.

Penerapan teknologi pengurutan genom juga diaplikasikan pada bidang agrikultur, yaitu hewan ternak, seperti ayam, babi, sapi, domba, dan kuda [11]. Salah satu hewan ternak yang pertama kali dilakukan pengurutan genom adalah ayam (*Gallus gallus*) yang merupakan hewan dengan laju rekombinan tinggi sehingga ideal untuk

dilakukan penelitian [12]. Pengurutan genom yang dilakukan menjadikan dasar untuk perkembangbiakan keturunan ayam yang baik.

Selain ayam, pengurutan genom juga dilakukan pada babi (*Sus scrofa*). Pengurutan genom ini dapat dijadikan dasar identifikasi gen yang dapat digunakan untuk perkembangbiakan babi berkualitas dan menjadi dasar untuk melakukan penelitian terkait bidang medis manusia yang melibatkan hewan ini [11].

Perkembangan teknologi pengurutan genom yang semakin maju membuat analisis genom untuk hewan ternak ikut berkembang dengan tujuan untuk memilih turunan yang unggul, memiliki perkembangbiakan yang tinggi, dan mengetahui nutrisi terbaik yang dibutuhkan oleh hewan-hewan tersebut [11]. Hal ini dapat sangat bermanfaat mengingat Indonesia merupakan negara agrikultural yang sangat dekat dunia hewani. Adanya penelitian yang dapat membantu pemilihan turunan hewan yang unggul, terutama hewan dengan hasil produksi yang dapat dimanfaatkan, seperti ayam (daging dan telur) dan sapi (susu dapat diolah menjadi berbagai macam sumber makanan). Industri peternakan Indonesia dapat semakin berkembang dan maju yang tentunya juga akan meningkatkan kesejahteraan tidak hanya bagi para peternak, tetapi juga masyarakat karena mendapat pasokan protein hewani yang mencukupi.

4. Aplikasi Pengurutan Genom pada Tumbuhan

Selain dimanfaatkan untuk manusia dan hewan, pengurutan genom juga dilakukan pada tumbuhan. Pengurutan genom pertama kali dilakukan pada tumbuhan padi (*Oryza sativa*) [13][14] yang dibandingkan tumbuhan model dalam bidang genomi, yaitu *Arabidopsis thaliana*. Pengurutan genom pada tumbuhan terus dilakukan seiring dengan kemajuan teknik yang ada, seperti pengurutan genom pada *Theobroma cacao* yang menggunakan teknologi Roche 454, genom tumbuhan apel yang menggunakan kombinasi dari metode Sanger dan Roche 454, serta pengurutan genom pada *Brassica rapa* yang juga menggunakan teknologi gabungan antara Sanger dan Illumina Solexa [15].

Pengurutan genom menjadi dasar dalam mengembangkan ilmu biologi dalam bidang tumbuhan yang bermanfaat bagi kehidupan manusia, salah satunya teknik rekombinan. Huang dkk. melakukan penelitian dengan menggabungkan padi *Oryza sativa* subsp. *indica* dengan *Oryza sativa* subsp. *japonica*. Penelitian ini menghasilkan satu bibit unggul hasil rekombinasi dari kedua tanaman tersebut [16]. Selain untuk menghasilkan bibit unggul, pengurutan genom juga dimanfaatkan untuk menghindari adanya tumbuhan dengan fenotipe yang buruk. Sebagai contoh, penelitian yang dilakukan Schneeberger dkk. yang melakukan *re-sequencing* pada tanaman *Arabidopsis thaliana* dengan fenotipe pertumbuhan lambat dan warna daun yang pucat. Hasil *re-sequencing* ini menemukan sebuah gen mutan yang ada pada tanaman tersebut [17].

Aplikasi ilmu genomik pada bidang tumbuhan juga bisa menjadi ladang penelitian di Indonesia yang kaya akan kekayaan floranya. Dalam bidang pertanian misalnya, jika ilmu genomik diterapkan, Indonesia dapat menghasilkan beras dari tumbuhan padi berbibit unggul yang telah ditemukan melalui identifikasi pengurutan genom sebelumnya. Selain dalam bidang pertanian, kekayaan flora yang eksotis yang ada di Indonesia dapat diidentifikasi dan diketahui kecocokan dengan habitat, bagaimana cara tumbuh dan kembangnya, dan sebagainya.

5. Kecerdasan Artifisial dan Pengurutan Genom

Kecerdasan artifisial adalah perkembangan dari sebuah sistem komputer yang dapat menjalankan tugas yang biasanya membutuhkan kecerdasan manusia. Saat ini perkembangan perangkat keras dan perangkat lunak berbasis kecerdasan artifisial semakin berkembang dan menarik untuk di aplikasikan ke dalam dunia biologi termasuk bidang genomik [18].

Kecerdasan artifisial diyakini dapat menyederhanakan dan mempercepat proses interpretasi pengurutan genom. Saat ini sistem pengurutan genom berbasis kecerdasan artifisial sedang dikembangkan. Masalah utama yang masih menjadi hambatan utama dalam pengaplikasian pengurutan genom dalam bidang diagnostik penyakit langka adalah adanya keterhambatan interpretasi penyakit di mana kecepatan dalam diagnosis sangat dibutuhkan untuk kasus-kasus penyakit langka pada anak baru lahir. Diagnosis yang cepat dan tepat akan mengubah prognosis dari anak tersebut [19].

Masalah yang timbul dalam interpretasi sistem berbasis kecerdasan artifisial dalam pengurutan genom, antara lain tipe kecerdasan artifisial apa yang paling sesuai untuk program ini, seperti Bayesian *networks*, *decision trees*, dan *neural nets*; perbandingan penggunaan sistem berbasis kecerdasan artifisial dengan yang belum apakah terdapat kenaikan performa seperti yang diharapkan; apa yang ditawarkan dari sistem berbasis kecerdasan artifisial ini baik untuk suatu hal yang baru maupun meningkatkan performa dari sistem yang sudah ada; serta bagaimana ketepatan hasil interpretasi sistem berbasis kecerdasan artifisial dalam mendiagnosis dan membuat sebuah keputusan [19].

Saat ini, model peranti lunak dan sistem kecerdasan artifisial yang mulai diaplikasikan adalah penerapannya sebagai perangkat analitis dalam ranah klinikal dan rekayasa genom, yaitu *computer vision*. Sistem ini dapat digunakan untuk penegakan diagnostik pada hasil pemeriksaan penunjang medis berbasis citra, salah satu contoh di Indonesia adalah Neurabot, alat diagnostik yang telah mengadopsi teknologi kecerdasan. Neurabot adalah alat citra diagnostik dari hasil olah data histopatologi dari sampel jaringan tubuh yang memiliki akurasi tinggi berdasarkan hasil pembelajaran pada *dataset* patologi anatomi yang cukup komprehensif.

Algoritma *deep learning* banyak digunakan dalam ranah genomik klinis yang berorientasi pada prediksi faktor risiko terjadinya berbagai kondisi patologis terkait dengan kondisi gen dan kompleksitas pemicu proses ekspresinya. Algoritma tersebut dapat memproses *dataset* genom dalam jumlah besar dengan kompleksitas varian yang amat beragam.

Contoh pengaplikasian sistem berbasis kecerdasan artifisial dalam proses analisis genom adalah proses penyebutan varian genom yang rentan terjadi kesalahan karena sangat tergantung pada persiapan sampel, teknologi yang digunakan, dan beberapa pengaruh biologis yang tidak dapat terprediksi. Sebuah algoritma berbasis kecerdasan artifisial dapat mempelajari kemungkinan bias yang akan terjadi sehingga dapat mengurangi kesalahan dalam proses penyebutan varian genom. Sebuah sistem kecerdasan artifisial berdasarkan konsep *convolutional neural networks* (CNN), DeepVariant, dapat melakukan pembacaan tanpa memiliki pengetahuan mengenai genomik dan hasilnya terbukti mengungguli alat standar yang biasa digunakan untuk mengidentifikasi varian genom [20]. Pola genomik hasil proses pengurutan dari alat berbasis CNN dapat dipetakan dan diolah sebagai bahan pertimbangan untuk mekanisme prediksi keluaran fenotipe ataupun kondisi kelainan patologi berbasis genetika. Pengetahuan ini akan menjadi langkah awal untuk menentukan langkah preventif dalam skala komunal dan sebagai strategi optimalisasi kualitas kesehatan masyarakat berbasis data biologis.

Setelah penyebutan varian, biasanya dilakukan proses interpretasi data genom dengan bergantung pada identifikasi varian genetik yang relevan dengan pengetahuan yang sudah ada sebelumnya. Algoritma berbasis kecerdasan artifisial dapat meningkatkan manfaat dari data pengetahuan sebelumnya dengan menginformasikan sebuah pemetaan dari fenotipe-genotipe.

Hubungan mutasi atau perubahan segmental secara genomik dapat dianalisis dengan *recurrent neural network* (RNN) dalam sebuah *natural language processing* (NLP) yang dapat mengenali potongan teks dan korelasinya dengan struktur genetik acuan melalui *interconnected hidden states*. Adanya konsep memori *long-short term memory network* pada RNN dapat menjadikan algoritma kecerdasan artifisial dalam konteks *time series*. Konsep tersebut efektif dalam memprediksi berbagai kemungkinan dari hasil olahan data yang bersifat berkelanjutan dan berkesinambungan, contohnya seperti pengurutan data genomik. Selain itu, analisis berbasis *time series* juga dapat digunakan untuk mengolah data yang berkesinambungan dari moda pemeriksaan elektrofisiologi, seperti elektrokardiografi (EKG) dan elektroensefalografi (EEG).

Salah satu contoh adalah *combined annotation dependent depletion approach* (CADD) yang menggabungkan beberapa fitur prediktif dalam *machine-learning* yang digunakan guna menghasilkan sebuah algoritma untuk memprediksi varian mutasi genetik. Sistem berbasis kecerdasan yang sudah menggunakan metode ini adalah DANN (*a deep learning approach for annotating the pathogenicity of genetic variants*)

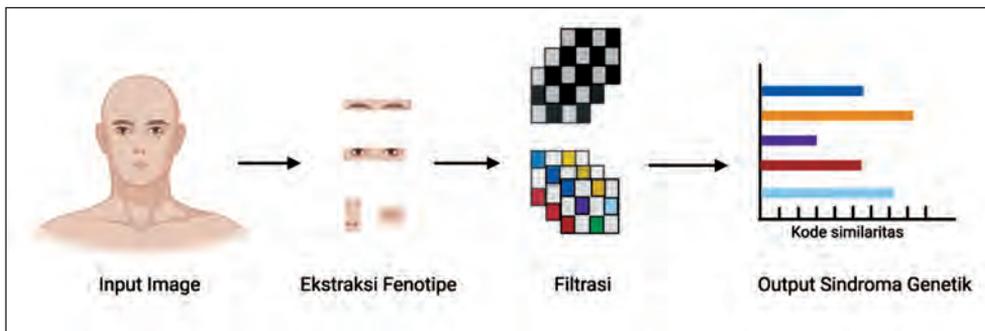
yang dapat menunjukkan hasil dalam meningkatkan performa dalam melakukan identifikasi varian dengan mutasi genetic [21].

Dalam proses identifikasi, PrimateAI, sebuah sistem berbasis kecerdasan artifisial dengan CNN yang dilatih pada varian patogen yang sudah diketahui, melakukan prediksi langsung dari data DNA atau urutan protein dengan fitur buatan tangan yang minimal [22]. Hasil dari prediksi oleh sistem PrimateAI terbukti mengungguli metode sebelumnya. Salah satu keunggulannya adalah alat ini dapat membedakan mutasi *de-novo* jinak dan patogen pada manusia yang berpotensi mengalami keturunan gangguan perkembangan [23].

Contoh lain adalah SpliceAI, sebuah sistem yang tersusun dari tiga puluh dua lapis *deep neural networks* yang mampu mengidentifikasi susunan genom pada gangguan perkembangan syaraf manusia dengan *input range* DNA yang lebih panjang sehingga menghasilkan prediksi dan akurasi sebesar 95% [24]. Pendekatan berbasis *deep-learning* juga digunakan dalam DeepSEA, sebuah sistem CNN yang dilatih dengan data genomik berskala besar sehingga mampu untuk melakukan pengurutan data secara multiple [25]. Salah satu pengaplikasiannya adalah penelitian Zhou dkk. yang mengidentifikasi mutasi genetik *non-coding* pada 1.790 manusia dengan *autism spectrum disorders* [26].

Kolaborasi antara kecerdasan artifisial proses diagnosis penyakit genetik juga diterapkan pada alat DeepGestalt, sebuah alat *computer vision* berbasis CNN untuk mendiagnosis sebuah penyakit kelainan genetik dari analisis gambar wajah [27]. Input dari alat ini adalah gambar wajah dengan fenotipe dari berbagai sindrom gangguan genetik yang ada dan selanjutnya dijadikan data dasar dari alat ini. Skema sederhana cara kerja alat ini digambarkan pada Gambar 3.

Di Indonesia, salah satu lembaga swasta penyelenggara jasa layanan pemeriksaan penunjang medik yang telah memperkenalkan layanan genomik berbasis teknologi adalah Prodia Wellness Genomic (PWG). PWG merupakan pemeriksaan yang dilakukan untuk menentukan risiko dari berbagai jenis penyakit berdasarkan profil genomiknya, seperti risiko penyakit kanker, diabetes, hipertensi, kardiovaskular, autoimun, dan muskuloskeletal. Apabila sistem pengambilan data genomik ini



Gambar 3. Alur Kerja Sederhana Pengaplikasian Kecerdasan Artifisial

dapat diintegrasikan dengan penerapan teknologi berbasis kecerdasan artifisial dalam pengelolaan dan pengolahannya, dapat dipastikan adanya hasil prediksi patologi dengan tingkat akurasi dan validasi yang sangat tinggi.

Dalam bidang mikrobiologi, penerapan sistem berbasis kecerdasan artifisial dapat dilihat pada dikembangkannya teknologi *genomic editing*. Sesuai dengan hasil riset Emanuelle Charpentier dan Jennifer Doudna, penerima Nobel Kimia 2020, yang menemukan sebuah “gunting genetika”, yaitu CRISPR Cas9. Implikasi *genomic editing* sangatlah besar dan mengundang beberapa pendapat pro dan kontra. Salah satunya adalah kasus He Jiankui pada tahun 2018 yang mengaku telah melakukan *genomic editing* pada embrio yang diimplantasikan ke rahim manusia. Dari proses ini lahir seorang bayi yang menghentak dunia karena *genomic editing* yang telah dilakukan. Hal ini memunculkan kesadaran bahwa modifikasi DNA adalah hal yang nyata dan dapat dilakukan.

Selain dalam bidang molekuler, pendekatan sistem berbasis kecerdasan artifisial bidang genomik dapat diterapkan dalam ranah farmakologi molekuler. Biasanya dalam mendesain suatu obat memerlukan waktu dan proses yang berliku, mulai dari pencarian dan penemuan zat aktif yang tepat dan sesuai dengan kondisi patologi dari suatu penyakit, proses ekstraksi atau pemisahan zat aktif berpotensi obat, uji toksisitas, uji efikasi, hingga ke berbagai jenjang uji klinis dan *post-market*, penerapan sistem berbasis kecerdasan akan memotong penemuan sebuah obat sehingga dapat tercipta suatu obat dalam waktu yang pendek. Proses yang panjang dan berliku, selain memakan waktu, juga membutuhkan sumber daya yang besar. Pendekatan berbasis kecerdasan artifisial dapat dimulai dengan analisis potensi zat aktif dari berbagai *dataset* sumber natural, seperti tumbuhan, jamur, dan mikroba. Uji kesesuaian dengan struktur molekul reseptor atau pun target organ dapat dilakukan secara *in silico* melalui mekanisme *molecular docking*, serta prediksi atau perkiraan teoretis terkait toksisitas dan efektivitas sifat terapeutiknya dapat disimulasikan oleh sistem bioinformatika berbasis kecerdasan artifisial.

Selain dalam bidang diagnostik dan terapi, penerapan kecerdasan artifisial juga dapat diterapkan dalam proses pertukaran data. Saat ini, penerapan protokol standar pertukaran data kesehatan di Indonesia juga mulai diinisiasi oleh Digital Transformation Office (DTO) Kemenkes RI. DTO menggunakan format *fast healthcare interoperability resource* (FHIR) yang dikeluarkan oleh Health Level Seven International atau HL-7. Pengelolaan data akan sangat teroptimalkan jika mengadopsi teknologi berbasis kecerdasan artifisial ini. Pertukaran data dengan format terstandarisasi dan penerapan *application programming interface* (API) akan menjembatani transfer data antaraplikasi serta memberikan peluang terciptanya berbagai *dataset* kesehatan dalam bentuk modular yang terstandar.

Pendekatan melalui NLP dapat mengekstrak data teks atau narasi deskriptif dari *electronic health record*, sementara algoritma *deep neural network*, dengan *hidden layer* dan sifat *interconnected*, dapat menjadi peranti analitis untuk mengolah data gabungan yang berasal dari pengolahan citra dengan *computer vision*, data serial dari pengurutan genom, dan data teks dari rekam medis.

Penerapan teknologi berbasis kecerdasan artifisial dalam ranah genomik juga dapat dimanfaatkan sebagai bagian dari perumusan kebijakan kesehatan dari tingkat individual, komunal, lokal, dan regional, hingga tingkat nasional. Hal ini dapat diterapkan melalui optimalisasi pengelolaan dan pengolahan data genomik, khususnya yang terkait dengan faktor risiko penyakit dan dinamika perilaku. Hasil dari analisis data tersebut dapat digunakan sebagai asupan dalam mekanisme perumusan strategi kebijakan nasional yang tepat sasaran, khususnya dalam pengelolaan status epidemiologi dan optimalisasi pemanfaatan sumber daya.

Kemajuan bidang teknologi, terutama dalam bidang manufaktur peranti keras, dapat memengaruhi kinerja sistem dalam menghadirkan fungsi dan utilitas kecerdasan artifisial. Hal ini akan mempercepat kemajuan riset dan pelayanan di bidang kesehatan dan bioteknologi. Contoh nyata adalah keberhasilan ilmuwan di India Institute of Science (IISc) dalam mengembangkan algoritma *machine learning berbasis graphics processing unit* (GPU) model terbaru dan berkekuatan tinggi serta mengintegrasikannya ke dalam aplikasi pengolah data yang dinamai Regularized, Accelerated, Linear Fascicle Evaluation, atau dapat disebut ReAL LiFe. Aplikasi ini dapat mengolah unit data dari *diffusion magnetic resonance* atau dMRI otak yang nantinya akan menghasilkan gambaran konektivitas antarunit neuron di otak saat menjalankan fungsi neurofisiologis tertentu. Koneksi fungsional antarunit neuron tersebut dikenal sebagai *connectome*. Berbekal kapasitas GPU yang telah diaugmentasi tersebut, tim IISc berhasil memetakan *connectome* otak terkait dengan berbagai fungsi neurofisiologis tertentu.

C. KESIMPULAN

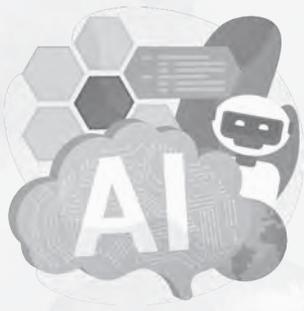
Pengaplikasian sistem berbasis kecerdasan artifisial dapat menjadi nilai tambah tersendiri dalam perkembangan ilmu genomik di Indonesia. Alat berbasis kecerdasan artifisial yang diterapkan dapat meningkatkan keefektifan pengurutan genom. Kolaborasi antarahli dalam bidang biologi, khususnya genomik dan ahli dalam kecerdasan artifisial, dibutuhkan untuk menghasilkan sebuah karya yang akan memberikan banyak manfaat terutama untuk masyarakat Indonesia. Jika berbagai potensi pemrosesan data berbasis kecerdasan artifisial dapat diintegrasikan dalam satu platform terpadu, seperti layanan Cloud Life Science atau CLS yang disediakan oleh Google, maka besar harapan akselerasi pemanfaatan kecerdasan artifisial dalam ranah genomik dan kesehatan akan meningkat secara eksponensial.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Thankachan A dan M. B. Thomas, "A study of next generation sequencing data, workflow, application and platform comparison," *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, vol. 396, 2018. doi:10.1088/1757-899X/396/1/012031
- [2] J. M. Keith, *Bioinformatics: Data, Sequence Analysis and Evolution*. New York: Springer, 2017. doi:10.1007/978-1-4939-6622-6
- [3] C. S. Pareek, R. Smoczynski, dan A. Tretyn, "Sequencing technologies and genome sequencing," *Journal of Applied Genetics*, vol. 52, no. 4, pp. 413–435, 2011. doi:10.1007/s13353-011-0057-x
- [4] J. W. Prokop dkk., "Genome sequencing in the clinic: The past, present, and future of genomic medicine," *Translational Physiology Physiol Genomics*, vol. 50, no. 8, pp. 563–579, 2018. doi: 10.1152/physiolgenomics.00046.2018
- [5] N. -W. Zhao, "Recent progress in the methods of genome sequencing," *Brazilian Archives of Biology and Technology*, vol. 53, no. 2, pp. 319–325, 2010. doi:10.1590/S1516-89132010000200010
- [6] Y. Bao dkk., "National center for biotechnology information viral genomes project," *Journal of Virology*, vol. 78, no. 14, pp. 7291–7298, 2004. doi:10.1128/JVI.78.14.7291-7298.2004
- [7] H. A. Lewin dkk., "Earth BioGenome Project: Sequencing life for the future of life," dalam *Proceedings of the National Academy of Sciences*, vol. 115, no. 17, 2018, pp. 4325–4333. doi:10.1073/pnas.1720115115
- [8] B. Pasche dan D. Absher, "Whole-genome sequencing: A step closer to personalized medicine," *JAMA*, vol. 305, no. 15, pp. 1596–1597, 2011. doi:10.1001/jama.2011.484
- [9] E. S. Lander dkk., "Initial sequencing and analysis of the human genome international human genome sequencing consortium," *Nature*, vol. 409, pp. 860–921, 2001. <https://doi.org/10.1038/35057062>
- [10] M. H. Abedi dkk., "Ultrasound-controllable engineered bacteria for cancer immunotherapy," *Nature Communications*, vol. 13, 2022, Art. No. 1585. doi:10.1038/s41467-022-29065-2
- [11] Y. Bai, M. Sartor, dan J. Cavalcoli, "Current status and future perspectives for sequencing livestock genomes," *Journal of Animal Science and Biotechnology*, vol. 3, no. 1, 2012. doi:10.1186/2049-1891-3-8
- [12] D. W. Burt, "Chicken genome: Current status and future opportunities," *Genome Research*, vol. 15, no. 12, pp. 1692–1698, 2005. doi:10.1101/gr.4141805
- [13] S. A. Goff dkk., "A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *japonica*)," *Science*, vol. 296, no. 5565, pp. 92–100, 2002. doi:10.1126/science.1068275

- [14] J. Yu dkk., "A draft sequence of the rice genome (*Oryza sativa* L. ssp. *indica*)," *Science*, vol. 296, no. 5565, pp. 79–92, 2002. doi:10.1126/science.1068037
- [15] D. Edwards dan J. Batley, "Plant genome sequencing: Applications for crop improvement," *Plant Biotechnology Journal*, vol. 8, no. 1, pp. 2–9, 2010. doi:10.1111/j.1467-7652.2009.00459.x
- [16] X. Huang dkk., "High-throughput genotyping by whole-genome resequencing," *Genome Research*, vol. 19, no. 6, pp. 1068–1076, 2009. Doi:10.1101/gr.089516.108
- [17] K. Schneeberger dkk., "SHOREmap: simultaneous mapping and mutation identification by deep sequencing," *Nature Methods*, vol. 6, no. 8, pp. 550–551, 2009. doi:10.1038/nmeth0809-550
- [18] R. Dias dan A. Torkamani, "Artificial intelligence in clinical and genomic diagnostics," *Genome Medicine*, vol. 11, no. 1, 2019. doi:10.1186/s13073-019-0689-8
- [19] F. M. de La Vega dkk., "Artificial intelligence enables comprehensive genome interpretation and nomination of candidate diagnoses for rare genetic diseases," *Genome Medicine*, vol. 13, no. 1, 2021. doi:10.1186/s13073-021-00965-0
- [20] R. Poplin dkk., "A universal SNP and small-indel variant caller using deep neural networks," *Nature Biotechnology*, vol. 36, no. 10, pp. 983–987, 2018. doi:10.1038/nbt.4235
- [21] D. Quang, Y. Chen, dan X. Xie, "DANN: A deep learning approach for annotating the pathogenicity of genetic variants," *Bioinformatics*, vol. 31, no. 5, pp. 761–763, 2015. doi:10.1093/bioinformatics/btu703
- [22] L. Sundaram L dkk., "Predicting the clinical impact of human mutation with deep neural networks," *Nature Genetics*, vol. 50, no. 8, pp. 1161–1170, 2018. doi:10.1038/s41588-018-0167-z
- [23] M. J. Landrum dkk., "ClinVar: Improving access to variant interpretations and supporting evidence," *Nucleic Acids Research*, vol. 46, no. D1, pp. D1062–D1067, 2018. doi:10.1093/nar/gkx1153
- [24] K. Jaganathan dkk., "Predicting splicing from primary sequence with deep learning," *Cell*, vol. 176, no. 3, pp. 535–548, 2019. Doi:10.1016/j.cell.2018.12.015
- [25] B. E. Bernstein dkk., "The NIH roadmap epigenomics mapping consortium," *Nature Biotechnology*, vol. 28, no. 10, pp. 1045–1048, 2010. doi:10.1038/nbt1010-1045
- [26] J. Zhou dkk., "Whole-genome deep-learning analysis identifies contribution of noncoding mutations to autism risk," *Nature Genetics*, vol. 51, no. 6, pp. 973–980, 2019. Doi:10.1038/s41588-019-0420-0
- [27] Y. Gurovich dkk., "Identifying facial phenotypes of genetic disorders using deep learning," *Nature Medicine*, vol. 25, no. 1, pp. 60–64, 2019. doi:10.1038/s41591-018-0279-0

Buku ini tidak diperjualbelikan.



CHAPTER 21

PEMANFAATAN TEKNOLOGI UNTUK MENDETEKSI *REAL BENEFICIARY OWNER* DALAM PERSPEKTIF PERPAJAKAN INDONESIA

Fannany Priambodo & Iwan Djuniardi

Ditjen Pajak dan Kementerian Keuangan RI

ABSTRAK

Perkembangan teknologi mendorong semakin kompleksnya transaksi ekonomi dan pada saat yang sama dunia usaha mencari cara untuk melakukan perencanaan perpajakan, baik melalui *tax avoidance* maupun *tax evasion*, salah satunya melalui praktik penyamaran kepemilikan atau penerima manfaat. Berbagai perangkat hukum telah dibuat untuk memitigasi perilaku tersebut dengan mengidentifikasi penerima manfaat (*beneficiary owner*). Upaya tersebut perlu didukung oleh sarana pengujian dan perangkat teknologi yang mampu mengidentifikasi pola dan perilaku. Pemanfaatan teknologi *graph analytics* dengan menggunakan algoritma *longest path* dan *centrality* menjadi salah satu upaya Direktorat Jenderal Pajak untuk mengidentifikasi subjek, pola, dan perilaku.

Kata kunci: penerima manfaat, pajak, penghindaran pajak, *graph analytics*

A. PENDAHULUAN

Dalam korporasi, pajak pada akhirnya menjadi beban bagi para pemilik atau pemegang saham [1] sehingga selalu dilakukan upaya untuk memperkecil beban tersebut, baik secara sah maupun melawan hukum (*avoidance/evasion*). Pada era digital ini, transaksi finansial semakin canggih sehingga memungkinkan penyamaran kepemilikan atas suatu entitas usaha secara hukum. Rekayasa finansial tersebut dilakukan dengan transaksi bisnis antargrup dengan mengorbankan prinsip *arm-length* melalui mekanisme *profit shifting* atau *transfer pricing*, baik domestik maupun lintas yuridiksi perpajakan yang telah dilakukan berbagai riset [2]. Hal ini akan diperparah jika perangkat peraturan masih memilih celah atau memungkinkan untuk melakukan upaya pengaburan kepemilikan suatu entitas usaha sehingga diperlukan sebuah riset untuk melakukan eksplorasi atas penerima manfaat (*beneficiary owner*) dengan pemanfaatan teknologi.

F. Priambodo & I. Djuniardi

Direktorat Jenderal Pajak dan Kementerian Keuangan, e-mail: fannany.priambodo@pajak.go.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artfisial (KORIKA) & Penerbit BRIN

F. Priambodo, and I. Djuniardi, "Pemanfaatan teknologi untuk mendeteksi *Real Beneficiary Owner* dalam perspektif perpajakan Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 21, pp. 249-258, doi: 10.55981/brin.668.c557

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

B. STUDI LITERATUR

Telaah Atas Peraturan

Terdapat beberapa penjelasan terkait *beneficiary owner* (selanjutnya disingkat BO) atau dalam bahasa Indonesia di sebut pemilik atau penerima manfaat dan sudut pandang. Vogel melihat bahwa mereka yang memiliki hak untuk menentukan apakah suatu modal atau kekayaan harus dimanfaatkan bagi orang lain atau menentukan bagaimana hasil dari modal atau kekayaan itu dimanfaatkan [3]. Sementara itu, Meyer lebih fokus pada hukum dengan kepemilikan yang tidak hanya sebatas terdaftar secara hukum sebagai pemilik, melainkan memiliki hak untuk mengambil keputusan akan apa yang akan dilakukan terhadap benda yang dikuasai itu [4]. Bahkan, sejak Organisation for Economic Co-operation and Development (OECD) menerbitkan OECD Model Tax Convention pada 2010, terdapat banyak komentar atas konvensi tersebut [5].

Penulis menggunakan penulisan ulang defnisi BO oleh sebuah lembaga analisis perpajakan di Indonesia, yaitu Center for Indonesia Taxation Analysis (CITA). Menurut CITA, BO adalah pihak yang memiliki hak untuk menggunakan dan menikmati penghasilan tanpa dibatasi oleh kontrak atau kewajiban legal untuk meneruskan penghasilan yang diterimanya kepada pihak yang lain [6]. Berdasarkan definisi tersebut, dilakukan dua pendekatan, yaitu pendekatan legal dan pendekatan ekonomi [6]. Terdapat beberapa peraturan terkait pemilik manfaat, baik yang mengatur analisis maupun yang mengatur terkait transaksi lintas batas negara.

Tabel 1. Perbandingan Peraturan

Peraturan	Pasal Berkait	Pelaporan	Keterangan
UU KUP No. 8 Tahun 2007	Pasal 32	Wajib saat terjadi <i>event</i> (implisit)	Menjelaskan hal terkait wakil WP.
UU PPh No. 36 Tahun 2008	Pasal 18	Sukarela saat pelaporan SPT (eksplisit)	Menjelaskan hal terkait hubungan istimewa.
UU PPN No. 42 Tahun 2009	Tidak ditemukan	Tidak ditemukan	Tidak ditemukan
UU PBB No. 12 Tahun 1994	Pasal 4	Sukarela saat pelaporan SPPT (eksplisit)	Menjelaskan subjek pajak penerima manfaat.
UU PPTPPU No. 8 Tahun 2010	Pasal 1 dan 4	Sukarela saat pendirian entitas (eksplisit)	Menjelaskan terkait penerima manfaat (BO).
Perdirjen Pajak No. 25/PJ/2018		Wajib saat pemotongan (eksplisit)	Memuat syarat BO dan perlakuan penghindaran pajak berganda.

Rujukan peraturan pada Tabel 1 menjelaskan beberapa peraturan yang mengatur tentang penerima manfaat dapat diambil kesimpulan awal bahwa perangkat regulasi telah mengidentifikasi adanya isu pemilik atau penerima manfaat (*beneficiary owner*), tetapi dalam konteks terpisah (silo) dan pengungkapan yang ada bersifat sukarela, normatif, dan formalitas [7] tanpa adanya derajat penelusuran bertingkat sehingga rentan isu moral. Dengan demikian, diperlukan adanya alat uji berupa data pembandingan yang didapat dari pertukaran data dan analisis data yang dapat menelusuri penerima manfaat akhir atau nyata.

C. PEMBAHASAN

1. *Beneficial Owner* di Indonesia

Dalam konteks perpajakan Indonesia, identifikasi BO diperlukan untuk menentukan siapa sebenarnya penerima manfaat dari fasilitas perpajakan, siapa sebenarnya yang mempunyai kewenangan penuh atas tindakan korporasi, siapa sebenarnya yang bertanggung jawab atas suatu peristiwa hukum, dan pusat kendali dari suatu transaksi hubungan istimewa dalam negeri. Selain itu, identifikasi juga dibutuhkan untuk menentukan siapa sebenarnya yang berhak menggunakan klausul tertentu atau fasilitas penurunan tarif dalam perjanjian penghindaran pajak berganda (*tax treaty*).

Upaya mengartikan konsep BO tersebut dilakukan melalui dua pendekatan, yaitu pendekatan legal dan ekonomi. Pendekatan legal dapat dilakukan dengan eksplorasi terhadap kepemilikan saham yang berasal dari data SPT tahunan PPh (orang pribadi atau badan), sedangkan pendekatan ekonomi dapat dilakukan dengan eksplorasi terhadap transaksi atau penyerahan BKP/JKP yang dilaporkan pada SPT masa PPN.

Upaya tersebut dilakukan menggunakan teknologi *graph database*, sebuah basis data yang menggunakan struktur grafis untuk melakukan data kueri dengan menggunakan *nodes*, *edges*, dan properti data, baik untuk menampilkan maupun untuk menyimpan data [8]. Basis data tersebut diolah menggunakan algoritma Graph yang didasarkan pada teori matematika *graph theory* yang menghubungkan *node* (titik informasi) untuk menyimpulkan dinamika dan organisasi antarnode dalam sebuah sistem yang kompleks [9]. *Dataset* yang digunakan berasal dari data kepemilikan harta dari lampiran SPT tahunan PPh orang pribadi dan data kepemilikan saham pada lampiran SPT Tahunan PPh badan untuk tahun pajak 2020.

Secara matematis, *dataset* yang dimiliki akan direpresentasikan menjadi dua komponen *graph*, yaitu *node* (n) sebagai objek dan *edge* (e) sebagai hubungan antarobjek. Kemudian, asumsikan $G(N,E)$ merupakan *directed acyclic graph* yang akan dibentuk dari kumpulan *node* (N) dan *edge* (E) dari *dataset*. Fungsi $pred(n)$ dan $succ(n)$ adalah untuk mengetahui *predecessors* dan *successors* dari setiap *node* yang berada dalam G yang didefinisikan sebagai berikut.

$$\begin{aligned} \text{pred}(n) &= \{ p \in N \mid (p, n) \in E \} \\ \text{ucc}(n) &= \{ s \in N \mid (n, s) \in E \} \end{aligned}$$

Node n dianggap *first node* jika $\text{pred}(n) = \emptyset$ dan dianggap *last node* jika $\text{succ}(n) = \emptyset$. Sebuah *path* dari *node* n didefinisikan sebagai urutan *node* and *edge* dimulai dari *node* n dan berhenti di suatu *node* m . Kemudian, karena G merupakan *acyclic graph*, terdapat *reachability operator* $n < m \ni n, m \in N$ yang berarti terdapat sebuah *path* dari *node* n ke m [10]. Terdapat dua algoritma utama yang akan digunakan untuk mencari informasi dari *dataset* terkait pencarian BO, yaitu *longest path* dan *centrality*.

a. Longest Path di DAG

Secara umum, urutan topologi *node* perlu ditemukan untuk menentukan panjang dari *longest path* dan kemudian menghitung panjang setiap *path* dari urutan *node* yang ada. Urutan topologi dari beberapa *nodes* di G didefinisikan sebagai

$$\begin{aligned} L &= \{ n_1, n_2, \dots, n_i, n_j, \dots, n_n \} \\ &\text{sehingga} \\ &i < j, \forall n_i < n_j. \end{aligned}$$

Metode untuk mencari L pada G adalah dengan memasukkan semua *first node* menuju L , kemudian menambahkan *successors node* yang memiliki *predecessors node* yang sudah masuk ke dalam L . Prosedur ini akan dilakukan terus-menerus hingga semua *node* sudah diurutkan dalam L .

Setelah mengurutkan semua *node* ke dalam L , akan dilakukan perhitungan *longest path* yang mengacu dari *dynammic programming algorithm* [11] dan menggunakan *principle of optimality* sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut.

$$l_n = \max_{k \in \text{pred}(n)} (l_k) + w_n$$

b. Centrality

Centrality merupakan suatu algoritma yang akan menentukan seberapa penting (*central*) sebuah *node* yang berada dalam G . Salah satu cara yang populer dalam menentukan *centrality* pada *notes* adalah PageRank [12], di mana *pagerank score* setiap *node* n pada G dapat dihitung dengan persamaan

$$PR(n) = \frac{1-d}{N} + d \sum_{m \in N_n} \frac{PR(m)}{L(m)}$$

di mana *pagerank score* pada *node n* dipengaruhi oleh setiap *pagerank score* di *node m* yang berhubungan dengan *n* dan $L(m)$ merupakan banyaknya *edge* yang terhubung langsung dengan *m*.

2. Penerapan di Indonesia

Pendekatan legal menggunakan data kepemilikan saham (tidak melihat induk organisasinya) pada lampiran SPT Tahunan untuk tahun pajak 2020 dan belum mempertimbangkan hubungan keluarga dari BO. Pendekatan ini dilakukan secara bertahap tiap lapis (*layer*) dengan menggunakan program Python, SQL, dan Neo4J Graph *database* versi *community* dan dilakukan oleh seksi Sains Data Direktorat Direktorat Informasi Perpajakan. Pemanfaatan *centrality* dan *longest path* dapat menghasilkan beberapa *insight* dan visualisasi atas perilaku pemanfaatan *beneficiary ownerships*.

```

Inisialisasi :
 $t = 0,$ 

 $N = \text{banyaknya node di } G$ 

 $PR(n; t = 0) = \frac{1}{N}$  untuk setiap  $n$  di  $G,$ 
 $d = \text{damping ratio}$ 

 $L(m) = \text{banyaknya edge yang terhubung dengan } m$ 

while  $PR(n)$  belum konvergen

  Do untuk semua  $n$  di  $G$ 
     $PR(n; t + 1) = \frac{1-d}{N} + d \sum_{m \in N_n} \frac{PR(m; t)}{L(m)}$ 

     $t += 1$ 

   $PR(n) = PR(n; t + 1)$ 

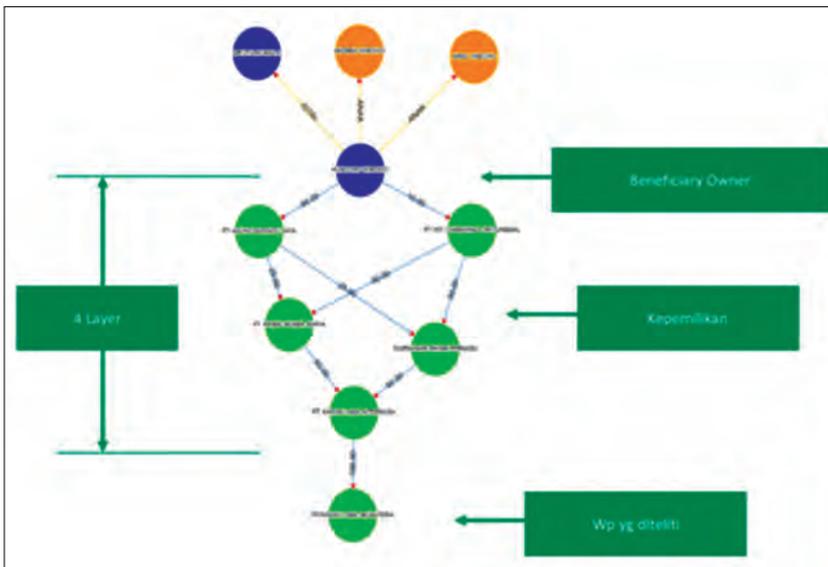
```

Gambar 1. Algoritma *PageRank* dalam *Centrality* untuk mengidentifikasi *Node* penting.

Gambar 2 merupakan visualisasi pemodelan yang digunakan Direktorat Jenderal Pajak (DJP) dengan lingkaran mewakili *node* dan panah mewakili *edge*. *Node* berwarna biru merupakan BO yang teridentifikasi, *node* berwarna oranye merupakan anggota keluarga dari BO, dan *node* berwarna hijau merupakan perusahaan atau entitas yang diteliti keberadaannya. *Parah* atau *edge* memiliki properti, yaitu status hubungan (istri/suami/anak) dengan BO atau persentase kepemilikan saham dengan *node* terhubung langsung. Pada visualisasi tersebut, tergambar jumlah lapis (*hop*) dari *node* terbawah sampai dengan BO. Seluruh *node* menggambarkan keanggotaan dari grup yang dimiliki oleh BO.

Model visualisasi pada Gambar 2 digunakan untuk memetakan seluruh entitas dan mengelompokkan berdasarkan BO. Tahap berikutnya adalah menambahkan properti nilai harta dan nilai penghasilan dari setiap *node*.

Penggunaan *eigenvalue centrality* dan *longest path* memperoleh identifikasi atas pemilik manfaat nyata dari grup sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3. Penelusuran dapat dimulai dari entitas mana saja, tidak harus dimulai dari entitas paling rendah atau paling tinggi. Pada Gambar 3, penelusuran dimulai dari entitas berwarna ungu dengan menggunakan model pola sebelumnya sehingga didapatkan *node* BO berwarna biru pada puncak jaringan grup.



Gambar 2. Model visualisasi BO yang digunakan DJP.



Gambar 3. Visualisasi keterkaitan group usaha dan penerima manfaat

Dengan menggunakan agregasi dari *longest path*, informasi diperoleh sebagaimana dijabarkan pada Tabel 2. Terdapat 233.591 BO berdasarkan data tahun 2020, di mana *longest path* adalah 6 *hop* atau adanya 6 lapis kepemilikan. Selain itu, *longest path* juga menemukan adanya BO yang memiliki 275 entitas.

Tabel 2. Anggota Grup dan Harta BO

Lapis	Jumlah BO	Jumlah Anggota dalam Grup	Jumlah Harta BO (juta Rp)
1	229,212	311,421	3,060,258,254
2	3,693	22,039	768,095,923
3	540	7,662	298,541,607
4	106	2,854	117,343,559
5	33	2,001	206,027,676
6	7	625	34,441,856
Total	233,591	346,602	4,484,708,878

Penambahan properti harta, penghasilan, dan pajak penghasilan yang terutang dapat diperoleh data tarif pajak efektif, yaitu pajak penghasilan dibagi penghasilan, dan informasi *turnover*, yaitu penghasilan dibagi harta. Penelusuran secara kumulatif atas penghasilan BO yang mencapai 70,9 triliun rupiah dan pajak penghasilan yang mencapai akumulasi 14,5 triliun rupiah ini menunjukkan adanya upaya penurunan pajak.

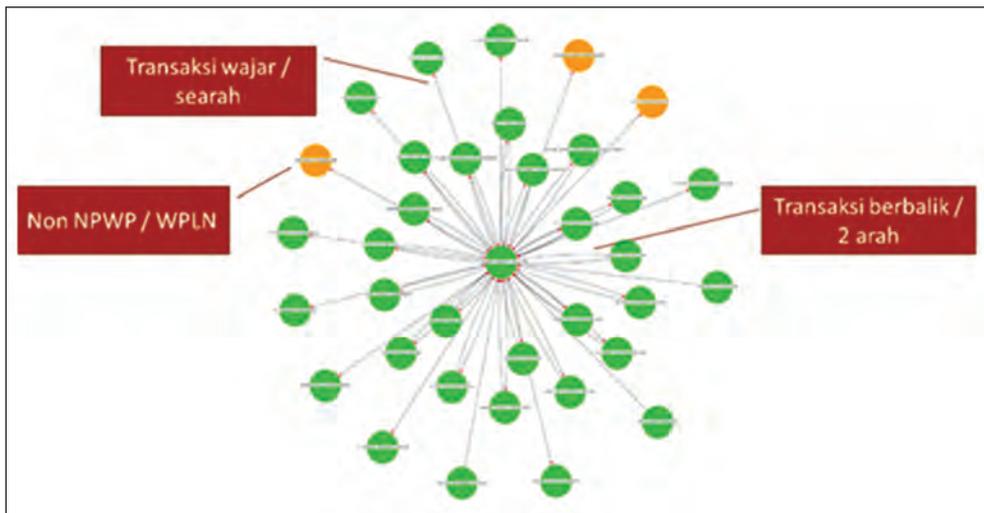
Setiap penambahan lapis kendali berbanding lurus dengan gradien negatif (perubahan *incremental effective rate*) (Tabel 3) dengan semakin menurunkan tarif pajak kumulatifnya (*diminishing marginal tax effective rate*). Kondisi serupa ditemukan pada kajian atas basis pajak, tarif pajak, dan elastisitas pendapatan yang dilaporkan di Amerika Serikat [13]. Hal lain yang dapat diperoleh bahwa secara umum penambahan lapis semakin menurunkan persentase *turnover*, yaitu penurunan kemampuan tambahan harta menghasilkan tambahan penghasilan.

Tabel 3. Perbandingan Tarif Pajak Efektif dan *Incremental Effective Rate* Setiap Lapis Group

Lapis	Tarif Pajak Efektif	<i>Incremental Effective Rate</i>	Turnover (Omzet/Aset)
1	18,63%		1,84%
2	26,80%	43,82%	1,18%
3	27,49%	2,58%	1,21%
4	29,05%	5,66%	0,82%
5	29,70%	2,27%	0,35%
6	29,84%	0,47%	0,94%

Dari eksplorasi atas data kepemilikan saham, juga ditemukan adanya kepemilikan sirkular sebagai bagian dari rekayasa keuangan [14] dan titik jenuh rentang kepemilikan berada pada lapis kelima, serta rentang maksimal berada pada lapis keenam, mirip dengan konsep *six degrees of separation*.

Algoritma *clustering* dan *centrality* juga digunakan pada pendekatan ekonomi transaksional dengan dokumen faktur pajak yang memuat penjual, pembeli, dan barang/jasa yang ditransaksikan. Panah (*edge*) pada Gambar 4 menunjukkan arah transaksi ekonomi, baik penjualan maupun pembelian. Entitas yang melakukan transaksi penjualan atau pembelian dapat berada di luar daerah pabean sebagai WPLN atau entitas yang tidak terdapat identitasnya di DJP atau tidak memiliki NPWP. Entitas tersebut direpresentasikan dengan *node* berwarna oranye. Namun, terdapat juga transaksi dua arah antarentitas yang saling melakukan penjualan dan pembelian atas komoditas yang sama. Hal tersebut perlu dilakukan penelitian lebih lanjut, tetapi dapat ditengarai sebagai transaksi sirkular.



Gambar 4. Pola Umum Transaksi PPN

D. KESIMPULAN DAN REKOMENDASI

1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil telaah di atas, dapat disimpulkan bahwa semakin banyak memiliki pengendalian atas entitas, penambahan tarif pajak efektif menjadi semakin kecil sehingga dapat diduga merupakan upaya penghindaran perpajakan. Selain itu, terdapat indikasi kepemilikan sirkular sebagai sarana rekayasa keuangan dan penghindaran pajak, di mana titik jenuh kepemilikan berada pada lima lapis kepemilikan, dilihat dari jumlah aset yang dimiliki, tarif pajak efektif. Semakin panjang rentang lapis kepemilikan, maka rekayasa keuangan yang digunakan juga makin rumit sehingga dapat tetap menurunkan tarif pajak efektif.

Pada pendekatan transaksional, terdapat indikasi bahwa pemilik manfaat melakukan rekayasa perpajakan, di mana wajib pajak melakukan pembelian beli bahan baku kualitas tinggi, tetapi menghasilkan barang jadi dengan kualitas lebih rendah yang secara ekonomis tidak logis. Rekayasa tersebut merupakan indikasi ketidakpatuhan (*understated transaction*) atas transaksi antargrup. Hal tersebut mengindikasikan bahwa transaksi yang dilakukan oleh para wajib pajak terindikasi satu grup (secara legal tidak dapat dibuktikan, tetapi berdasarkan transaksi penjualan pembelian terdapat indikasi kuat) yang mencederai konsep *arm-length* dan perlu dibuktikan lebih mendalam.

2. Rekomendasi

Pada sisi peraturan, penulis merekomendasikan untuk memperjelas definisi *beneficiary owner* dalam konteks perpajakan serta merumuskan peraturan yang mampu mencegah penghindaran (*avoidance*) dan menindak penyelewengan (*evasion*) secara hati-hati tanpa mengganggu pertumbuhan ekonomi. Pada sisi data sebagai alat uji, diperlukan adanya upaya memperbanyak pertukaran data dengan pihak lain serta upaya pemanfaatan data taklangsung (keluarga, sosial media, kesamaan alamat, *IP address*, dan lainnya).

Sementara itu, pada upaya analitik, direkomendasikan untuk melakukan analisis lebih dalam dengan mengidentifikasi pola lain (*circular, snowflakes*, dan lainnya) serta melakukan analisis lebih luas menggunakan elemen data lebih banyak dan lintas tahun pajak. Pada sisi teknologi, direkomendasikan untuk memanfaatkan teknologi *graph analytics* dan *neural network*. Terakhir, pada sisi pengujian kepatuhan wajib pajak, perlu dilakukan pemeriksaan keterkaitan secara serempak atas para wajib pajak dengan pola transaksi mencurigakan serta melakukan pendalaman atas motif *mens rea* jika terdapat indikasi kuat tindak pidana perpajakan.

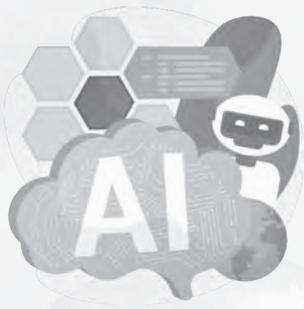
UCAPAN TERIMA KASIH

Penelitian ini merupakan bagian awal dari kajian dengan judul yang sama dan dipaparkan kepada Menteri Keuangan. Kami berterima kasih kepada Reza Pahlevi dan tim dari Neo4J Indonesia atas bantuan teknologinya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. Khan, S. Srinivasan, dan L. Tan, "Institutional ownership and corporate tax avoidance: New evidence," *The Accounting Review*, vol. 92, no. 2, pp. 101–122, 2016. doi: <https://doi.org/10.2308/accr-51529>
- [2] M. Hanlon dan S. Heitzman, "A review of tax research," *Journal of accounting and Economics*, vol. 50, no. 2–3, pp. 127–178, 2010.
- [3] J. Becker, *Klaus Vogel on Double Taxation Conventions*. E. Reimer, A. Rust, dan K. Vogel, Eds., edisi kelima. Alphen aan den Rijn, Belanda: Wolters Kluwer, 2022.

- [4] S. P. Meyer, *The Meaning of “Beneficial Ownership” and The Use thereof for Tax Treaty Shopping and Tax Avoidance*. Pretoria, Afrika Selatan: University of Pretoria, 2010.
- [5] *Public comments received on the discussion draft on the meaning of “beneficial owner” in the OECD model tax convention*, Organization for Economic Co-operation and Development (OECD), Paris. Diakses dari <https://www.oecd.org/tax/treaties/publiccommentsreceivedonthediscussiondraftonthemeaningofbeneficialownerintheoecdmodeltaxconvention.htm>
- [6] administrator. “Seri mengenai Panama Papers (III): Memahami beneficial ownership (BO) dalam perpajakan.” CITA.or.id. Diakses pada 25 Agustus 2022 [Daring]. <https://cita.or.id/beneficial-ownership-bo/>
- [7] M. R. Alfaris, M. R., “Validitas penggunaan nominee agreement dalam kepemilikan saham di Indonesia,” *Journal Economic & Business Law Review*, vol. 2, no. 1, pp. 63–72, 2022.
- [8] N. G. Bourbakis, Ed., *Artificial Intelligence and Automation*. Singapura: World Scientific, 1998.
- [9] M. Needham dan A. E. Hodler, *Graph algorithms: Practical examples in Apache Spark and Neo4j*, edisi pertama. California, AS: O’Reilly Media, 2019.
- [10] G. Madraki dan R. P. Judd, “Recalculating the length of the longest path in perturbed directed acyclic graph,” *IFAC-PapersOnLine*, vol. 52, no. 13, pp. 1560–1565, 2019.
- [11] R. E. Bellman dan S. E. Dreyfus, *Applied Dynamic Programming*, vol. 2050. London: Princeton University Press, 2015.
- [12] L. Page, L., S. Brin, R. Motwani, dan T. Winograd, *The PageRank citation ranking: Bringing order to the web*. Stanford, AS: Stanford InfoLab, 1999.
- [13] W. Kopczuk, “Tax bases, tax rates and the elasticity of reported income,” *Journal of Public Economics*, vol. 89, no. 1–12, pp. 2093–2119, 2005. <https://doi.org/10.1016/j.jpubeco.2004.12.005>
- [14] A. Chattopadhyay, S. -P. Shin, dan C. C. Y. Wang, “Business groups and the value implications of ownership transparency,” *07 Financial Accounting 1: Stock analysts/equity valuation (FARI)*, 2021. <http://hdl.handle.net/10125/77031>



CHAPTER 22

STUDI KASUS PEMANFAATAN *ELECTRONIC NOSE* DAN KECERDASAN ARTIFISIAL DI INDONESIA

Dedy Rahman Wijaya & Riyanarto Sarno

Telkom University dan Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya

ABSTRAK

Bahan makanan sangat penting bagi manusia dalam memenuhi kebutuhan nutrisi untuk tumbuh serta menjalankan aktivitas sehari-hari. Tentunya, mengonsumsi bahan makanan yang masih dalam kondisi baik adalah faktor utama dalam mewujudkan tubuh yang sehat. Untuk bahan makanan hewani, diperlukan penanganan khusus karena termasuk bahan makanan yang mudah rusak jika tidak ditangani dengan baik. Bahan makanan hewani merupakan media yang ideal untuk pertumbuhan mikrob, khususnya bakteri yang berkembang biak dengan mengurai nutrisi dan menghasilkan gas dari proses dekomposisi. Dengan demikian, sistem pengujian bahan makanan sangat dibutuhkan untuk memastikan bahan makanan memiliki kondisi yang baik dan layak untuk dikonsumsi. Penelitian ini membahas tentang pengembangan dan potensi *electronic nose* (*e-nose*) dan kecerdasan artifisial untuk metode pengujian kualitas bahan makanan sumber protein yang populer di Indonesia, antara lain daging dan produk hasil laut. Rencana pengembangan meliputi perakitan perangkat keras (*hardware*), akuisisi *dataset*, *training model machine learning*, integrasi perangkat lunak (*software*) dan perangkat keras, serta pengujian. Hasil eksperimen yang telah dilakukan selama ini menunjukkan bahwa *e-nose* dan kecerdasan artifisial memiliki akurasi tinggi. Pengembangan *e-nose* dan kecerdasan buatan ini bertujuan mewujudkan sistem pengujian yang cepat, akurat, murah, dan berpotensi untuk diterapkan dalam skala luas di Indonesia.

Kata kunci: *e-nose*, gas, kecerdasan artifisial, sistem pengujian, bahan makanan

A. PENDAHULUAN

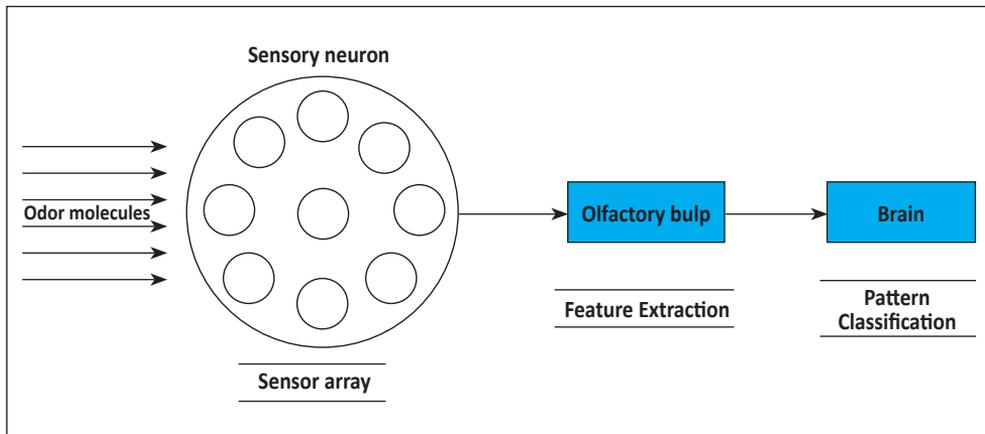
Istilah *electronic nose* (*e-nose*) mulai dikenal pada era 1980-an, mengacu pada instrumen yang terdiri dari kumpulan *heterogeneous electrochemical gas sensors* yang berfungsi sebagai parameter masukan pada sebuah sistem pengenalan pola [1]. Mekanisme kerja *e-nose* ini mengadopsi cara kerja indra penciuman pada manusia. Indra penciuman manusia didasarkan pada interaksi kimia antara senyawa yang mengeluarkan bau dan reseptor penciuman di rongga hidung. Hasil pengindraan

D. R. Wijaya & R. Sarno
Telkom University, e-mail: dedyrw@telkomuniversity.ac.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
D. R. Wijaya and R. Sarno, "Studi kasus pemanfaatan *electronic nose* dan kecerdasan artifisial di Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 22, pp. 259-271, doi: 10.55981/brin.668.c558
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

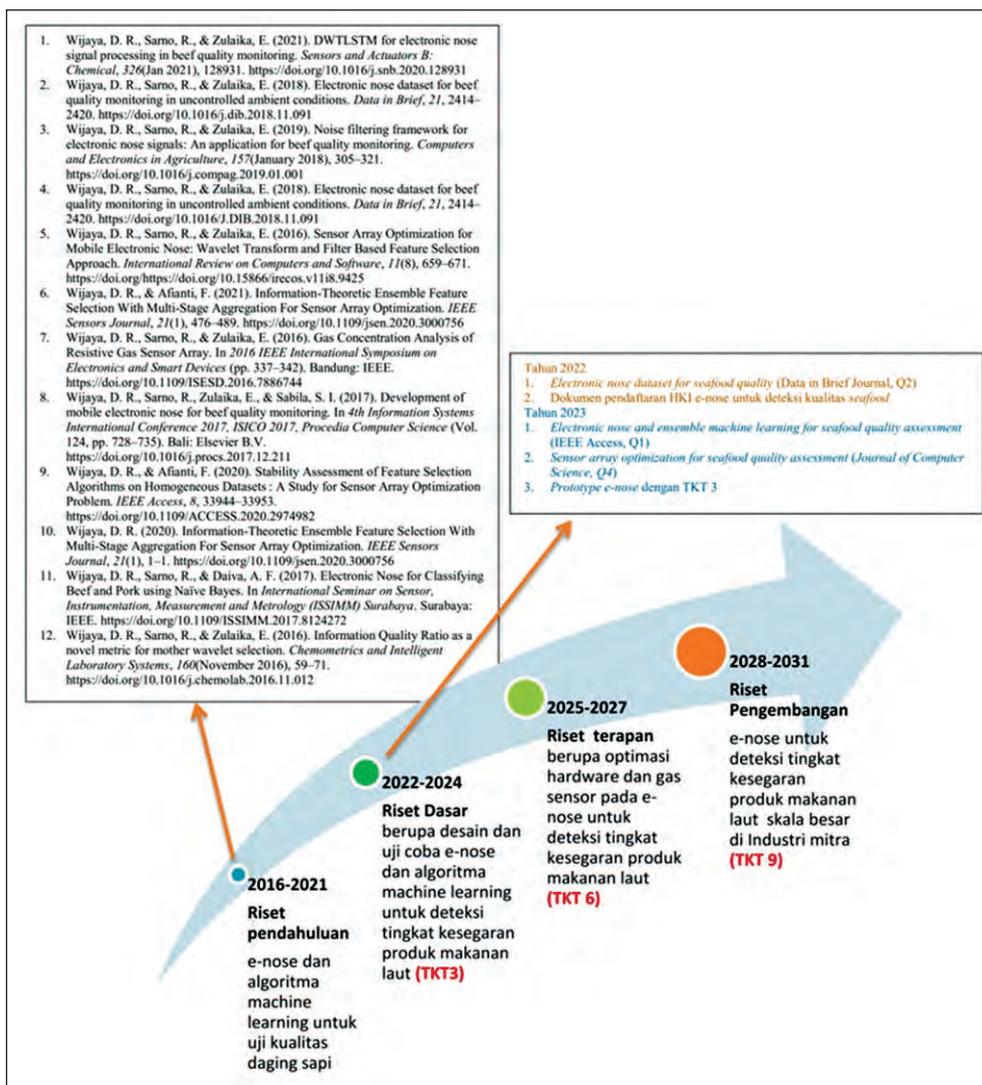
atau penciuman dikirim ke otak melalui sistem saraf untuk kemudian diproses dan diidentifikasi bau apa yang tercium oleh hidung. Menurut Gardner dan Bartlett, *e-nose* didefinisikan sebagai kumpulan sensor kimia gas yang memiliki kemampuan deteksi dan pengukuran senyawa volatil pada suatu sampel yang dikombinasikan dengan sistem pemrosesan data statistik multivariat terkomputerisasi [1]. Kemampuan *e-nose* untuk mendeteksi perubahan konsentrasi gas serta kemampuan model kecerdasan buatan untuk mengidentifikasi pola dari suatu sinyal berpotensi menghasilkan sistem prediksi yang cepat dan akurat pada berbagai jenis sampel uji. Perbandingan komponen fungsional secara umum dari *e-nose* dan sistem penciuman pada manusia dapat dilihat pada Gambar 1.

Pada sistem *e-nose*, molekul gas yang ada di udara atau ruang sampel dideteksi oleh *sensor array* yang terdiri dari kumpulan sensor gas dengan berbagai kepekaan (*selectivity*). Informasi kimiawi dari gas-gas tersebut dikonversi menjadi sinyal multidimensi. Sinyal mentah tersebut kemudian dikondisikan dan diproses oleh modul ekstraksi ciri (*feature extraction*). Sinyal yang sudah diekstrak akan diproses kembali oleh model *machine learning* untuk menentukan jenis bau apa yang terdeteksi. Perlu dicatat bahwa setiap sensor atau reseptor tidak memiliki kepekaan untuk semua jenis bau atau gas. Akan tetapi, cakupan kepekaan yang luas akan dapat diperoleh melalui perbedaan pola respons gabungan dari beberapa sensor. Melalui mekanisme inilah *e-nose* dapat melakukan tugas klasifikasi dan regresi, seperti deteksi kualitas daging [3][4][5][6][7][8][9], kualitas susu [10][11], klasifikasi teh dan kopi [12][13], dan level gula darah [14].



Gambar 1. Komponen Fungsional dari Sistem Penciuman Manusia dan *E-nose* [2]

Jenis sensor gas yang umum digunakan pada berbagai aplikasi *e-nose* adalah MOS dengan *sensing* material *tin dioxide* (SnO_2). Perubahan konsentrasi gas tertentu akan menyebabkan nilai resistansi sensor berubah sehingga jenis sensor ini termasuk dalam jenis *resistive* sensor. Jenis sensor ini banyak digunakan untuk analisis gas dan berbagai jenis aplikasi *e-nose* karena memiliki beberapa kelebihan, antara lain murah, respons yang cepat, dan kepekaan terhadap gas yang relatif luas [15]. Kelebihan tersebut tentu saja menjadi keunggulan jika dibandingkan menggunakan mesin *gas chromatography* dan *mass spectrometry* yang mahal, berukuran besar, dan sulit untuk dioperasikan. Oleh sebab itu, sensor gas MOS lebih sesuai dan memungkinkan digunakan secara masif untuk *sensing as a service* ($S^2\text{aaS}$) [16].



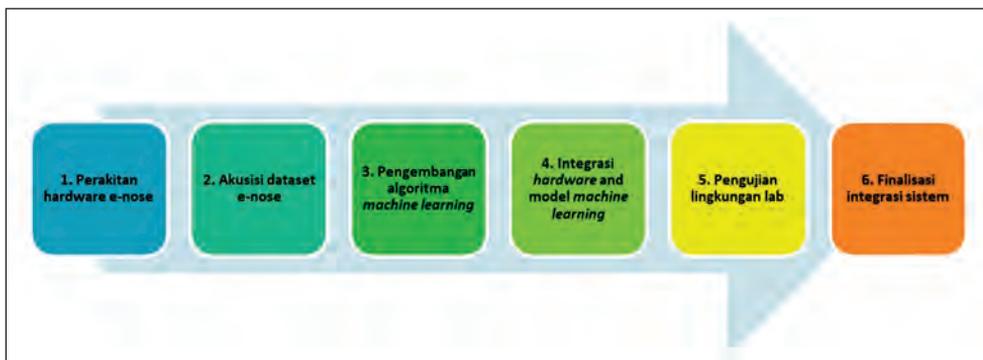
Gambar 2. Roadmap Penelitian

Buku ini tidak diperjualbelikan.

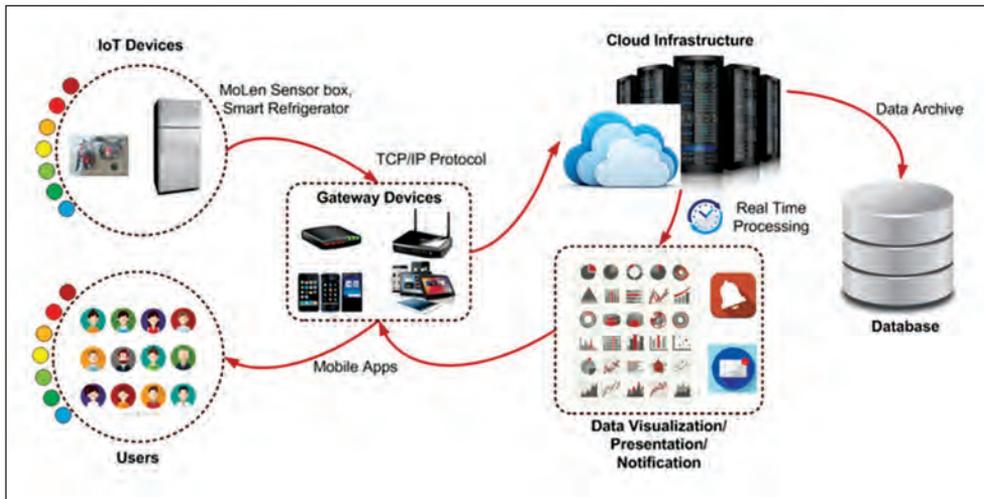
B. METODE PENELITIAN

Gambar 2 menunjukkan *roadmap* dari penelitian, termasuk penelitian yang telah dilakukan, tahapan secara umum, dan luaran yang ditargetkan. Penelitian terdahulu dengan sampel daging sapi telah dilakukan untuk memecahkan beberapa permasalahan. Metode *noise filtering* dibutuhkan untuk mereduksi tingkat *noise* pada sinyal tanpa kehilangan informasi penting. Metrik untuk rekonstruksi sinyal *e-nose*, yaitu *information quality ratio*, diusulkan untuk meminimalisasi hilangnya informasi penting ketika proses *noise filtering* dilakukan [26]. Contoh *dataset* dari *e-nose* juga telah dipublikasikan sebagai *data article* pendukung berkembangnya penelitian di bidang *e-nose* [39][40]. Kerangka kerja untuk *e-nose noise filtering* juga berhasil dikembangkan dan diuji coba pada permasalahan klasifikasi dan regresi [25]. Selain itu, metode optimasi *sensor array* untuk menentukan kombinasi gas sensor terbaik diusulkan, khususnya pada kasus *dataset* homogen yang dihasilkan oleh *e-nose* [28] [30][41]. Metode klasifikasi daging sapi *multiclass* untuk membedakan empat jenis kualitas daging sapi, yaitu *excellent*, *good*, *acceptable*, dan *spoiled*, termasuk prediksi populasi mikroba pada sampel daging juga telah dikembangkan dan diintegrasikan dengan kerangka kerja *noise filtering* [25]. Selain itu, pendekatan *time-series* juga sudah diuji coba untuk monitoring kualitas daging atau protein, termasuk prediksi populasi mikroba [42]. Selanjutnya, penelitian ini bertujuan membangun metode untuk uji kualitas atas kesegaran komoditas produk perikanan, termasuk prediksi populasi mikroba yang cepat, murah, dan mudah dioperasikan menggunakan *e-nose* dan algoritma kecerdasan buatan.

Dalam penelitian ini, metode penelitian yang diusulkan dapat dibagi menjadi beberapa langkah, antara lain perakitan perangkat keras *e-nose*, akuisisi *dataset e-nose*, pengembangan algoritma *machine learning*, pengujian lingkungan lab, dan finalisasi integrasi sistem. Gambar 3 menunjukkan metode dan alur penelitian yang diusulkan secara detail yang meliputi perakitan *hardware*, akuisisi *dataset*, pengembangan model *machine learning*, integrasi *hardware* dan model *machine learning*, pengujian lingkungan lab, dan finalisasi integrasi sistem.



Gambar 3. Metode dan Alur Penelitian



Gambar 4. Skema *E-nose* untuk S^2aaS

Model klasifikasi dan regresi yang sudah dilatih akan dipasang pada lingkungan S^2aaS . Garis besar skema MoLen untuk S^2aaS dapat dilihat pada Gambar 4. Perangkat *sensor box* dapat berupa *stand-alone device* ataupun terintegrasi dengan lemari es pintar. Sinyal yang dihasilkan dari perangkat tersebut dikirimkan ke *smart gateway device* untuk diproses berdasarkan protokol TCP/IP. Perangkat *smart gateway device* yang digunakan bisa berupa komputer mini untuk membantu tugas komputasi sensor *node*. Dalam *smart gateway device*, terdapat *middleware* cerdas yang menjalankan semua tugas pemrosesan sinyal *e-nose*. Data hasil akhir pemrosesan dikirimkan ke *cloud server* untuk disimpan ke dalam basis data dan di-*encode* melalui *application programming interface* (API). Data yang telah ter-*encoding* diurai dan diinterpretasikan dalam grafis untuk ditampilkan kepada pengguna akhir sehingga pengguna akhir dapat mengakses visualisasi dan berinteraksi dengan sistem menggunakan *smartphone*.

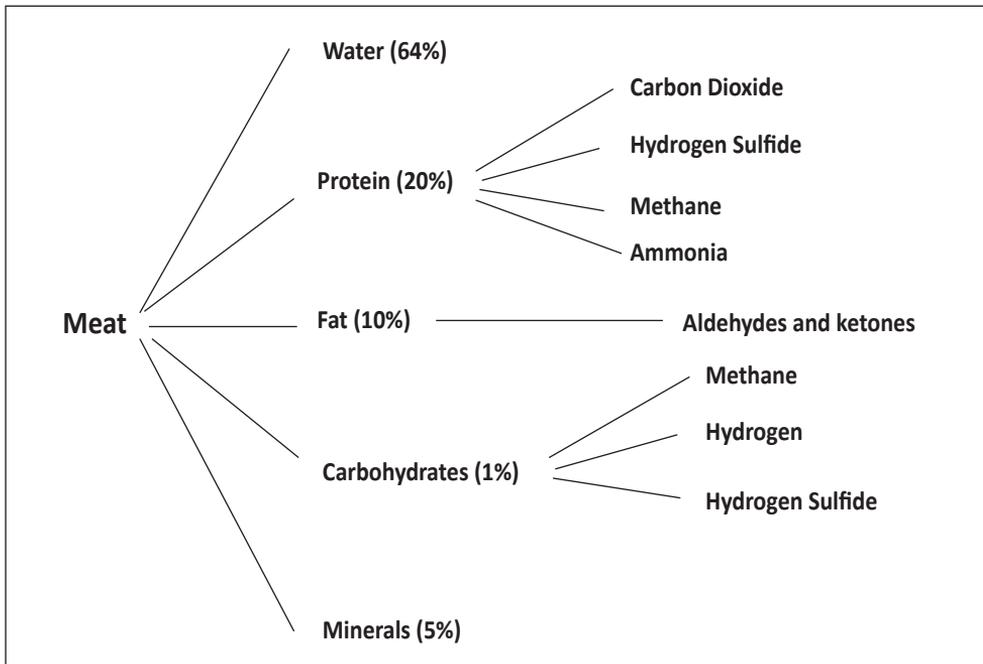
C. PEMBAHASAN

1. Pengembangan *E-nose* untuk Deteksi Kualitas Daging Sapi

Pengujian kualitas bahan makanan merupakan salah satu area paling potensial untuk penggunaan *e-nose*, misalnya penelitian *e-nose* untuk mendeteksi kontaminasi bakteri pada susu [10][11], uji aroma teh [12][17][18], klasifikasi kopi [13], deteksi kesegaran ikan [19], klasifikasi jenis ikan [20], dan klasifikasi kualitas daging sapi [3][6][7][8][9]. Penelitian tersebut menunjukkan hasil yang memuaskan, khususnya untuk klasifikasi kualitas daging sapi. Daging sapi merupakan salah satu sumber *animal-based protein* (ABP) yang paling populer untuk dikonsumsi. Kementerian Pertanian Republik Indonesia memproyeksikan rata-rata permintaan daging sapi tahun 2013–2019 tumbuh sebesar 0,86% per tahun. Sementara itu, Badan Pangan Dunia (*Food and Agriculture Organization*, FAO) merilis laporan dan proyeksi konsumsi daging di

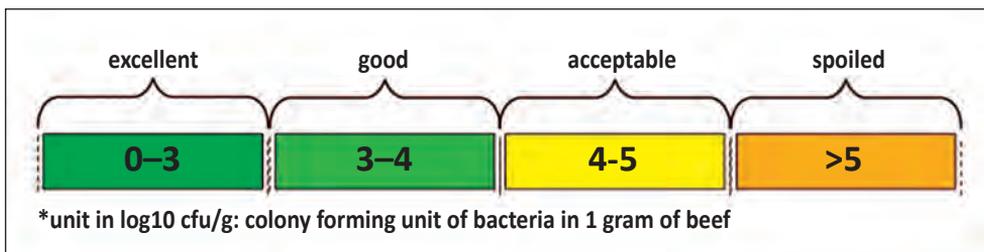
dunia akan terus mengalami kenaikan hingga tahun 2050. Pada kenyataannya, daging sapi adalah bahan makanan yang mudah rusak jika tidak ditangani dengan baik karena daging merupakan media yang ideal untuk pertumbuhan mikroba, khususnya bakteri yang berkembang biak dengan mengurai nutrisi pada daging. Penyimpanan daging yang kurang baik, seperti pada suhu kamar dan di udara terbuka, akan mempercepat degradasi kualitas daging sapi karena merupakan lingkungan paling optimal untuk pertumbuhan bakteri. Kondisi seperti inilah yang sering ditemukan pada penjual daging, terutama di Indonesia.

Pembusukan daging disebabkan infeksi oleh bakteri dan jamur yang tidak bisa dihindari pada saat pemrosesan atau penyimpanan daging. Infeksi dapat berasal dari hewan itu sendiri (*endogenous infections*), orang yang memproses daging, atau pun peralatan (*exogenous infections*). Mengonsumsi daging yang terinfeksi dapat menyebabkan beberapa penyakit, antara lain *anthrax*, *bovine tuberculosis*, *brucellosis*, *salmonellosis*, *listeriosis*, *trichinosis*, atau *taeniasis* [21]. Secara alami, urutan perubahan kualitas daging dipengaruhi oleh aktivitas biokimia dari spesies organisme tertentu. Pertama, daging agak mencair karena organisme mengeluarkan kolagen yang menghidrolisis jaringan ikat di antara serat yang menyebabkan daging agak hancur. Proses ini juga diikuti oleh produksi gas. Penguraian asam amino akan menghasilkan hidrogen, karbon dioksida, dan amonia. Bau busuk sebagian besar dihasilkan oleh bakteri anaerob melalui proses dekomposisi protein dan asam amino yang menghasilkan *indole*, *methylamine*, dan H_2S . Secara umum, kandungan yang ada pada daging mamalia beserta gas-gas hasil dekomposisinya ditunjukkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Kandungan Daging Beserta Gas Hasil Dekomposisi Daging Mamalia [22]

Sebagian besar penelitian tentang klasifikasi kualitas daging sapi membedakan daging sapi menjadi dua jenis (*binary classification*), yaitu segar dan busuk, dengan akurasi di atas 90%. Pada beberapa tahun terakhir, beberapa peneliti mencoba membedakan kualitas daging sapi menjadi tiga jenis, yaitu segar, agak segar, dan busuk. Sebagian besar akurasi yang dihasilkan pada penelitian tersebut kurang dari 90% [3][23]. Terdapat juga satu penelitian yang mengklaim menghasilkan akurasi 97,14%, tetapi dengan *dataset* yang sedikit [24]. Kualitas daging sapi berdasarkan standar yang dikeluarkan oleh *Meat Standards Committee of ARMCANZ* dibagi menjadi empat kelas, yaitu *excellent*, *good*, *acceptable*, dan *spoiled* berdasarkan jumlah populasi mikroba (\log_{10} cfu/g) seperti yang ditunjukkan pada Gambar 6. Pada dasarnya, kompleksitas *multiclass classification* pasti lebih tinggi dibanding *binary classification* karena semakin banyak jumlah kelas, maka area perbatasan (*boundary*) antarkelas akan semakin banyak. Pada area perbatasan inilah kesalahan klasifikasi sering terjadi. Jika pada *binary classification* kemungkinan menghasilkan klasifikasi yang benar sebesar $\frac{1}{2}$, maka pada jumlah kelas m kemungkinannya adalah $\frac{1}{m}$. Dengan demikian, untuk menghasilkan tingkat akurasi yang tinggi pada *multiclass* lebih sulit dibandingkan *binary classification* dengan kompleksitas yang lebih tinggi apabila sinyal terkontaminasi oleh *noise* [25][26][27]. Tantangan lainnya adalah *overlapping selectivity* pada *sensor array* yang menyebabkan kombinasi sensor gas menjadi tidak optimal sehingga menyebabkan boros listrik, ukuran perangkat keras yang besar, dan degradasi performansi algoritma *machine learning* [28][29][30][31].



Gambar 6. Standar Kualitas Daging Sapi [43]

2. Pengembangan Sistem Pengujian Kualitas Produk Hasil Laut

Industri perikanan merupakan sektor strategis yang diproyeksikan mampu meningkatkan pertumbuhan ekonomi. Berdasarkan Inpres Nomor 7 Tahun 2016, terwujudnya sektor perikanan yang mandiri, maju, kuat dan berbasis kepentingan nasional telah dituangkan secara jelas. Indonesia sebagai negara maritim memiliki potensi sumber daya kelautan dan perikanan melimpah yang perlu dibarengi dengan sarana dan prasarana infrastruktur untuk mengoptimalkan sumber daya tersebut. Sebagaimana diketahui, produk kelautan dan perikanan merupakan komoditas yang mudah rusak (*perishable*) sehingga memerlukan perlakuan khusus dalam penanganannya. Tujuan dari kebijakan tersebut adalah meningkatkan kesejahteraan nelayan, pembudidaya, pengolah, dan pemasaran hasil perikanan; menyerap tenaga

kerja; dan meningkatkan devisa negara [32]. Dengan demikian, diperlukan suatu sistem yang bertujuan untuk meningkatkan kapasitas dan stabilitas sistem produksi dan pemasaran, produksi hilir dan pemasaran secara efisien, penguatan konektivitas antara sentra produksi hulu, dan meningkatkan efisiensi manajemen rantai pasokan produk kelautan dan perikanan, serta informasi dari hulu hingga hilir yang melibatkan sinergi berbagai pihak. Contoh beberapa produk hasil laut berupa ikan, Cephalopoda (cumi-cumi), dan udang dapat dilihat pada Gambar 7.

Saat ini, Kementerian Kelautan dan Perikanan (KKP) terus melakukan berbagai usaha untuk meningkatkan nilai ekspor komoditas produk perikanan, baik hidup, segar, dingin, maupun olahan. Meningkatnya produksi perikanan tangkap disumbang oleh naiknya produksi perairan umum daratan sebesar 2,71% dan perikanan laut sebesar 2,23% [34]. Nilai ekspor hasil perikanan Indonesia sampai Desember 2020 mencapai USD 5,20 miliar. Hingga saat ini, Amerika Serikat (AS) masih menjadi pasar terbesar dengan kontribusi mencapai 40,30% atau USD 2,1 miliar. Standar kualitas ekspor yang ketat merupakan tantangan tersendiri dengan beberapa kendala yang dihadapi, antara lain [34]

- a. beberapa produk perikanan Indonesia dinyatakan belum memenuhi standar kualitas pasar di Jepang; serta
- b. Amerika Serikat semakin memperketat kriteria dan kualitas produk impornya, seperti jaminan keamanan produk perikanan dan non-IUU, *sustainability*, dan *traceability*.



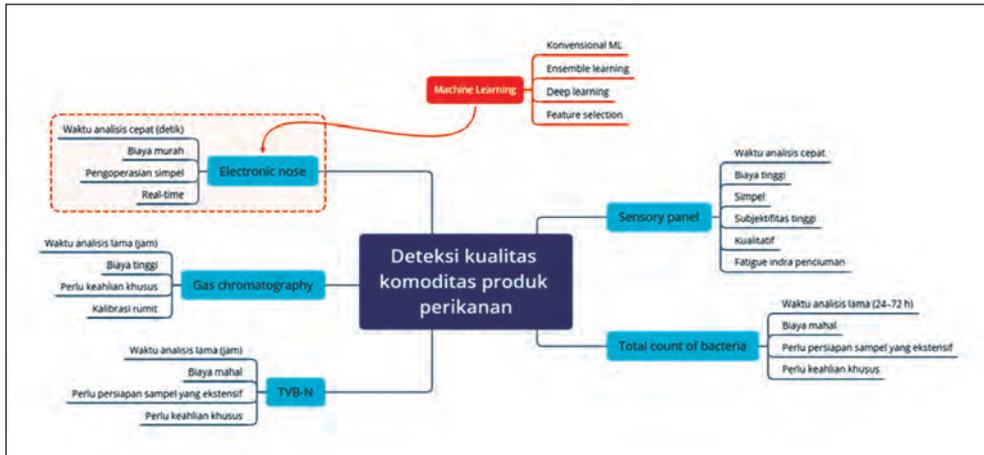
Gambar 7. Ragam produk hasil laut [33]

Beberapa upaya yang dilakukan oleh KKP, antara lain peningkatan mutu produk kelautan dan perikanan untuk komoditas ekspor yang bernilai ekonomis penting melalui sertifikasi kelayakan serta *Workshop Remote Assessment in Fisheries Inspection and Certification*. Standar resmi pengujian untuk menentukan kesegaran dan keamanan produk kelautan dan daging adalah *total viable count* (TVC) [35]. Proses uji laboratorium tersebut membutuhkan waktu yang cukup lama, 24–72 jam, dengan biaya yang mahal untuk satu kali pengujian [36]. Untuk itu, diperlukan sebuah mekanisme pengujian produk makanan laut yang cepat, murah, dan mudah dioperasikan untuk melengkapi atau bahkan menggantikan uji laboratorium yang membutuhkan waktu yang lama dan biaya mahal sehingga frekuensi pengujian menjadi lebih mudah dan sering dilakukan untuk menjamin kualitas komoditas produk perikanan terutama untuk keperluan ekspor.

Komoditas produk laut atau perikanan yang terjamin kesegaran dan keamanan merupakan hal yang harus dipenuhi untuk menjamin produk yang berkualitas dan layak untuk diekspor. Namun, menjamin produk makanan laut berkualitas bukanlah sesuatu yang mudah. Seperti halnya sumber protein lain, produk makanan laut seperti ikan akan mudah mengalami degradasi kualitas jika tidak diperlakukan dengan baik. Berdasarkan panduan yang dirilis oleh FAO, proses pembusukan dimulai segera setelah ikan mati. Jutaan bakteri berpotensi merusak yang terdapat di permukaan lendir, di insang, dan di usus ikan hidup [35]. Bakteri mulai menyerang jaringan melalui insang, sepanjang pembuluh darah, dan langsung melalui kulit dan lapisan rongga perut [37]. Dengan demikian, pengujian kualitas produk secara berkala sangat diperlukan.

Saat ini, terdapat beberapa metode untuk evaluasi kualitas kesegaran produk daging dan komoditas produk perikanan, antara lain *sensory panel*, *total count of bacteria*, *total volatile basic nitrogen* (TVB-N), dan *gas chromatography*. Namun, metode tersebut membutuhkan waktu yang lama, mahal, dan perlu personel yang memiliki keahlian khusus [36][38]. Indikator umum untuk menentukan kualitas produk makanan laut atau daging biasanya ditentukan oleh bau yang disebabkan oleh produksi gas hasil penguraian bakteri.

Salah satu cara menguji bau adalah dengan menggunakan *sensory panel*, di mana beberapa orang diminta untuk menguji bau berdasarkan indra penciuman. Namun tentunya metode ini memiliki banyak kelemahan karena dilakukan secara manual, di antaranya subjektivitas tinggi dan kejenuhan indra penciuman. Pada umumnya, konsentrasi gas dapat diukur menggunakan mesin *gas chromatography*. Namun, kedua instrumen tersebut relatif mahal, berukuran besar, pengoperasian sulit, dan tidak cocok untuk analisis daring [36]. Saat ini, standar baku dalam penentuan status kualitas produk makanan laut dan daging adalah analisis jumlah total bakteri (*total count of bacteria*), tetapi diperlukan masa inkubasi hingga 72 jam dan proses analisis



Gambar 8. Kerangka Teoritis Deteksi Kualitas Produk Hasil Laut

yang lama dan berbiaya tinggi. Metode lain yang digunakan untuk evaluasi kesegaran daging adalah pengukuran *total volatile basic nitrogen* (TVB-N), di mana konsentrasi nitrogen dari basa nitrogen yang mudah menguap diukur dalam mg/100 g sampel. Metode ini lebih sering digunakan untuk evaluasi kesegaran ikan karena aroma ikan busuk sering dikaitkan dengan adanya senyawa nitrogen. Penggunaan *e-nose* pada penelitian ini dipilih karena waktu analisis yang cepat (dalam satuan detik), berbiaya murah, pengoperasian mudah, dan mendukung untuk pengembangan sistem *real-time*. Kombinasi sistem *e-nose* dan algoritma *machine learning* diperlukan untuk mengklasifikasikan kualitas produk makanan laut serta prediksi populasi mikroba pada sampel.

C. KESIMPULAN DAN SARAN

Dalam penelitian ini, metode pengujian kualitas bahan makanan, khususnya daging dan produk hasil laut, dilakukan dengan beberapa kesimpulan sebagai berikut.

1. Terdapat beberapa tantangan pada pengembangan sistem *e-nose*, antara lain ketidakstabilan kondisi lingkungan, kontaminasi *noise* pada sinyal *e-nose*, *overlapping selectivity*, dan pola yang beragam dari sampel daging yang berbeda.
2. Untuk mengatasi tantangan tersebut, telah dikembangkan metode *noise filtering* untuk mereduksi *noise* pada sinyal, metode *sensor array optimization* untuk mengurangi *overlapping selectivity* dan menemukan kombinasi gas sensor paling optimal.

Saran untuk pengembangan selanjutnya sebagai berikut.

1. Model kecerdasan artifisial yang telah dilatih pada tahapan sebelumnya akan di-*deploy* pada lingkungan *cloud* untuk *sensing as a service* (S²aaS) sehingga manajemen model menjadi terpusat dan memudahkan pengembangan.
2. Sistem *e-nose* dan kecerdasan buatan dapat juga dikembangkan untuk pengujian sampel lain, seperti teh, kopi, dan rempah-rempah.

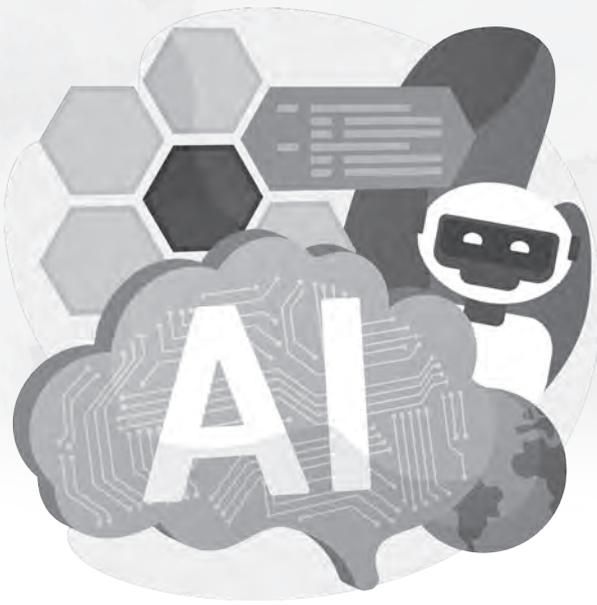
DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. W. Gardner dan P. N. Bartlett, "A brief history of electronic noses," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 18, no. 1–3, pp. 210–211, 1994.
- [2] H. K. Patel, *The Electronic Nose: Artificial Olfaction Technology*. Ahmedabad: Springer, 2014.
- [3] O. S. Papadopoulou, E. Z. Panagou, F. R. Mohareb, dan G. J. E. Nychas, "Sensory and microbiological quality assessment of beef fillets using a portable electronic nose in tandem with support vector machine analysis," *Food Research International*, vol. 50, no. 1, pp. 241–249, 2013.
- [4] S. A. Abdallah, L. A. Al-shatti, A. F. Alhajraf, N. Al-hammad, and B. Al-awadi, "The detection of foodborne bacteria on beef: The application of the electronic nose," *SpringerPlus*, vol. 2, pp. 1–9, 2013.
- [5] S. Balasubramanian, S. Panigrahi, C. M. Logue, H. Gu, dan M. Marchello, "Neural networks-integrated metal oxide-based artificial olfactory system for meat spoilage identification," *Journal of Food Engineering*, vol. 91, no. 1, pp. 91–98, 2009.
- [6] S. Balasubramanian, C. M. Logue, dan M. Marchello, "Spoilage identification of beef using an electronic nose system," *Transactions of the ASAE*, vol. 47, no. 5, pp. 1625–1633, 2004.
- [7] M. Ghasemi-Varnamkhasti, S. S. Mohtasebi, M. Siadat, dan S. Balasubramanian, "Meat quality assessment by electronic nose (machine olfaction technology)," *Sensors*, vol. 9, no. 8, pp. 6058–6083, 2009.
- [8] V. Y. Musatov, V. V. Sysoev, M. Sommer, dan I. Kiselev, "Assessment of meat freshness with metal oxide sensor microarray electronic nose: A practical approach," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 144, no. 1, pp. 99–103, 2010.
- [9] N. El Barbri, E. Llobet, N. El Bari, X. Correig, dan B. Bouchikhi, "Electronic nose based on metal oxide semiconductor sensors as an alternative technique for the spoilage classification of red meat," *Sensors*, vol. 8, no. 1, pp. 142–156, 2008.
- [10] Z. Ali, W. T. O. Hare, dan B. J. Theaker, "Detection of bacterial contaminated milk by means of a quartz crystal microbalance based electronic nose," *Journal of Thermal Analysis*, vol. 71, pp. 155–161, 2003.
- [11] S. Ampuero, T. Zesiger, V. Gustafsson, A. Lunden, dan J. O. Bosset, "Determination of trimethylamine in milk using an MS based electronic Nose," *European Food Research Technology*, vol. 214, pp. 163–167, 2002.
- [12] S. Borah, E. L. Hines, M. S. Leeson, D. D. Iliescu, M. Bhuyan, dan J. W. Gardner, "Neural network based electronic nose for classification of tea aroma," *Sensing and Instrumentation for Food Quality and Safety*, vol. 2, pp. 7–14, 2008.

- [13] S. Omatu dan M. Yano, "E-nose system by using neural networks," *Neurocomputing*, vol. 172, pp. 394–398, 2016.
- [14] D. Guo, D. Zhang, L. Zhang, dan G. Lu, "Non-invasive blood glucose monitoring for diabetics by means of breath signal analysis," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 173, pp. 106–113, 2012.
- [15] X. Liu dkk., "A Survey on Gas Sensing Technology," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, pp. 9635–9665, 2012.
- [16] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Gas concentration analysis of resistive gas sensor array," in *2016 IEEE International Symposium on Electronics and Smart Devices*, 2016, pp. 337–342.
- [17] I. Nouretdinov dan G. Li, "Application of conformal predictors to tea classification based on electronic nose," in *Artificial Intelligence Applications and Innovations*, 2010, pp. 303–310.
- [18] S. T. Sarkar dkk., "Towards biological plausibility of electronic noses: A spiking neural network based approach for tea odour classification," *Neural Networks*, vol. 71, pp. 142–149, 2015.
- [19] Najam ul Hasan, N. Ejaz, W. Ejaz, dan H. S. Kim, "Meat and fish freshness inspection system based on odor sensing," *Sensors (Switzerland)*, vol. 12, no. 11, pp. 15542–15557, 2012.
- [20] S. Güney dan A. Atasoy, "Study of fish species discrimination via electronic nose," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 119, pp. 83–91, 2015.
- [21] R. A. Lawrie, "The eating quality of meat," in *Meat Science 7th edition*, 2006, pp. 157–158.
- [22] B. B. Dent, S. L. Forbes, dan B. H. Stuart, "Review of human decomposition processes in soil," *Environmental Geology*, no. 1997, pp. 576–585, 2003.
- [23] F. Mohareb, O. Papadopoulou, E. Panagou, G.-J. Nychas, dan C. Bessant, "Ensemble-based support vector machine classifiers as an efficient tool for quality assessment of beef fillets from electronic nose data," *Analytical Methods*, vol. 8, no. 18, pp. 3711–3721, 2016.
- [24] V. S. Kodogiannis dan A. Alshejari, "A fuzzy-wavelet neural network model for the detection of meat spoilage using an electronic nose," in *IEEE World Congress on Computational Intelligence (IEEE WCCI)*, 2016.
- [25] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Noise filtering framework for electronic nose signals: An application for beef quality monitoring," *Computers and Electronics in Agriculture*, vol. 157, no. January 2018, pp. 305–321, 2019.
- [26] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Information Quality Ratio as a novel metric for mother wavelet selection," *Chemometrics and Intelligent Laboratory Systems*, vol. 160, 2017.
- [27] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "DWTLSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring," *Sensors and Actuators, B: Chemical*, vol. 326, 2021.
- [28] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Sensor array optimization for mobile electronic nose: Wavelet transform and filter based feature selection approach," *International Review on Computers and Software*, vol. 11, no. 8, pp. 659–671, 2016.
- [29] D. R. Wijaya dan F. Afianti, "Stability assessment of feature selection algorithms on homogeneous datasets: A study for sensor array optimization problem," *IEEE Access*, vol. 8, 2020.

- [30] D. R. Wijaya, "Information-theoretic ensemble feature selection with multi-stage aggregation for sensor array optimization," *IEEE Sensors Journal*, vol. 21, no. 1, pp. 1–1, 2020.
- [31] D. R. Wijaya, F. Afianti, A. Arifianto, D. Rahmawati, dan V. S. Kodogiannis, "Ensemble machine learning approach for electronic nose signal processing," *Sensing and Bio-Sensing Research*, vol. 36, no. March, p. 100495, 2022.
- [32] S. Burhanuddin, "Rencana Strategis 2020-2024 Deputy Bidang Koordinasi Sumber Daya Maritim," Jakarta, 2020.
- [33] PT Anugrah Laut Indonesia, "PT Anugrah Laut Indonesia," 2021. Diakses pada 6 Agustus 2021. [Daring]. <http://www.aliseafood.co.id/products/>
- [34] KKP, "Laporan Tahunan Kementerian Kelautan dan Perikanan 2020," 2020.
- [35] J. A. sciortino dan R. ravikumar, "Chapter 5: Fish quality assurance," in *Fishery Harbour Manual on the Prevention of Pollution - Bay of Bengal Programme*, Madras: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1999.
- [36] W. Wojnowski, T. Majchrzak, T. Dymerski, J. Gębicki, dan J. Namieśnik, "Electronic noses: Powerful tools in meat quality assessment," *Meat Science*, vol. 131, no. February, pp. 119–131, 2017.
- [37] W. A. J. J. Graham dan F. J. Nicholson, "Preservative effect of chilling," in *Ice in fisheries*, Rome: Food and Agriculture Organization of the United Nations, 1992.
- [38] V. Preedy, *Electronic Noses and Tongues in Food Science*. London: Elsevier Inc., 2016.
- [39] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "Electronic nose dataset for beef quality monitoring in uncontrolled ambient conditions," *Data in Brief*, vol. 21, pp. 2414–2420, 2018.
- [40] R. Sarno, S. I. Sabilla, D. R. Wijaya, D. Sunaryono, dan C. Fatichah, "Electronic nose dataset for pork adulteration in beef," *Data in Brief*, vol. 32, pp. 1–5, 2020.
- [41] D. R. Wijaya dan F. Afianti, "Stability assessment of feature selection algorithms on homogeneous datasets: A study for sensor array optimization problem," *IEEE Access*, vol. 8, pp. 33944–33953, 2020.
- [42] D. R. Wijaya, R. Sarno, dan E. Zulaika, "DWTLSTM for electronic nose signal processing in beef quality monitoring," *Sensors and Actuators B: Chemical*, vol. 326, no. Jan 2021, p. 128931, 2021
- [43] CSIRO Food and Nutritional Sciences, "Vacuum-packed meat : storage life and spoilage," 2003. [Online]. Available: <http://www.meatupdate.csiro.au/VPmeat-spoilage-storage.pdf>. [Accessed: 30-Jul-2022].

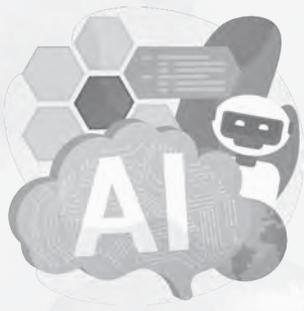
Buku ini tidak diperjualbelikan.



CATATAN DISKUSI
Berdasarkan Materi Presentasi
Narasumber dalam
FGD Kelompok Kerja Inovasi
Pusat Inovasi Kecerdasan Artifisial BPPT
tahun 2021 dan AIIS 2021

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



AI INTELLIGENCE: MENINGKATKAN PENGAWASAN MARITIM SECARA *REAL-TIME* MELALUI KECERDASAN ARTIFISIAL DAN *BIG DATA*

Billy Barokah, Heru Permana, Laksono Widyo Isworo, Eueung Mulyana, Muhammad Ridwan, & Haryadi Maramis

PT Len Industri (Persero)

ABSTRAK

Salah satu komponen penting dalam mendukung konsep pertahanan dan keamanan negara adalah tersedianya informasi situasional lengkap yang dikumpulkan dari berbagai sumber. Dalam konteks *maritime surveillance*, salah satu sumber informasi ini adalah data dari sistem *automatic identification system* (AIS). Karena setiap kapal mengirimkan informasi secara periodik, data dari sistem AIS dapat digunakan untuk pemantauan (posisi, kecepatan, arah dan lain-lain) secara *real-time*. Dengan menggunakan metode pembelajaran mesin dan kecerdasan artifisial serta memanfaatkan *big data* dari data AIS yang tersedia, pihak yang berwenang dapat melakukan identifikasi potensi ancaman. Pendeteksian dini terhadap aktivitas kapal yang anomali secara tepat dan cepat menjadi sebuah tantangan dalam meminimalkan dampak dari sebuah kemungkinan ancaman. Dalam artikel ini, kami akan menyajikan ikhtisar dari konsep dan arsitektur deteksi anomali dari data AIS yang dikembangkan PT Len Industri (Persero), khususnya dalam hal klusterisasi trayektori, klasifikasi aktivitas, dan analisis perilaku kapal. Sistem yang dikembangkan mampu memodelkan rute perjalanan kapal, mengklasifikasikan aktivitas kapal, mengidentifikasi profil kapal dan mendeteksi pola anomali secara *real-time*.

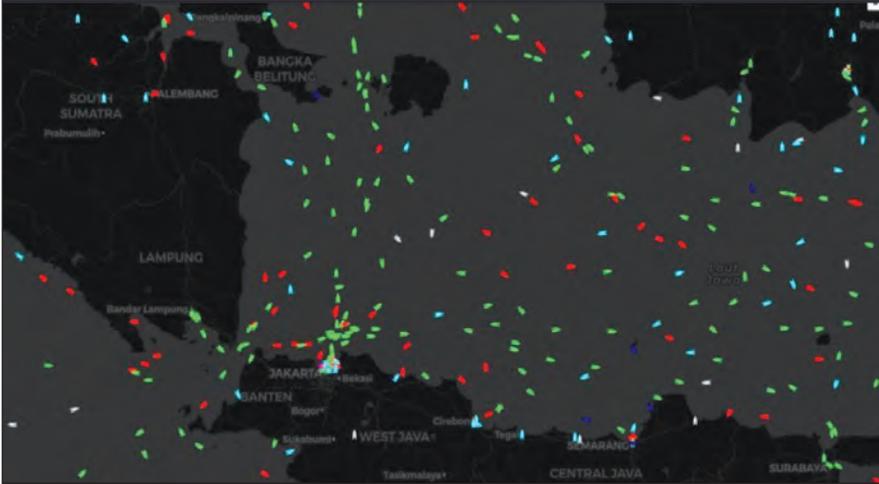
Kata kunci: AIS, *maritime surveillance*, kecerdasan artifisial, *big data*

A. PENDAHULUAN

Luasnya perairan Indonesia yang mencapai 3,25jt km² dan 2,55jt km² ZEE merupakan sumber daya yang sangat potensial. Pemanfaatannya pun bermacam-macam dari kegiatan perikanan, logistik, hingga transportasi manusia. Selain itu, posisi Indonesia sangat strategis dalam peta jalur pelayaran dunia yang memiliki empat *choke point*, yaitu Selat Malaka, Selat Sunda, Selat Makasar, dan Selat Lombok. Ini menjadikan perairan Indonesia sangat sibuk dengan lalu lintas perjalanan kapal-kapal

B. Barokah, H. Permana, L. W. Isworo, E. Mulyana, M. Ridwan, & H. Maramis
PT Len Industri, e-mail: billy.barokah@len.co.id

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
B. Barokah, H. Permana, L. W. Isworo, E. Mulyana, M. Ridwan, and H. Maramis, "AIS Intelligence: Meningkatkan pengawasan maritim secara *real-time* melalui kecerdasan artifisial dan *big data*," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 23, pp. 275-282, doi: 10.55981/brin.668.c535
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9



Gambar 1. Pemantauan AIS secara *real-time*

internasional. Namun, potensi tersebut juga dapat memunculkan aktivitas-aktivitas ilegal, seperti *illegal, unregulated and unreported (IUU) fishing*, pembajakan kapal logistik dan transportasi, serta aktivitas-aktivitas ilegal lainnya yang dapat mengurangi potensi pendapatan dan mengancam keamanan dan pertahanan wilayah perairan Indonesia.

Saat ini, pemantauan terhadap situasi perairan Indonesia hanya sebatas pemantauan posisi kapal secara *real-time* dari data AIS tanpa adanya pengolahan data untuk dianalisis. Pengenalan pola pergerakan kapal untuk mendeteksi anomali, seperti *spoofing, loitering, rendezvous*, dan *AIS switch-off* merupakan tugas yang sangat menantang bagi operator pemantauan AIS. Selain data yang sangat banyak dan besar, banyak juga parameter yang perlu diperhatikan.

Dalam sistem *maritime surveillance*, pengumpulan data dari AIS merupakan salah unsur dalam membangun pusat informasi data untuk kemaritiman. Seluruh data akan diintegrasikan, dikorelasikan, dan dianalisis sehingga dapat digunakan untuk berbagai kebutuhan.

Dalam artikel ini, kami akan menampilkan ikhtisar dari arsitektur sistem, konsep, dan teknik yang kami kembangkan. Data AIS yang diproses terbagi dalam tiga layer, yaitu *batch processing layer* untuk *modeling*, *real time processing layer* untuk deteksi anomali, dan *service layer* untuk *AIS mapping, early warning*, dan visualisasi.

B. JENIS ANOMALI AIS

Jenis anomali yang sistem deteksi dikhususkan terkait dengan pelanggaran dan gangguan keamanan dan pertahanan di wilayah perairan Indonesia. Analisis terhadap deteksi anomali kapal meliputi:

1. *Rendezvous*

Sistem dapat mendeteksi pertemuan dua kapal atau lebih di lautan, baik termonitor oleh AIS maupun tidak termonitor (*dark rendezvous*). Sistem tetap dapat mendeteksi terjadinya *rendezvous* ketika salah satu atau semua kapal mematikan AIS-nya untuk menghindari terpantau oleh AIS.

2. *Loitering*

Sistem dapat mendeteksi dari perubahan data AIS yang signifikan, seperti perubahan kecepatan atau *draught*, pelayaran yang tidak normal, seperti kecepatan yang tidak sesuai dengan jenis kapalnya atau *turn rate* yang tidak sesuai jenis kapalnya, dan berlayar tidak sesuai dengan rute/*trajectory* seharusnya.

3. *AIS Spoofing*

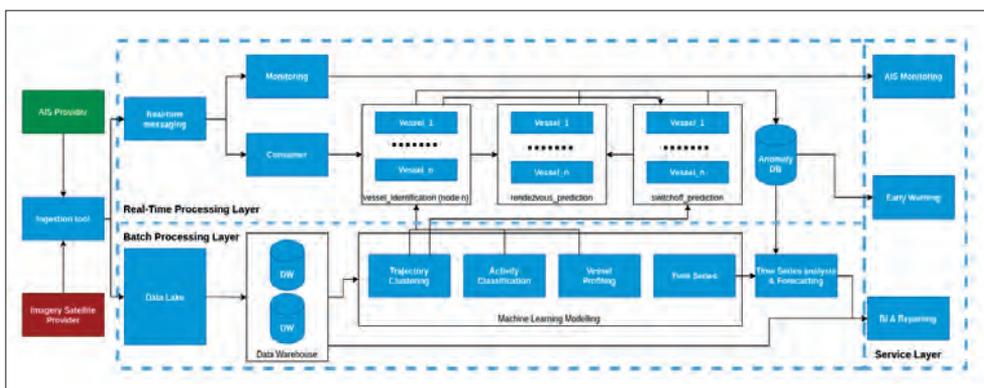
Sistem dapat mendeteksi adanya duplikasi nomor MMSI kapal dari data AIS yang diterima. Deteksi duplikasi nomor MMSI tidak hanya menerima data AIS pada waktu bersamaan, tetapi juga dapat mendeteksi nomor MMSI yang sama di posisi yang tidak memungkinkan kapal menempuh posisi tersebut dengan jeda waktu antara data AIS yang diterima saat ini dengan data AIS yang diterima sebelumnya. *AIS Spoofing* juga dapat mendeteksi AIS palsu, yaitu data AIS diterima, tetapi kapalnya tidak ada, dan kemungkinan ini merupakan serangan siber.

4. *AIS Switch-off*

Sistem dapat mendeteksi kapal yang mematikan AIS saat melakukan pelayaran dengan memvalidasi antara jarak, rute, kecepatan, dan arah pelayaran.

C. ARSITEKTUR

Sistem yang dikembangkan seperti yang ditampilkan pada Gambar 2. Arsitektur sistem yang digunakan mengikuti paradigma delta arsitektur. Proses data dibagi menjadi dua bagian, yaitu *batch processing* dan *real-time processing*. Pada *batch*



Gambar 2. Arsitektur AIS Intelligence

processing, semua *raw data* yang diterima akan disimpan pada *data lake*, selanjutnya diproses dengan teknik *extract, transform and load (ETL)* untuk dimasukkan ke *data warehouse*. Data pada *data warehouse* akan digunakan untuk proses *machine learning* dalam membuat model yang akan digunakan dalam deteksi anomali pergerakan kapal. Pada *batch processing*, sistem akan mengeksploitasi data riwayat pelayaran atau posisi kapal berdasarkan jenis kapal dan jalur pelayaran kapal berdasarkan *port-to-port*. Ini merupakan proses yang berjalan sangat lama; butuh beberapa jam untuk menyelesaikannya, tergantung jenis kapal dan kepadatan areanya serta spesifikasi komputer yang digunakan. Hasil eksploitasi ini berupa model untuk area rute perjalanan kapal, area aktivitas kapal, dan *profiling* kapal, serta *time series*.

Pada *real-time processing*, kami menggunakan *apache kafka* sebagai *message broker* untuk menangani pengiriman dari Apache Nifi sebagai *ingestion tool*. Data AIS didapatkan dari perusahaan *provider* layanan AIS. Selanjutnya, data dikirim ke *service layer* sebagai pemantauan secara *real-time* posisi kapal pada peta di sistem *web-based* dan dianalisis apakah terjadi pergerakan/perilaku yang anomali atau tidak. Sistem menggunakan teknik *distributed processing* untuk menganalisis setiap data AIS yang diterima. Proses ini menggunakan *apache flink* sebagai *computation engine* untuk *real-time processing*. Sistem terdiri dari beberapa *node*, setiap *node* akan menganalisis sekumpulan data AIS dan akan membuat *task* yang dikhususkan untuk menganalisis satu kapal saja.

D. TEKNIK PEMODELAN DATA PADA *BATCH PROCESSING LAYER*

1. *Trajectory Clustering*

Trajectory clustering digunakan untuk mengidentifikasi area normal pada rute perjalanan kapal dengan menggunakan data riwayat posisi kapal berdasarkan tipe kapal dan perjalanan kapal pelabuhan ke pelabuhan. *Trajectory clustering* menggunakan teknik *spatiotemporal* dengan algoritma *k-means* dan *convex hull*. Dengan teknik ini, sistem dapat membuat area perjalanan berupa poligon yang saling terhubung.



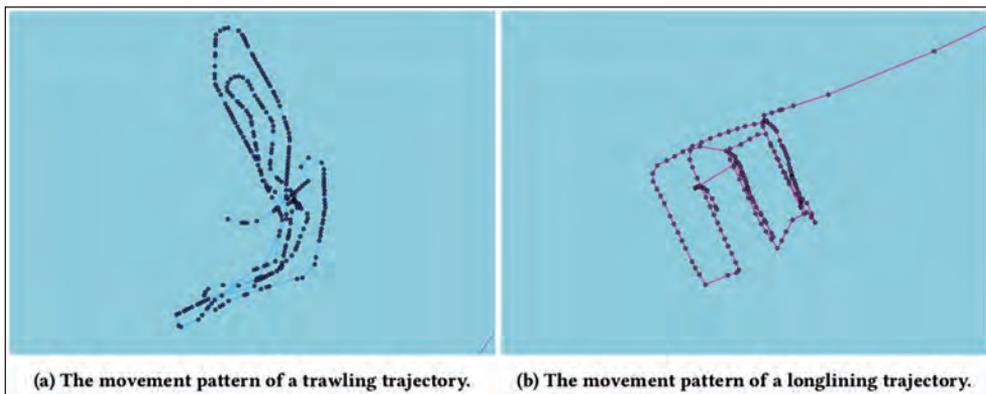
Gambar 3. *Trajectory Clustering*

Setiap area poligon akan memiliki informasi mengenai *course*, *heading*, kecepatan paling cepat, kecepatan paling lama, dan waktu perjalanan. Semua area poligon yang terbentuk akan disimpan ke dalam *database* dan akan digunakan untuk mendeteksi penyimpangan atau anomali dari pergerakan kapal pada *streaming layer*.

2. Activity Classification

Klasifikasi aktivitas kapal digunakan untuk dua analisis kapal, yaitu 1) untuk mendeteksi aktivitas kapal di lautan secara *real-time*; dan 2) untuk menentukan area aktivitas kapal, seperti area penangkapan ikan, area *anchor*, dan area bongkar muat.

Sistem menggunakan algoritma XGBOOST untuk mengklasifikasikan *feature* berdasarkan *speed*, *drifting*, *turn*, dan interval waktu. Setelah mengidentifikasi aktivitas kapal, sistem akan mengklasifikasi area berdasarkan aktivitas kapal, yaitu area penangkapan ikan, area *anchor*, dan area bongkar muat.



Gambar 4. Activity Classification



Gambar 5. Area Classification

3. Vessel Profiling

Pada bagian ini kami menggunakan algoritma *Fuzzy Logic Reasoner* dalam melakukan *profiling* kapal dalam menentukan tingkat atau nilai risiko suatu kapal. Nilai risiko ini akan digunakan dalam menentukan nilai terhadap anomali sebuah kapal. Ada tiga indikator yang dipertimbangkan dalam menentukan nilai risiko, yaitu 1) frekuensi perubahan *flag* (kode MMSI); 2) frekuensi perubahan pelabuhan tujuan dan komparasi antara pelabuhan tujuan pada AIS dan pelabuhan tujuan yang aktual; 3) frekuensi perubahan nama kapal.

Tabel 1. *Fuzzy Logic Rules*

No	Input			Output
	Frekuensi perubahan flag	Frekuensi perubahan nama	frekuensi perubahan pelabuhan tujuan	indikator anomali
1	Rendah	Rendah	Rendah	Sedang
2	Rendah	Rendah	Normal	Rendah
3	Rendah	Rendah	Tinggi	Sedang
4	Rendah	Tinggi	Rendah	Sedang
5	Rendah	Tinggi	Normal	Rendah
6	Rendah	Tinggi	Tinggi	Sedang
7	Tinggi	Rendah	Rendah	Tinggi
8	Tinggi	Rendah	Normal	Sedang
9	Tinggi	Rendah	Tinggi	Tinggi
10	Tinggi	Tinggi	Rendah	Tinggi
11	Tinggi	Tinggi	Normal	Tinggi
12	Tinggi	Tinggi	Tinggi	Tinggi

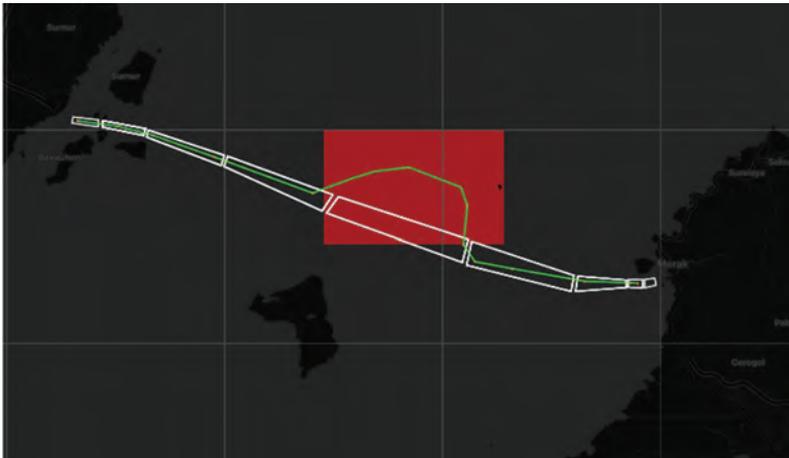
E. TEKNIK DETEKSI ANOMALI PADA *REALTIME*

Dalam proses mendeteksi anomali, sistem akan membagi ke dalam tiga bagian:

1. Bagian pertama merupakan *service vessel identification*. Sistem menganalisis pergerakan kapal untuk mendeteksi *loitering* dan *spoofing* untuk *fake AIS* dengan parameter dari *trajectory clustering*, *area classification*, dan *vessel profiling*. Ketika terdeteksi ada pergerakan yang menyimpang dan gap interval data AIS yang diterima melebihi batas *threshold*, sistem akan mengirimkan data AIS ke *service rendezvous detection* dan untuk *gap interval* data AIS akan dikirim ke *service switch-off detection*.

2. Bagian kedua adalah *service rendezvous detection*. Bagian ini akan aktif ketika menerima data dari *service vessel identification*. Pada bagian ini sistem akan melakukan pemantauan di area sekitar terhadap kapal-kapal yang mendekat.
3. Bagian ketiga adalah *service AIS switch-off*. Bagian ini akan aktif ketika menerima data dari *service vessel identification*. Pada bagian ini, sistem akan melakukan pemantauan terkait pengiriman AIS, apakah sengaja dimatikan atau ada kendala lain, termasuk faktor cuaca yang juga diperhitungkan.

Hasil analisis data AIS, baik secara *real-time* maupun *batch processing*, akan ditampilkan dalam *service layer*. Hasil ini terdiri dari *mapping* data AIS secara *real-time* pada peta dengan *map server* menggunakan *geoserver*, notifikasi untuk *early warning detection*, dan BI (*business intelligence*), serta *reporting* menggunakan *apache superset* dengan *query engine* menggunakan trino.



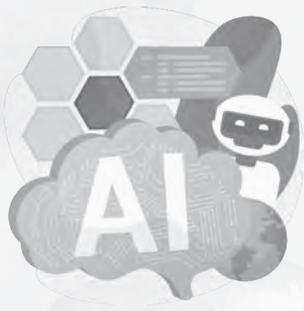
Gambar 6. *Anomaly Behavior*

F. KESIMPULAN

Pemantauan dan analisis data AIS secara *real-time* tidak cukup untuk kebutuhan pengawasan dan pengamanan maritim, butuh pemrosesan lebih lanjut untuk dapat mendeteksi adanya anomali AIS. Oleh karena itu, dalam sistem ini kami mengembangkan metode pembelajaran mesin dan kecerdasan artifisial serta memanfaatkan *big data* dari data AIS yang tersedia untuk membantu mendeteksi anomali AIS secara otomatis dan *real-time*.

Sistem deteksi anomali AIS yang dikembangkan secara umum terbagi ke dalam tiga *layer*, yaitu *batch processing layer* untuk modeling, *real time processing layer* untuk deteksi anomali, dan *service layer* untuk *early warning*, AIS *mapping*, dan visualisasi.

Dalam meningkatkan keakuratan data dan kemampuan sistem dalam pengawasan dan pengamanan maritim, dalam sistem ini kami melakukan *information fusion* dengan sumber data yang lain, seperti citra satelit, baik foto optik maupun foto *synthetic aperture radar* (SAR), *radio frequency* (RF), satelit, dan *visible infrared imaging radiometer suite* (VIIRS), serta dengan data dari *human intelligence* (HUMINT) dan *open source intelligence* (OSINT).



PEMANFAATAN AI PADA LAYANAN PEMERINTAH TERINTEGRASI

Cahyono Tri Birowo

Kemendagri RB RI

ABSTRAK

Pemerintah menerbitkan Peraturan Presiden Nomor 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE) dalam rangka memperkuat Perpres No. 80 Tahun 2011 tentang Grand Design Reformasi Birokrasi Indonesia 2010–2025. Perpres ini menjadi salah satu upaya pemerintah dalam mewujudkan tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif, transparan, dan akuntabel serta pelayanan publik yang berkualitas dan tepercaya, melalui dukungan pemanfaatan TIK dalam sistem pemerintahan secara terpadu. Visi SPBE adalah “terwujudnya sistem pemerintahan berbasis elektronik yang terpadu dan menyeluruh untuk mencapai birokrasi dan pelayanan publik yang berkinerja tinggi.” Visi ini juga sekaligus mendukung salah satu pilar Visi Indonesia Tahun 2045, yakni pemantapan ketahanan nasional dan tata kelola pemerintahan. Untuk memperbaiki sistem pemerintahan yang lama menjadi sistem pemerintahan yang bersih dan efisien, pemerintah melakukan proses transformasi digital dengan dukungan teknologi-teknologi Industri 4.0, seperti IoT, *big data*, kecerdasan artifisial, dan komputasi awan. Berdasarkan arsitektur SPBE yang dirancang pada 2021, transformasi digital dilakukan secara tematik pada semua layanan publik dan layanan administrasi pemerintah. Dua tema layanan digital pemerintahan yang diprioritaskan agar didukung oleh teknologi kecerdasan artifisial adalah bantuan pemerintah terintegrasi (BPT) dan perizinan pemerintahan terintegrasi (PPT). Dengan dukungan sistem data Indonesia (SDI), kecerdasan artifisial dapat dikembangkan dan diterapkan pada aplikasi-aplikasi layanan pemerintahan. SPBE dan data yang berkualitas akan mengantarkan bangsa kita ke *Society 5.0*.

Kata kunci: sistem pemerintahan berbasis elektronik, reformasi birokrasi, kecerdasan artifisial, sistem data Indonesia

C. T. Birowo

Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi Republik Indonesia, e-mail: cahyonotribirowo@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN

C. T. Birowo, "Pemanfaatan AI pada layanan pemerintah terintegrasi," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksana, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 24, pp. 283-293, doi: 10.55981/brin.668.c537

ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

1. Percepatan Reformasi Birokrasi

Kementerian Pendayagunaan Aparatur Negara dan Reformasi Birokrasi (KemenPANRB) memiliki tugas salah satunya menyukseskan program nasional, yakni Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik (SPBE). SPBE adalah penyelenggaraan pemerintahan yang memanfaatkan teknologi informasi dan komunikasi untuk memberikan layanan kepada pengguna SPBE. Hal ini seperti yang tertuang pada Peraturan Presiden No. 95 Tahun 2018 tentang Sistem Pemerintahan Berbasis Elektronik. SPBE ditujukan untuk mewujudkan tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif, transparan, dan akuntabel serta pelayanan publik yang berkualitas dan tepercaya. Tata kelola dan manajemen sistem pemerintahan berbasis elektronik secara nasional juga diperlukan untuk meningkatkan keterpaduan dan efisiensi sistem pemerintahan berbasis elektronik.

Seperti yang ditunjukkan oleh Gambar 1, birokrasi yang baik dan bersih, sederhana, fleksibel, serta didukung oleh proses tata kelola yang cepat dan SDM aparatur yang berkualitas akan menghasilkan pelayanan publik yang prima. Pelayanan publik yang bagus tentu akan berdampak pada pertumbuhan ekonomi yang baik dan ini merupakan salah satu pilar dan agenda pembangunan nasional Indonesia.

Penyelenggaraan layanan publik dipengaruhi oleh kualitas dari administrasi publik. Administrasi publik yang lama masih belum rapi dan kental dengan penyalahgunaan kewenangan dalam bentuk kolusi, korupsi, dan nepotisme. Oleh karena itu, kita perlu mentransformasi sistem yang lama ini dengan bantuan teknologi informasi dan komunikasi atau teknologi digital untuk mewujudkan tata kelola pemerintahan yang berkualitas dan tepercaya.



Gambar 1. Percepatan reformasi birokrasi mendorong pertumbuhan ekonomi dan pembangunan nasional.

Cara mentransformasi dari administrasi publik yang lama (*old public administration*) menuju birokrasi yang baik dan bersih sebagai berikut.

- a. Penyederhanaan birokrasi berbasis digital (*digital bureaucracy*);
- b. Pemulihan ekonomi melalui manajemen kerja berbasis digital (*digital work management*);
- c. Peningkatan kualitas SDM berbasis digital (*digital mindset*);
- d. Tata kelola pemerintahan yang efektif, responsif, dan adaptif berbasis digital (*digital government*);
- e. Pelayanan publik berbasis digital (*digital service*).

Dalam konsep SPBE yang ada di Perpres No. 95/2018, berbagai proses bisnis, aplikasi, dan infrastruktur bertujuan menunjang terwujudnya layanan digital nasional. Salah satu kegiatan yang dilakukan adalah mendigitalisasikan di lingkup birokrasi dalam rangka menciptakan layanan pemerintah yang lebih lincah (*agile*) dan mudah dirasakan oleh masyarakat. Birokrasi akan berlari dengan semakin cepat ketika orientasinya pada hasil dan kinerja pelayanan yang efektif, efisien, dan ekonomis, serta didukung oleh budaya birokrasi yang berintegritas tinggi.

2. Regulasi Transformasi Digital

Sesuai Peraturan Presiden No. 95 tahun 2018, SPBE memiliki Tim Koordinasi Nasional yang terdiri dari:

- a. Menpan RB sebagai *Government Chief Information Officer* (CIO);
- b. Menteri PPN/Bappenas sebagai *Government Chief Data Officer* (CDO);
- c. Menkominfo sebagai *Government Chief Technology Officer* (CTO);
- d. Menteri keuangan sebagai *Government Chief Financial Officer* (CFO);
- e. Menteri Dalam Negeri sebagai *Regional Government CIO*;
- f. Kepala BPPT sebagai *Government Research and Development* (R&D);
- g. Kepala BSSN sebagai *Government Chief Information Security Officer* (CISO).

SPBE berkolerasi dengan Satu Data Indonesia yang ditetapkan oleh Perpres No. 39/2019. Satu Data Indonesia memiliki Dewan Pengarah yang terdiri dari MenPANRB, Menkominfo, Menkeu, Mendagri, Kepala BPS, dan Kepala BIG serta dikoordinatori oleh Menteri PPN/Bappenas.

Seperti di Gambar 2, rencana induk dan arsitektur SPBE memiliki dua lapis lingkaran, yaitu di lingkaran luar dan lingkaran dalam. Lingkaran luar terdiri dari audit TIK, manajemen risiko, manajemen keamanan informasi, manajemen data, manajemen aset TIK, manajemen layanan, manajemen pengetahuan, manajemen perubahan, dan manajemen SDM. Sementara itu, di lingkaran dalam ada rencana anggaran, proses bisnis, data dan informasi, infrastruktur SPBE, aplikasi SPBE, keamanan SPBE, dan layanan SPBE.



Gambar 2. Regulasi Transformasi Digital untuk Penyuksesan SPBE

3. Tahapan Penerapan SPBE Nasional

Penerapan SPBE Nasional dilakukan dalam dua tahapan, yaitu tahap pembangunan fondasi SPBE dari tahun 2018–2022 dan tahap pengembangan SPBE dari tahun 2023–2025.

Fase transformasi menuju Smart Government (2021–2023):

- Penyusunan proses bisnis antar sasaran pembangunan lintas bidang/sector, dan antar K/L/D melalui penerapan Arsitektur SPBE;
- Pemanfaatan infrastruktur TIK nasional berbagi pakai (PDN, jaringan intra pemerintah, sistem penghubung layanan);
- Perwujudan tematik layanan dan fokus pembangunan lintas bidang/sector.

Fase Smart Government (2024–2025):

- Integrasi (*high level*) proses bisnis lintas K/L/D berbasis arsitektur SPBE;
- Penerapan penuh layanan publik dan administrasi pemerintah nasional dalam bentuk layanan digital pemerintah terintegrasi;
- Pemanfaatan *big data* dan kecerdasan artifisial dalam pengambilan keputusan yang cepat dan akurat (*data driven government*).

Berkenaan dengan pemanfaatan teknologi 4.0, tahapan yang dilakukan oleh program SPBE sampai tahun 2021 adalah memastikan penerapan SPBE berbasis arsitektur SPBE. Arsitektur SPBE yang ditetapkan pada 2021 memiliki Peta Rencana SPBE Nasional 2021–2025, yang didalamnya terdapat penyiapan *big data* pemerintah pada 2022 dan operasional dari kecerdasan artifisial dalam layanan pemerintah pada 2023.

Tujuan utama dari penyiapan *big data* dan kecerdasan artifisial (KA) adalah memastikan transformasi dari birokrasi bersifat tradisional menjadi *seamless*, yakni memastikan lintas bidang sektor dari kementerian dan lembaga, pemerintah pusat, dan pemerintah daerah dapat dilakukan secara *seamless*. Untuk mengimplementasikan transformasi yang *seamless* ini, ada empat komponen yang ditetapkan oleh Peta Rencana Strategi SPBE Nasional (*master plan*), yaitu tata kelola, layanan, teknologi informasi dan komunikasi (TIK), dan sumber daya manusia.

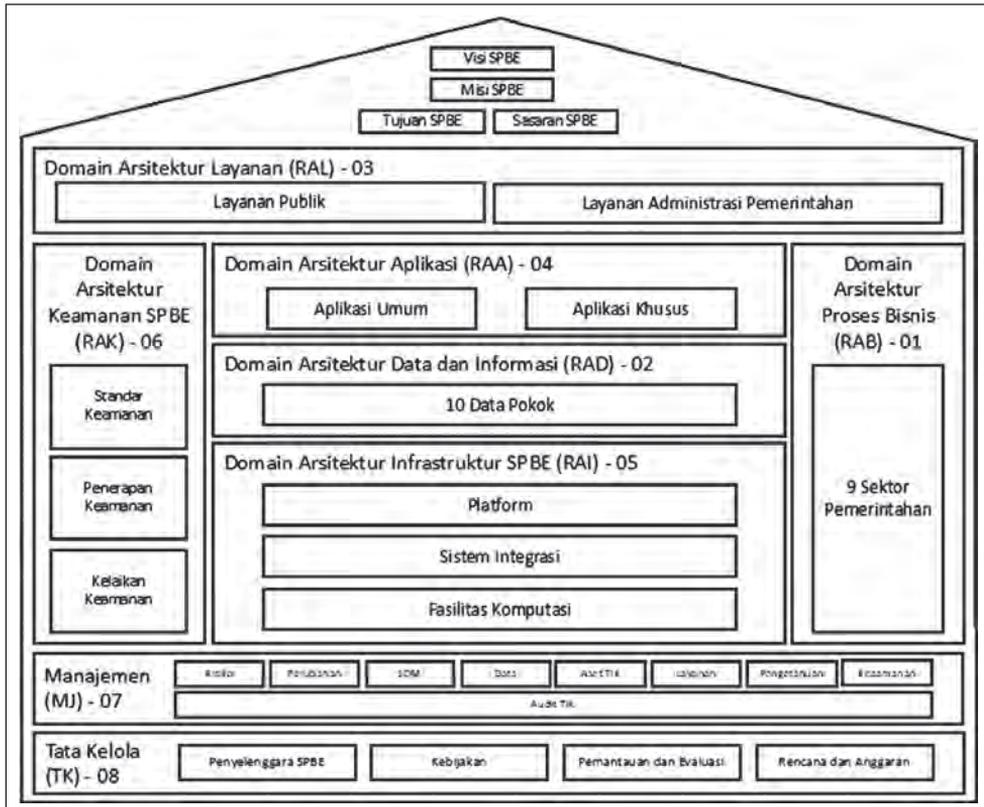
Pada komponen TIK, program-program strategis yang dilakukan berupa:

- a. Penyediaan Pusat Data Nasional (2022);
- b. Penyediaan Jaringan Intra Pemerintah (2022);
- c. Penyediaan Sistem Penghubung Layanan Pemerintah (2022);
- d. Penyediaan akses berkualitas terhadap layanan SPBE di seluruh wilayah Indonesia (2025);
- e. Pengembangan Layanan Berbasis Teknologi Layanan berbagi Pakai (2025);
- f. Pembangunan Portal Data Nasional (2025);
- g. Pembangunan Sistem Keamanan Informasi Nasional (2025);
- h. Pengembangan Teknologi Kecerdasan Buatan (2025).

B. ARSITEKTUR SPBE NASIONAL

Untuk mewujudkan tata kelola pemerintahan yang bersih, efektif, transparan, dan akuntabel, pelayanan publik yang berkualitas dan tepercaya, dan meningkatkan keterpaduan dan efisiensi penyelenggaraan SPBE, pemerintah menyiapkan sebuah arsitektur SPBE nasional (Gambar 3). Arsitektur SPBE Nasional memiliki 5 domain arsitektur, yaitu arsitektur proses bisnis, arsitektur keamanan SPBE, arsitektur Infrastruktur SPBE, arsitektur data dan informasi, dan arsitektur aplikasi.

Selain domain arsitektur, arsitektur menyertai referensi arsitektur dan metadata arsitektur. Referensi arsitektur adalah suatu model yang menggambarkan komponen dasar dari arsitektur standar yang digunakan sebagai acuan penyusunan setiap domain arsitektur. Referensi ini digunakan untuk mengidentifikasi layanan yang redundan dan serupa, mendukung layanan bersama dan interoperabilitas antarsistem, dan memberikan panduan untuk memfasilitasi aplikasinya (seperti referensi arsitektur bisnis, data dan informasi, layanan, aplikasi, infrastruktur, dan keamanan). Metadata arsitektur adalah Informasi terstruktur yang mendeskripsikan dan menjelaskan mengenai domain arsitekturnya. Metadata membantu mendefinisikan elemen pemodelan (konsep, relasi, dan batasan) yang mampu menggambarkan hubungan antara ketiganya. Domain arsitektur adalah komponen arsitektur yang menjelaskan substansi arsitektur dan berperan untuk mengidentifikasi target pengembangan dan target interoperabilitas pada masing-masing area, seperti proses bisnis, data dan informasi, layanan, aplikasi, infrastruktur, dan keamanan.



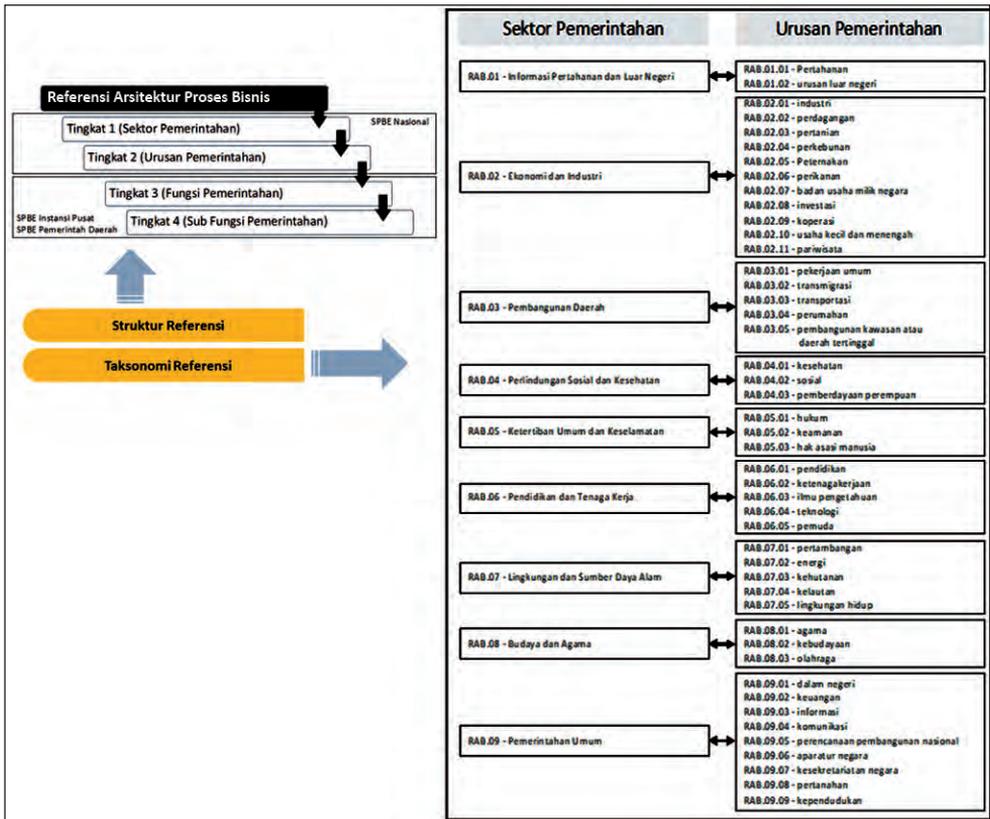
Gambar 3. Arsitektur SPBE Nasional

1. Referensi Arsitektur Proses Bisnis

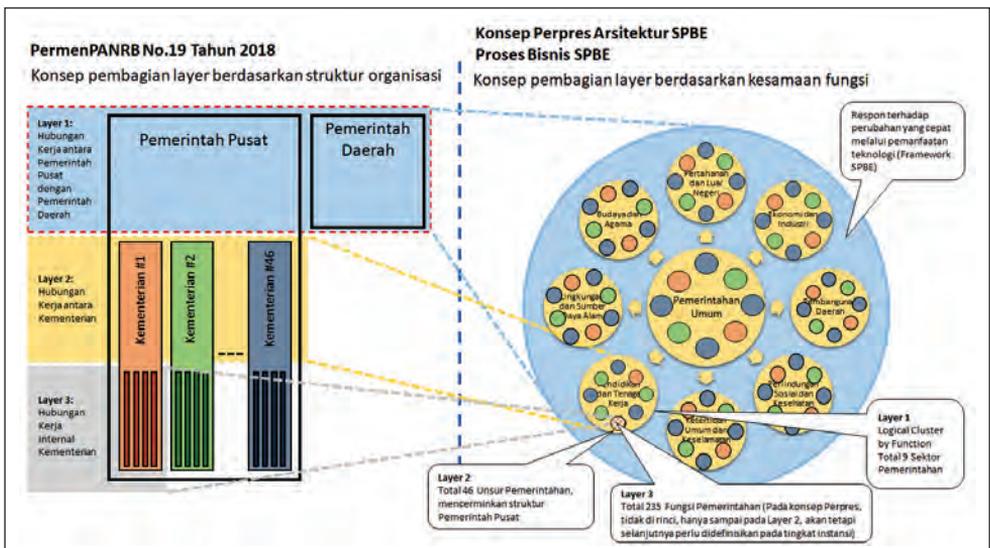
Kelompok dalam referensi arsitektur proses bisnis terbagi dua sebagai berikut.

- a. SPBE nasional: sektor pemerintahan dan urusan pemerintahan;
- b. SPBE instansi pusat dan daerah: fungsi dan subfungsi pemerintahan.

Taksonomi di tingkat nasional tidak mencerminkan fungsi-fungsi sektor, tetapi fungsi-fungsi klaster tematik, contohnya ekonomi berkorelasi dengan industri, perdagangan, dan pariwisata. Referensi arsitektur proses bisnis digunakan sebagai acuan dalam menentukan jenis atau tipe dari sebuah bisnis/urusan/fungsi/proses yang dilakukan dalam penyelenggaraan pemerintahan. Referensi ini mengelompokkan fungsi bisnis dari setiap K/L untuk menggambarkan potensi kolaborasi antar-K/L/D serta pengintegrasian secara terpadu setiap elemen pemerintahan dalam melakukan fungsi-fungsi yang diemban. Dalam pengintegrasian tersebut akan diterapkan *big data* dan kecerdasan artifisial sehingga dapat memastikan *alignment* proses bisnis antarinstansi. *Alignment* tersebut tidak lagi bersifat konvensional, tetapi memastikan kelompok-kelompok yang bersifat *agile* tadi.



Gambar 4. Referensi Arsitektur Proses Bisnis dalam 4 Tingkat



Gambar 5. Konsep Pembagian Layer Berdasarkan Kesamaan Fungsi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Gambar 5 mendeskripsikan konsep pembagian *layer* berdasarkan struktur organisasi dan konsep pembagian *layer* berdasarkan kesamaan fungsi.

Layer 1: Hubungan kerja antara pemerintah pusat pemerintah daerah

- Klaster logik dengan fungsi, secara total ada 9 sektor pemerintahan

Layer 2: Hubungan kerja antara kementerian

- Total ada 46 unsur pemerintahan, dan ini mencerminkan struktur pemerintah pusat.

Layer 3: Hubungan kerja internal kementerian

- Total ada 235 fungsi pemerintahan. Pada konsep Perpres tidak dirinci, hanya sampai pada layer 2, tetapi selanjutnya perlu didefinisikan pada tingkat instansi.

2. Referensi Arsitektur Data dan Informasi

Referensi arsitektur data dan informasi terdiri dari dua tingkat di SPBE Nasional (data pokok dan data tematik), dan dua tingkat di SPBE instansi pusat/daerah (data topik dan data subtopik)

3. Referensi Arsitektur Layanan

Referensi arsitektur data dan informasi terdiri dari dua tingkat di SPBE Nasional (domain layanan dan area layanan), dan dua tingkat di SPBE instansi pusat/daerah (kategori layanan dan subkategori layanan).

C. TEMATIK LAYANAN DIGITAL PEMERINTAH

Tematik layanan digital pemerintah terdiri dari:

1. Layanan Publik

a. Standar Pelayanan Minimum/SPM (*Gov to Citizen, G2C*):

- Pendidikan
- Kesehatan
- Pekerjaan umum dan penataan ruang
- Perumahan rakyat dan kawasan permukiman
- Ketenteraman, ketertiban umum, dan perlindungan masyarakat
- Sosial

b. Layanan Bisnis (*Government to Business, G2B*):

- Perdagangan
- Perindustrian
- Penyiaran
- Kawasan ekonomi

2. Layanan Administrasi Pemerintahan

- a. Akuntabilitas kinerja
- b. Pengawasan
- c. Kepegawaian
- d. Kearsipan
- e. BMN
- f. Keuangan (Perencanaan, Penganggaran, dan Pengadaan Barang/Jasa)

Prioritas penerapan kecerdasan artifisial di SPBE adalah sebagai berikut.

- a. Bantuan Pemerintah Terintegrasi (BPT)
- b. Perizinan Pemerintah Terintegrasi (PPT)

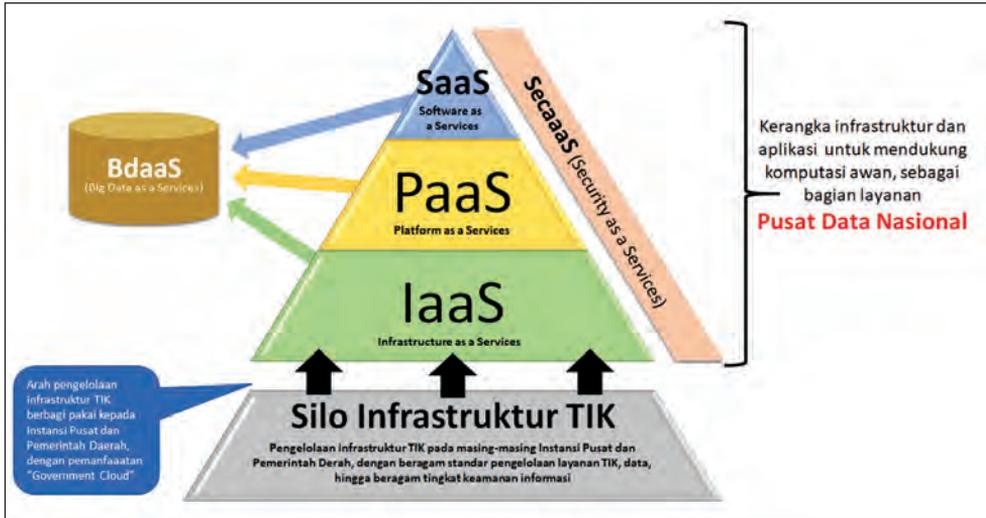
Penerapan kecerdasan artifisial pada layanan publik dan layanan administrasi pemerintahan dapat memenuhi indikator CPI EoDB, EGDI, dan membantu penanganan Covid-19, pemulihan ekonomi nasional. Penerapannya diprioritaskan pada dua layanan pemerintah, yakni bantuan pemerintah terintegrasi (BPT) dan perizinan pemerintah terintegrasi (PPT). Dengan demikian, dua layanan ini menjadi prioritas pemanfaatan kecerdasan artifisial. Melalui kecerdasan artifisial, pemerintah bisa memberikan informasi ke masyarakat dengan lebih cepat, sebagai contoh kecerdasan artifisial (KA) akan merekomendasikan pemberian bantuan pada sasaran yang tepat karena berdasarkan analisis data.

Sektor perizinan pemerintah terintegrasi berkaitan dengan sektor ekonomi, perdagangan, dan industri. Karena banyak data yang dihasilkan oleh pemerintah secara terintegrasi, *big data* dan KA penting untuk digunakan sehingga pengambilan keputusan tidak bersifat manual atau konvensional, tetapi dibantu oleh berbagai macam *tools* yang mendukung. Begitu juga program bantuan pemerintah yang tidak hanya terkait Kemensos, tetapi juga kementerian lainnya. Rencananya, pada 2021 dilakukan pengindentifikasian proses bisnis dan layanan, pada 2022 dilakukan penyusunan integrasi layanan—belum masuk ke KA, tetapi sudah masuk pada tahap penyiapan *big data* pemerintah. Pada 2023, setelah terkumpul banyak dataset, berbagai layanan dapat dibantu oleh KA. KA dapat diterapkan di SPBE.

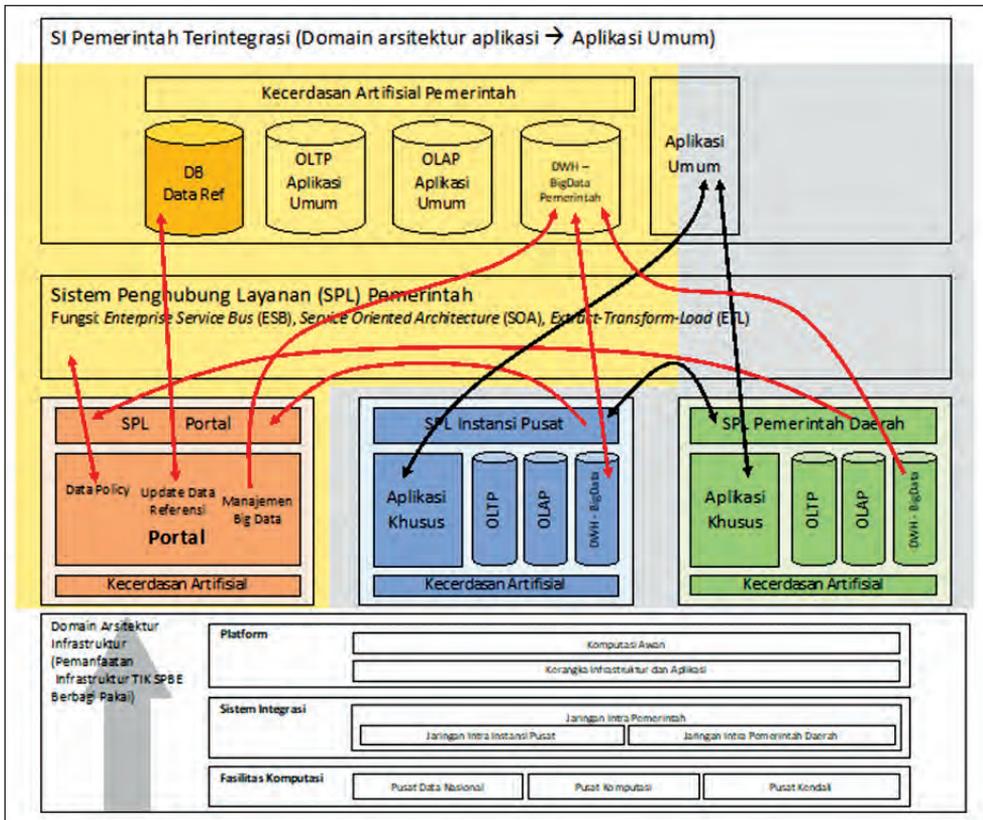
Model penyediaan infrastruktur TIK dapat diilustrasikan oleh Gambar 6:

- a. *Big data as a service*: [IaaS, PaaS, SaaS] + Security as a service;
- b. Arah pengelolaan infrastruktur TIK berbagi pakai kepada instansi pusat dan pmda dengan memanfaatkan Government Cloud: Silo Infrastruktur TIK.

Jadi, di masing-masing instansi tidak lagi ada silo-silo individual, tetapi diarahkan ke *Government Cloud* BdaaS yang mendukung KA. Teknologi ini akan terus dikembangkan sehingga penerapannya tidak hanya terbatas pada dua layanan tadi (bansos dan perizinan), tetapi juga untuk layanan lainnya demi mendukung layanan yang terintegrasi.



Gambar 6. Model Penyediaan Infrastruktur TIK



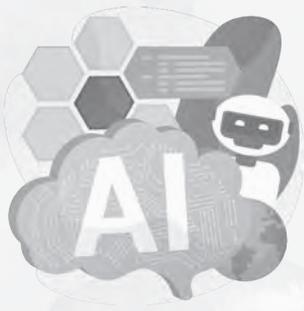
Gambar 7. Kerangka Integrasi Data dan Aplikasi

Buku ini tidak diperjualbelikan.

Arsitektur yang menunjukkan relasi antara data dan aplikasi dengan infrastruktur dideskripsikan pada Gambar 7.

SPBE bersama kekuatan pengelolaan data yang efektif akan membantu percepatan penerapan *big data* pemerintah dan kecerdasan artifisial. Keberhasilan dalam hal ini tentu akan mengantarkan bangsa Indonesia menuju Masyarakat 5.0, yakni bangsa yang dikendalikan oleh data (*data driven nation*). Data adalah jenis kekayaan baru bangsa dan sangat diperlukan layanan masyarakat yang *customer* sentris menuju masyarakat 2045.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



PEMANFAATAN KECERDASAN ARTIFISIAL: REGULASI KOTAK PASIR (*REGULATORY SANDBOX*) DALAM PENGEMBANGAN PESAWAT KARGO TANPA AWAK (*CARGO DRONE*) DI WILAYAH KEPULAUAN REPUBLIK INDONESIA

Alexander Ludi

Ass. COO, Network Development Frogs,
Indonesia Drone Cargo Association, Member, INDOLUAS
Chief of Collaboration, UMG Idealab

ABSTRAK

Sebuah perusahaan rintisan (*startup*) asal Indonesia yang berdomisili di Yogyakarta memanfaatkan kecerdasan buatan untuk mengembangkan pesawat angkut (kargo) tanpa awak yang dikhususkan untuk mengangkut barang menuju area yang sulit dijangkau dalam waktu lebih singkat, misalnya pengiriman obat-obatan ke wilayah pulau-pulau terpencil. Pasar pesawat kargo tanpa awak (*cargo drone*) di dunia diprediksi bernilai 27,4 miliar dolar Amerika Serikat (AS) pada tahun 2030. Perubahan regulasi dan pemanfaatan pesawat kargo tanpa awak ringan akan turut serta dalam pertumbuhan pasarnya secara global untuk memenuhi kebutuhan untuk pengantaran barang agar dapat lebih cepat. Pada 28 Desember 2020 di Aerosummit 2020, Menteri Riset dan Teknologi/Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN), Bambang Brodjonegoro, mengungkapkan jika program pesawat kargo tanpa awak sedang dipersiapkan oleh Kementerian Riset dan Teknologi yang dilatarbelakangi oleh peningkatan penggunaan dan proyeksi *drone* sebagai teknologi masa depan, baik oleh sipil maupun militer. Untuk mempercepat implementasi pesawat kargo tanpa awak di masyarakat, perlu dilakukan uji terbang di lingkungan yang menggambarkan kondisi sebenarnya dengan tetap mempertimbangkan pemenuhan persyaratan keselamatan, keamanan, dan perlindungan konsumen, serta kebutuhan sebuah wadah untuk menguji inovasi pesawat kargo tanpa awak dan regulasi yang harus diciptakan untuk memastikan semua persyaratan tersebut.

Kata kunci: kecerdasan artifisial, pesawat angkut tanpa awak, *sandbox*, *cargo drone*, pengantaran barang

A. Ludi
Network Development Frogs, e-mail: epifanijanto@gmail.com

@2023 Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (KORIKA) & Penerbit BRIN
A. Ludi, "Pemanfaatan kecerdasan artifisial: Regulasi Kotak Pasir (*Regulatory Sandbox*) dalam pengembangan pesawat kargo tanpa awak (*Cargo Drone*) di wilayah Kepulauan Republik Indonesia," in *Prosiding Use Cases Artificial Intelligence Indonesia: Embracing Collaboration for Research and Industrial Innovation in Artificial Intelligence*, B. R. Trilaksono, H. Riza, A. Jarin, N. D. S. Darmayanti, and S. Liawatimena, Eds. Jakarta: Penerbit BRIN, Februari 2023, ch. 25, pp. 295-303, doi: 10.55981/brin.668.c546
ISBN: 978-623-8052-49-3, E-ISBN: 978-623-8052-50-9

A. PENDAHULUAN

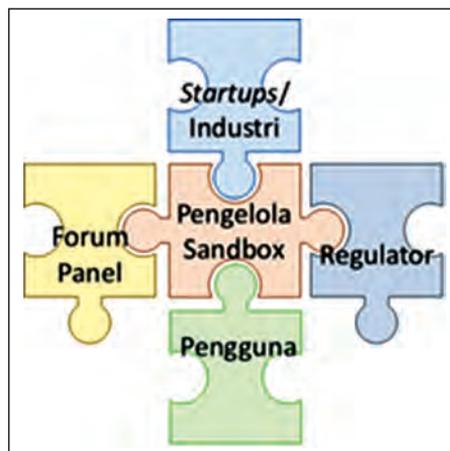
Secara umum, regulasi kotak pasir (*regulatory sandbox*) melibatkan regulator dan peserta, baik dari industri maupun perusahaan rintisan (*startup*). Di samping itu, pengguna juga dilibatkan dalam uji coba produk inovasi dalam rentang waktu tertentu. Regulator biasanya bertindak sebagai pengelola kotak pasir (*sandbox*), seperti halnya OJK atau BI untuk teknologi finansial. Namun, tidak menutup kemungkinan bahwa pengelola kecerdasan artifisial *sandbox* berasal dari institusi yang melingkupi atau terkait dengan bidang inovasi kecerdasan artifisial.

B. PEMBAHASAN

1. Kelembagaan Kecerdasan Artifisial Regulasi Kotak Pasir (*Regulatory Sandbox*)

Penetapan pengelola *sandbox* dilakukan melalui rapat koordinasi yang melibatkan pemangku kepentingan (*stakeholder*) kecerdasan artifisial dalam bidang yang relevan. Pengelola bertanggung jawab terhadap pelaksanaan uji coba *sandbox* dan penyiapan sistem elektronik untuk mendukung regulasi kotak pasir, serta memiliki kewenangan dalam menyosialisasikan, menerima pendaftaran peserta, menilai kesesuaian produk inovasi dari peserta, dan menetapkan hasil uji coba regulasi kotak pasir.

Forum panel ditetapkan oleh panitia atau pengelola dan bertanggung jawab dalam melakukan penilaian terhadap usulan inovasi dari para peserta *sandbox* yang mencakup aspek inovasi, proses bisnis, model bisnis, serta potensinya dalam mendukung penerapan kecerdasan artifisial. Forum panel juga bertanggung jawab atas penilaiannya dengan melaporkan kepada pengelola.



Gambar 1. Pemangku Kepentingan Kecerdasan Artifisial Regulasi Kotak Pasir

Tabel 1. Peran Tim dan Tahapan Proses *Sandbox*

No	Tim	Fase				
		Pre-Aplikasi	Aplikasi	Review	Testing	Exit & Review
1	Communication Lead	mempromosikan Program	menyampaikan periode sandbox	-	-	-
2	Sandbox Committee	komunikasi dengan regulator; menyusun kriteria <i>eligibility</i>	komunikasi dengan ahli terkait	menetapkan <i>supervisory team</i>	-	mereviu hasil uji coba; mempersiapkan laporan ke publik
3	Technical Lead	mengembangkan portal	memandu penggunaan portal	-	-	-
4	Administrative Review Team	-	-	mereviu aplikasi; menyampaikan peserta terpilih	-	-
5	Selection Team	-	-	melakukan interviu	-	-
6	Supervisory Team	-	-	-	memandu proses uji coba; melaporkan hasil ke <i>Sandbox Committee</i>	-

Sumber: Adaptasi dari Jenik & Duff (2020)

Tabel 1 menunjukkan peran tim dan tahapan proses *sandbox* dapat dikelompokkan menjadi pre-aplikasi, aplikasi, *review*, pengujian, serta penilaian dan *review*. Tim komunikasi mempromosikan dan menyampaikan informasi program ke publik di tahap awal. Komite *sandbox* berperan dari awal hingga akhir tahapan, mulai dari berkomunikasi dengan regulator, menyusun kriteria pemilihan peserta, berkomunikasi dengan ahli terkait, menetapkan tim supervisor, meninjau ulang hasil uji coba hingga mempersiapkan laporan ke publik. Tim teknis bertugas mengembangkan dan memandu penggunaan portal. Tim administratif bertugas mereviu aplikasi dari peserta dan menyampaikan peserta terpilih dari hasil interviu yang dilakukan oleh tim seleksi. Sementara itu, tim supervisi memandu proses selama uji coba berlangsung dan melaporkan hasil uji coba kepada komite *sandbox*.

Beberapa kriteria umum usulan inovasi kecerdasan artifisial yang harus dipenuhi oleh semua peserta *sandbox* (Datatilsysnet, 2021) adalah sebagai berikut.

- a. Memanfaatkan atau melibatkan kecerdasan artifisial (*artificial intelligence*).
Proyek pengembangan baru maupun yang menggunakan solusi yang ada berdasarkan kecerdasan artifisial dapat berpartisipasi dalam *sandbox*. Pengembangan *framework* atau kebijakan untuk penggunaan kecerdasan artifisial juga dapat menjadi tema *sandbox*.
- b. Bermanfaat bagi individu atau masyarakat secara umum.
Solusi yang ditawarkan berupa produk atau layanan yang memberikan manfaat kesehatan atau mengefisienkan penggunaan sumber daya publik atau produk dengan potensi manfaat publik. Dalam konteks ini, inovasi mencakup inovasi teknologi, inovasi jenis layanan, atau produk baru, termasuk solusi inovatif untuk perlindungan privasi.
- c. Mendapatkan manfaat dari partisipasinya dalam *sandbox*.
Partisipan harus memastikan bahwa lingkup proyeknya terkait kecerdasan artifisial, misalnya tentang keamanan data (*data privacy*), dan harus mengalokasikan sumber daya yang cukup untuk berpartisipasi dalam aktivitas *sandbox*.
- d. Diusulkan oleh entitas yang terdaftar dalam wilayah yurisdiksi Indonesia dan tunduk kepada aturan hukum di Indonesia.

Pengelola *sandbox* menetapkan penyelenggara teknologi kecerdasan artifisial (dari industri atau *startups*) beserta produk, layanan, teknologi, dan/atau model bisnisnya untuk diuji coba dalam regulasi kotak pasir. Merujuk pada aturan *sandbox* terdahulu, seperti Peraturan Anggota Dewan Gubernur Nomor 19/14/PADG/2017 Tentang Ruang Uji Coba Terbatas Teknologi Finansial, penetapan tersebut dilakukan dengan pertimbangan bahwa penyelenggara teknologi kecerdasan artifisial telah terdaftar di panitia *sandbox*. Di samping itu, produk atau proyek yang diselenggarakan mengandung unsur yang dapat dikategorikan ke dalam sistem kecerdasan artifisial, inovatif, bermanfaat atau dapat memberi manfaat bagi konsumen dan/atau perekonomian, bersifat noneksklusif, dapat digunakan secara massal, telah dilengkapi dengan identifikasi dan mitigasi risiko, dan hal lain yang dianggap penting oleh panitia *sandbox*.

Di samping itu, secara teknis, produk inovasi kecerdasan artifisial yang ikut serta dalam *sandbox* diharapkan memenuhi kriteria (1) keandalan, (2) *compliance* terhadap standar, serta (3) keamanan dan kerahasiaan data. Terkait keandalan, sistem kecerdasan artifisial harus dirancang untuk dapat beroperasi dalam parameter yang jelas dan menjalani pengujian yang ketat untuk memastikan bahwa sistem tersebut merespons dengan aman dalam situasi yang tidak terduga dan tidak berevolusi dengan cara yang tidak sesuai dengan ekspektasi. Metrik untuk mengukur pencapaian keandalan perlu diidentifikasi oleh pemangku kepentingan terkait. Terdapat pedoman

yang dapat diacu untuk uji ketahanan sistem kecerdasan artifisial, misalnya ISO/IEC TR 24029-1:2021 tentang Artificial Intelligence (AI): Assessment of the Robustness of Neural Networks.

Sistem kecerdasan artifisial yang diusulkan juga harus memiliki kesesuaian terhadap standar, baik standar terkait bidang tertentu yang harus dipenuhi, misalnya standar keselamatan di bidang kesehatan atau penerbangan sipil, maupun standar umum di bidang kecerdasan artifisial. Pengelola *sandbox* perlu bekerja sama dengan regulator yang memiliki kewajiban untuk memantau semua entitas di bawah yurisdiksinya untuk memastikan bahwa peraturan terkait telah dipatuhi dan tidak ada eksploitasi terhadap pelanggan serta mitra bisnisnya.

Dalam hal keamanan data, sistem kecerdasan artifisial harus mematuhi aturan perlindungan data pribadi di Indonesia dan standar internasional yang mengatur tentang pengumpulan, penggunaan, dan penyimpanan data, serta memastikan bahwa informasi pribadi yang digunakan sesuai dengan standar privasi dan dilindungi dari penyalahgunaan atau pencurian. Dalam ISO 27701 tentang Privacy Information Management System (PIMS) terdapat beberapa panduan dalam (1) perolehan dan pengolahan data, (2) mekanisme untuk mendapatkan persetujuan dari pemilik data, (3) mekanisme proteksi *data by design* yang dirancang dari tahap awal pengembangan sistem maupun *by default* untuk memastikan bahwa data pribadi diproses dengan perlindungan privasi tertinggi, misalnya hanya data yang diperlukan yang harus diproses, periode penyimpanan singkat, dan aksesibilitas terbatas sehingga data pribadi tidak dapat diakses oleh pihak yang tidak berhak secara *default*.

Di Indonesia, aturan perlindungan data pribadi saat ini tertuang dalam Peraturan Menteri (Permen) Nomor 20 Tahun 2016 tentang Perlindungan Data Pribadi (PDP). Data pribadi dinyatakan sebagai data perseorangan tertentu yang disimpan, dirawat, dan dijaga kebenaran, serta dilindungi kerahasiaannya. Peserta kecerdasan artifisial regulasi kotak pasir selaku penyelenggara sistem elektronik harus menyusun aturan internal perlindungan data pribadi sebagai bentuk tindakan pencegahan untuk menghindari terjadinya kegagalan dalam perlindungan data pribadi yang dikelolanya. Selanjutnya, perolehan dan pengumpulan data pribadi wajib berdasarkan persetujuan atau berdasarkan ketentuan peraturan perundang-undangan. Di samping itu, Permen tersebut juga mengatur keakuratan data pribadi, keandalan sistem penyimpanan data, akses pembaruan data, serta perwalian terhadap data anak-anak.

Lebih lanjut, karena sistem kecerdasan artifisial semakin memengaruhi kehidupan setiap orang, maka diharapkan sistem tersebut juga memiliki standar etika, misalnya transparansi dan akuntabilitas (PressRelease.id, 2018). Dalam hal transparansi, perlu diberikan informasi kontekstual tentang bagaimana sistem kecerdasan artifisial beroperasi sehingga masyarakat dapat memahami bagaimana keputusan dibuat dan lebih mudah dalam mengidentifikasi potensi bias, kesalahan, dan hasil yang tidak diinginkan. Sementara itu, dalam hal akuntabilitas, orang atau tim yang mendesain dan memasang sistem kecerdasan artifisial harus bertanggung jawab bagaimana sistem

tersebut beroperasi. Norma akuntabilitas untuk kecerdasan artifisial Indonesia (KAI) harus memanfaatkan pengalaman dan praktik dari sektor lain, seperti privasi dalam perawatan kesehatan. Akuntabilitas juga harus dipatuhi selama proses mendesain dan secara terus-menerus saat sistem beroperasi.

2. Pesawat Kargo Tanpa Awak (*Cargo Drone*)

Cargo drone adalah pesawat udara tanpa awak yang dikhususkan untuk mengangkut barang menuju area yang sulit dijangkau dalam waktu lebih singkat, salah satu pemanfaatannya adalah pengiriman obat-obatan ke daerah kepulauan. Pasar pesawat kargo tanpa awak di dunia diprediksikan akan bernilai 27,4 miliar dolar Amerika pada tahun 2030. Perubahan regulasi dan pemanfaatan pesawat kargo tanpa awak ringan turut serta dalam pertumbuhan pasar untuk memenuhi kebutuhan pengantaran barang lebih cepat.

Pada tanggal 28 Desember 2020 di Aerosummit 2020, Menteri Riset dan Teknologi/Kepala Badan Riset dan Inovasi Nasional, Bambang Brodjonegoro, mengungkapkan bahwa program pesawat kargo tanpa awak sedang dikembangkan yang dilatarbelakangi oleh peningkatan penggunaan dan proyeksi *drone* sebagai teknologi masa depan, baik di bidang sipil maupun militer.

Untuk mempercepat implementasi pesawat tersebut di masyarakat, perlu dilakukan uji terbang di lingkungan yang menggambarkan kondisi sebenarnya. Akan tetapi, seperti inovasi lainnya, pesawat kargo tanpa awak harus memenuhi persyaratan keselamatan, keamanan, dan perlindungan pelanggan. Untuk itu, dibutuhkan sebuah wadah untuk menguji inovasi program tersebut dan regulasi yang harus diciptakan untuk memastikan semua persyaratan terpenuhi.



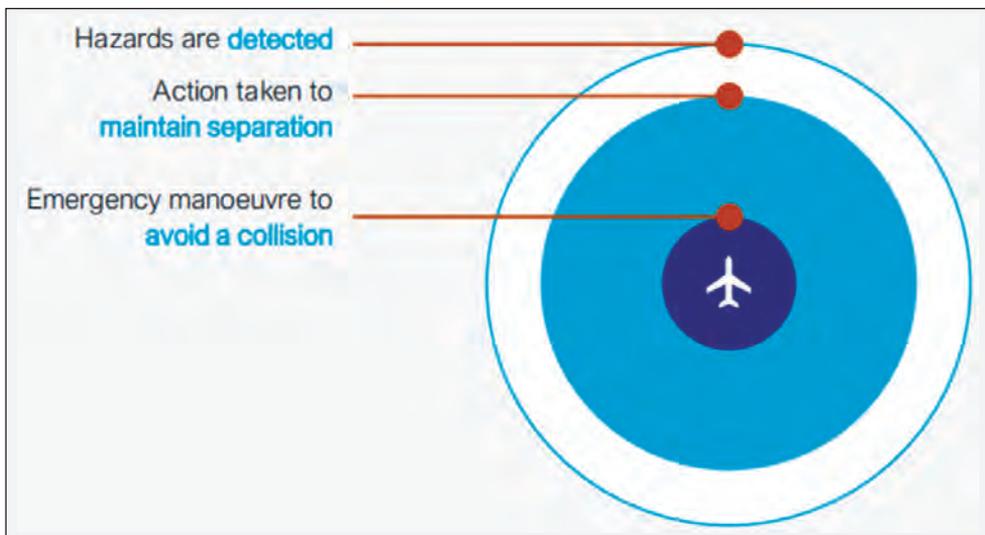
Gambar 2 Cargo/Air Taxi Dronel/Unmanned Aerial Vehicle (UAV)

3. Urgensi Implementasi Regulasi Kotak Pasir di Bidang Jasa Angkut Kargo

Regulasi kotak pasir diperlukan dalam berbagai lingkungan operasional, seperti meteorologi dan oseanografi, serta gangguan tinggi, termasuk metropolitan, *mixed metro*, maritim, dan pedesaan. Selain itu, regulasi kotak pasir harus disesuaikan untuk menganalisis berbagai kasus penggunaan, seperti pada pengiriman paket, pasokan medis, survei tanah atau infrastruktur, operasi *swarm*, dan operasi pengangkutan barang, serta harus mencakup operasi dalam ruangan, *Visual Line of Sight* (VLoS) dan *Beyond VLoS* (BVLoS) (*DroneDeliveryGroup*, 2020).

Terkait kecerdasan artifisial, pesawat kargo tanpa awak diharapkan memiliki kemampuan *detect-and-avoid*, yakni kemampuan untuk melihat, merasakan, atau mendeteksi konflik lalu lintas atau bahaya lain dan mengambil tindakan yang sesuai. Oleh karena pilot jarak jauh tidak mampu memberikan mitigasi *see-and-avoid* yang sama untuk potensi bahaya, sistem pesawat itu sendiri harus mampu melakukan fungsi yang setara sehingga perlu ditambahkan sensor atau teknologi tambahan, seperti *automatic dependent surveillance-broadcast* (ADS-B), *flight alarm* (FLarm), dan *traffic collision avoidance system* (TCAS).

Regulasi kotak pasir menawarkan kesempatan untuk memahami inovasi dan regulasi terkait. Perusahaan atau lembaga dapat bekerja sama dengan pemerintah dan masyarakat sekitar untuk menguji kelayakan konsep pesawat kargo tanpa awak. Hasil akhir yang dapat dicapai adalah inovasi yang lebih baik dan regulasi baru yang memadai. Sebagai sebuah kerangka kerja untuk menguji inovasi dan peraturan, regulasi kotak pasir memiliki tiga karakteristik sebagai berikut.



Sumber: UK-CAA (2020)

Gambar 3 Deteksi Kondisi Bahaya dalam Fitur Kecerdasan Artifisial *Detect-and-Avoid*

- a. Menawarkan area pengujian terbatas pada waktu tertentu.

Hal ini sangat penting karena saat ini belum ada regulasi oleh pemerintah terkait pesawat kargo tanpa awak. Pemerintah ingin menjamin keselamatan dan keamanan masyarakat, tetapi juga tidak ingin menghambat inovasi teknologi. Untuk itu, area pengujian terbatas ini dapat digunakan untuk terus berinovasi tanpa membawa bahaya yang signifikan bagi masyarakat.

- b. Memanfaatkan kelonggaran regulasi.

Meski regulasi terkait pesawat kargo tanpa awak belum tercipta, pengujiannya dapat tetap dilaksanakan dengan menawarkan fleksibilitas dari sisi regulasi yang harus diikuti dengan instrumen evaluasi untuk menguji hasil dari eksperimen pesawat itu sendiri.

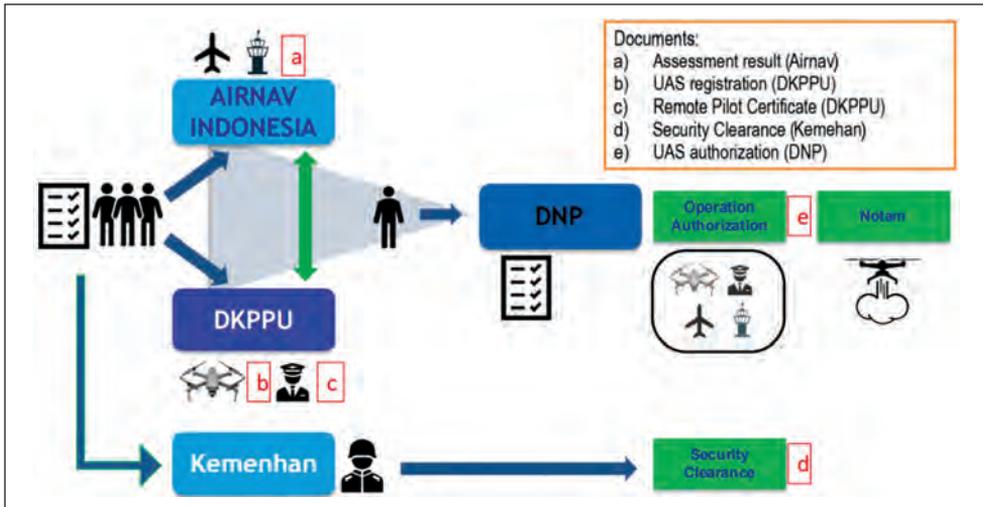
- c. Dapat dimanfaatkan untuk menciptakan regulasi baru.

Kerangka kerja ini tidak hanya berfokus pada inovasi, tetapi juga menitikberatkan pada aturan yang harus diciptakan jika inovasi ini akan diterapkan pada masyarakat.

4. Uji Coba dan Evaluasi

Pengoperasian pesawat udara tanpa awak (PUTA) untuk keperluan penelitian dan pengembangan (*research and development*, R&D) maupun eksperimental memiliki potensi bahaya malfungsi yang cukup besar sehingga dimungkinkan memerlukan suatu ruang udara tersendiri sebagai *test field area* (TFA), yang terdiri dari wilayah darat dan/atau wilayah perairan dengan ruang udara di atasnya yang digunakan untuk kegiatan pengoperasian untuk meminimalkan bahaya dari PUTA tersebut. Ruang udara TFA tersebut bersifat semipermanen dengan ketentuan (DKPPU-Kemhub, 2021)

Persetujuan terhadap area pengoperasian PUTA diperlukan pada ruang udara yang dilayani dengan syarat ruang udara di sekitar bandar udara, *controlled airspace*, dan *uncontrolled airspace* di atas ketinggian 120 m (400 kaki AGL). Sementara itu, persetujuan tidak diperlukan bagi PUTA pada ruang udara *uncontrolled airspace* di bawah ketinggian tersebut. Peserta regulasi kotak pasir menyampaikan aplikasinya kepada Airnav Indonesia untuk sistem navigasi, kepada DKPPU Kementerian Perhubungan untuk proses perizinan, dan kepada Kementerian Pertahanan untuk *security clearance*. Tahap selanjutnya adalah pemeriksaan aplikasi oleh Direktorat Navigasi Penerbangan (DNP) untuk memperoleh otorisasi operasi dan notam (*notice to airman*).



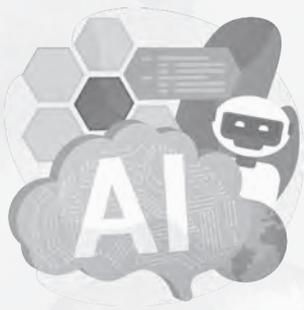
Sumber: DKPPU-Kemhub (2021)

Gambar 4. Mekanisme Persetujuan Pengoperasian PUTA

C. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang tertuang dalam bagian pembahasan, program pesawat kargo tanpa awak harus dibuat dengan asas bijaksana (*prudent*) dengan keluaran (*outcome*) utama adalah terciptanya ekosistem. Selain itu, program ini dapat menciptakan fondasi pengalaman (*experience*) penting bukan hanya bagi pengguna, seperti Garuda, desainer, dan UKM dirgantara, melainkan juga fondasi regulasi bagi regulator (DKPPU) serta fasilitator (RND pemerintah/LAPAN). Secara umum, pesawat kargo tanpa awak dapat digunakan untuk menjaga kekuatan industri *drone* yang berkelanjutan.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



TENTANG EDITOR



Bambang Riyanto Trilaksono

Bambang Riyanto Trilaksono dilahirkan di Banyuwangi, 15 November 1962. Mendapat gelar sarjana di bidang Teknik Elektro, ITB, pada Tahun 1986, dan gelar Master dan Doktor berturut-turut pada Tahun 1991 dan 1994 dalam bidang Teknik Elektro dari Waseda University, Jepang. Saat ini yang bersangkutan adalah Guru Besar di Sekolah Teknik Elektro dan Informatika, ITB, dan Direktur Advanced Robotics Lab, STEI-ITB. Yang bersangkutan adalah salah satu founder dari Pusat Artificial Intelligence, ITB. Dari Tahun 2015–2020 yang bersangkutan mendapat tugas sebagai Wakil Rektor bidang Riset, Inovasi, dan Kemitraan, ITB. Saat ini yang bersangkutan adalah Staf Ahli Rektor ITB bidang Riset dan Inovasi, serta Ketua Komisi Keilmuan Masa Depan, Forum Guru Besar, ITB. Bambang pernah menjadi *visiting scientist* di Waseda University (Jepang), Paris-Sud University (Prancis), Twente University (Belanda), dan dari 2012 sampai sekarang adalah *research fellows* University of New South Wales, Australia. Bidang peminatan riset dan keahliannya adalah Artificial Intelligence, Robotics & Control. Yang bersangkutan memublikasikan 56 artikel di jurnal internasional terindeks Scopus, memiliki Scopus H-index: 12, dan Google H-index: 18, serta memiliki 10 hak cipta, desain industri, dan paten terdaftar. Yang bersangkutan adalah mantan ketua dewan redaksi beberapa jurnal ITB yang terindeks Scopus, dan saat ini adalah anggota dewan redaksi beberapa jurnal internasional di antaranya Journal of Intelligent Unmanned Systems (Emerald), International Journal of Electrical Engineering and Informatics, Journal of ICT Research and Applications, dan Indonesia Internetworking Journal. Bambang adalah *co-founder* dari beberapa *start-ups*, salah satunya dalam bidang AI yaitu Riset Kecerdasan Buatan (www.riset.ai) yang mengkhususkan produk-produknya dalam *computer vision* dengan menggunakan *Artificial Intelligence*, dan sudah digunakan di beberapa industri. Yang bersangkutan adalah anggota Tim Strategi Nasional *Artificial Intelligence*, dan memimpin Tim *Taskforce* Riset dan Inovasi Nasional dalam bidang *Artificial Intelligence* untuk Deteksi Covid di bawah koordinasi Ristek/BPPT (TFRIC-19) pada 2020. Yang bersangkutan mendapat penghargaan Toray Science & Technology Award pada 2004 untuk risetnya mengenai *Artificial Intelligence* pada peredaman bising aktif, dan pada 2019 mendapatkan penghargaan sebagai peneliti berprestasi di ITB. Bambang merupakan anggota Akademi Ilmu Pengetahuan Indonesia (AIPI) dan Institute of Electrical and Electronics Engineer (IEEE). Yang bersangkutan adalah anggota tim penyusun dokumen Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial Republik Indonesia 20202045, juga salah satu pendiri organisasi Kolaborasi Riset dan Inovasi Industri Kecerdasan Artifisial (Korika). Bambang juga berpengalaman terlibat pada industri, khususnya industri dirgantara (IPTN) dan maritim. Saat ini yang bersangkutan memimpin tim riset dan inovasi pengembangan *underwater autonomous vehicle* yang bekerja sama dengan BMKG & BIN dan *autonomous vehicle*/tram dengan menggunakan *Artificial Intelligence* (Rispro-LPDP), bekerja sama dengan PT INKA dan Riset Kecerdasan Buatan. Yang bersangkutan juga terlibat aktif sebagai *vice chair* dan international *program committee* dari beberapa konferensi internasional, di antaranya International Conference on Intelligent Unmanned Systems (ICIUS) dan Asian Control Conference. Bambang juga menjadi salah satu editor dari Buku berjudul *Intelligent Unmanned Systems: Theory and Applications*, diterbitkan oleh Springer pada 2009 (<https://link.springer.com/book/10.1007/978-3-642-00264-9>).



Hammam Riza

Hammam Riza lahir di Medan, Provinsi Sumatra Utara, 8 Agustus 1962. Mulai bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) sejak 1987. Pendidikan sarjana Strata-1 ditempuh dan diselesaikan di Institut Teknologi Bandung (ITB) pada 1986 dalam bidang Teknik Elektro, subjurusan Elektronika dan Sistem Kendali. Ia kemudian menyelesaikan Master of Science pada tahun 1991 di University of Kentucky, USA, Jurusan Ilmu Komputer dan selanjutnya menyelesaikan Doctor of Engineering pada 1999 di ITB, dengan predikat Cum

Laude. Program penelitian disertasi dilakukan di Computing Research Laboratory, New Mexico State University, USA

Kini Prof. Hammam Riza bekerja sebagai Perekrayan Ahli Utama di Pusat Riset Kecerdasan Artifisial dan Keamanan Siber di Badan Riset dan Inovasi Nasional (BRIN) dan menjadi Guru Besar bidang Artificial Intelligence di Fakultas Teknik Elektro dan Komputer, Universitas Syiah Kuala. Ia sangat intens membagi ilmu dan pengetahuannya dalam berbagai bidang, antara lain: kecerdasan artifisial terutama bidang Natural Language Processing (NLP), Internet of Things (IoT), transformasi digital, keamanan siber, dan Industri 4.0.

Pengalaman kerja Prof. Hammam Riza pernah menjabat sebagai Kepala BPPT (2019–2021), Executive Chief Information Officer (CIO, 2010–2018), Deputy Kepala BPPT Bidang Teknologi Pengembangan Sumber Daya Alam (2018), Deputy Kepala BPPT Bidang Teknologi Informasi, Energi dan Material (2014–2017), Direktur Pusat Teknologi Informasi dan Komunikasi (2010–2014) dan Kepala Balai Jaringan Informasi Iptek (IPTEKnet) BPPT, penyedia layanan internet berlisensi pertama di Indonesia (2004–2010).

Berbagai penghargaan telah ia terima antara lain Satya Lancana Karya Satya 30 Tahun, Satya Lancana Pembangunan, dan Satya Lancana Wira Karya dari Presiden Republik Indonesia. Beliau juga menerima penghargaan Pemimpin Pemerintahan Terbaik dari Lembaga Administrasi Negara (LAN) Republik Indonesia sebagai lulusan peringkat 1 dari program pelatihan kepemimpinan Aparatur Negara (Diklatpim-1). Prof. Riza menerima penghargaan CTO Terbaik dalam penilaian dan penerapan teknologi dari Asosiasi Bigdata Indonesia (ABDI) dan Majalah ITech, serta melalui kepemimpinannya di BPPT dan telah dianugerahi Business News Award untuk kinerja institusi pemerintah terbaik dalam pengembangan teknologi pada 2019, Honorary ASEAN Fellow Engineer pada 2021.

Beliau juga menjabat sebagai Presiden Asosiasi Kolaborasi AI Indonesia (KORIKA), Ketua Ikatan Auditor Teknologi Indonesia (IATI), Wakil Presiden ASEAN CIO Association, anggota pengurus Organisasi Nama Domain Internet Indonesia (PANDI), dan Anggota Kehormatan Masyarakat Telekomunikasi Indonesia (MASTEL), serta Panitia Pengawas Asosiasi Internet Indonesia (APJII). Memiliki sertifikasi dari Persatuan Insinyur Indonesia (BKE-PII) sebagai Principal Professional Engineer (IPU), dan menerima Anggota Kehormatan Insinyur ASEAN Federation of Engineer (AFEO).

Penelitiannya di Machine Translation dan NLP dimulai dengan CICC Multilingual Machine Translation System (1989) dan selama 10 tahun terakhir berpartisipasi dalam penelitian internasional, termasuk Asian Speech Translation Advance Research (A-STAR), PAN Localization, U-STAR dan ASEAN-MT, dan ASEAN IVO (ICT Virtual Organization). Ia adalah anggota dewan penasihat internasional Asian Federation of NLP (AFNLP), International Speech and Communication Association (ISCA), dan Oriental Coordinator Committee on Speech Database and Assessment Technique (O-COCOSDA). Ia juga aktif sebagai anggota pengurus PANDI dan Persatuan Insinyur Indonesia (PII). Beliau juga menjabat berbagai posisi konsultan di perusahaan

rintisan Internet besar sejak tahun 1996 sebagai eksekutif profesional TI, seperti RADnet ISP, Lippostar.com, Astaga.com, Antara News, dan Linknet, serta berkuprah sebagai advisor di berbagai perusahaan *startup* berbasis AI.



Asril Jarin

Asril Jarin lahir di Padang, Provinsi Sumatra Barat, 16 Mei 1973. Karyasiswa program STAID-3 BPPT keberangkatan ke Jerman pada tahun 1993. Selama di Jerman, menyelesaikan Diploma Mikroelektronik (S1) di Georg-Simon-Ohm FH Nuernberg dan Master of Science jurusan System Design and Technology (S2) di HS Darmstadt. Pada tahun 2017, menyelesaikan Program Doktor jurusan Teknik Komputer di Fakultas Teknik Universitas Indonesia dengan judul disertasi “*Pengembangan Model Investigasi*

Keterlambatan dan Kerangka Kerja Untuk Mendapatkan Kinerja Ketepatan Waktu Aplikasi Pengenalan Wicara Berbasis TCP”.

Saat ini Asril bekerja sebagai periset (Perekayasa Ahli Madya) di Organisasi Riset Elektronika dan Informatika, Badan Riset dan Inovasi Nasional. Sejak tahun 2020 mengelola sebuah Kelompok Riset Pemrosesan Ucapan yang sudah menghasilkan inovasi yang diadopsi industri, beberapa publikasi karya tulis ilmiah (KTI), dan kekayaan intelektual (KI).

Pengalaman kerja sudah dimulai sejak masih di Jerman sebagai *programmer* di SIEMENS AG Nuernberg dan ABB Stotz Kontak Heidelberg. Sekembalinya ke Indonesia pada tahun 2003, Asril mulai aktif bekerja di Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi (BPPT) dan terlibat dalam beberapa program perekayasaan di bidang TIK, seperti IGOS, Perisalah, KTP-elektronik, CNS/ATM, dan kecerdasan artifisial di bidang Pemrosesan Bahasa Alami dan Pemrosesan Ucapan. Selain itu, Asril pernah terlibat dalam kelompok kerja penyusunan Buku Strategi Nasional untuk Kecerdasan Artifisial (Stranas KA) pada tahun 2020 dan menjadi Koordinator Pusat Inovasi Kecerdasan Artifisial (PIKA) yang mengurus sebuah ekosistem kolaborasi riset dan inovasi kecerdasan artifisial di BPPT pada tahun 2021.



Nungki Dian Sulisty Darmayanti

Nungki Dian Sulisty Darmayanti, Lahir di Kota Malang, Jawa Timur 24 Desember 1992. Mulai bekerja di Badan Riset Inovasi Nasional (sebelumnya BPPT – Badan Pengkajian dan Penerapan Teknologi) sejak tahun 2018. Pendidikan Sarjana strata satu ditempuh di Jurusan Teknik Elektro, Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya. Saat ini Nungki sedang menempuh pendidikan lanjutan di The University of Melbourne, Australia dengan major Master of Information Systems.

Ketertarikan Nungki pada Transformasi Digital di lingkungan pemerintahan membuatnya terlibat dalam beberapa kegiatan, seperti tim Transformasi digital 41 aplikasi BPPT, tim Pengembangan Sistem Informasi Puskesmas di Kota Tangerang Selatan dan Kota Bogor, Tim Pengembangan Sistem MBSL-2 (Mobile Lab Bio Safety Level 2), hingga mendapatkan Hak Kekayaan Intelektual (secara tim) untuk empat Aplikasi di antaranya Aplikasi Sijempol, Siskonawas, MBSL 2, dan Simontik. Minatnya terhadap *Emerging Technology*, seperti kecerdasan artifisial muncul saat terlibat dalam kelompok kerja data dan infrastruktur dalam perumusan “Strategi Nasional Kecerdasan Artifisial 2020–2045” hingga terlibat sebagai panitia inti dalam *event* Internasional: *AI Innovation Summit 2020* dan *AI Innovation Summit 2021*.



Suryadiputra Liawatimena

Suryadiputra Liawatimena lahir di Cirebon, Provinsi Jawa Barat, 16 Oktober 1968. Mulai bekerja di STMIK Bina Nusantara sejak tahun 1987. Pendidikan sarjana strata satu ditempuh dan diselesaikan di STMIK Bina Nusantara, Jakarta tahun 1991 dalam bidang Teknik Komputer. Menempuh dan menyelesaikan PostGraduate Diploma of Applied Science di Edith Cowan University, Perth tahun 1996 dalam bidang Computer Studies. Menempuh dan menyelesaikan dua Doktoral dalam bidang kepakaran yang berbeda: Ilmu Pendidikan di Curtin University of Technology, Perth tahun 2005 dan Ilmu Komputer di Universitas Bina Nusantara, Jakarta tahun 2022.

Kini Suryadiputra Liawatimena bekerja sebagai Lecture Specialist S3 di BiNus ASO School of Engineering (BASE) sejak Desember 2022. Selain sebagai peneliti, Suryadiputra Liawatimena sangat intens membagi ilmu dan pengetahuannya dalam berbagai bidang, antara lain: peta konsep, sistem terbenam (*embedded system*), kecerdasan artifisial terutama bidang visi komputer, *Internet of Things* (IoT), dan Metaverse. Kepakarannya diperoleh berkat usaha sungguh-sungguh yang dibuktikan melalui berbagai pelatihan dan sertifikasi di antaranya IEEE Senior Member tahun 2017, Mind Mapping Skill oleh Biggerplate tahun 2022, Huawei Certified ICT Associate (HCIA) Artificial Intelligence dan HCIA Data Communication pada tahun 2020, serta Huawei Certified Academy Instructor (HCAI) tahun 2022. Ia merawat Facebook group sebagai sarana untuk berbagi ilmu dan tempat berdiskusi yang menjadi minatnya, antara lain: Komunitas Kecerdasan Buatan Indonesia, IoT Indonesia, Komunitas Atlas Indonesia, dan Komunitas Metaverse Indonesia.

Pengalaman kerja Suryadiputra Liawatimena terkait kepakaran sebagai peneliti dan dosen sejak mengambil program kesarjana, di antaranya bekerja di Universitas Bina Nusantara sebagai dosen tahun 1990–sekarang, Kepala Perpustakaan di Universitas Bina Nusantara tahun 1998–2002, Learning Resource Center Manager di Universitas Bina Nusantara tahun 2002–2005, Embedded System Tutor di Fullcast Tecnology Japan and BiNus 2006–2008, Ketua Bee Embedded Research Group tahun 2009–2022, IT Specialist di Unit Percepatan Pembangunan Papua dan Papua Barat (UP4B) 2011–2014, dan Ketua The Indonesia Section Computer Society Chapter 2016–2019.

PROSIDING
**USE CASES
ARTIFICIAL
INTELLIGENCE
INDONESIA**

Embracing Collaboration for Research
and Industrial Innovation
in Artificial Intelligence

Prosiding *Use Cases Artificial Intelligence Indonesia* adalah buku yang mengumpulkan hasil-hasil kajian dan liputan 26 *use cases* inovasi dan 4 inisiatif pemanfaatan kecerdasan artifisial yang kemudian dipetakan menjadi lima klaster bidang kecerdasan artifisial, yakni: riset industri dan hankam, layanan publik dan kesehatan, kota cerdas dan kebencanaan, ketahanan pangan dan maritim, serta klaster inisiatif pemanfaatan kecerdasan artifisial. Materi buku diperoleh dari para kontributor seluruh anggota *quadhelix* dan para narasumber pegiat kecerdasan artifisial di Indonesia. Buku ini akan membantu masyarakat dalam mendapatkan pengetahuan dan pencerahan tentang seluruh teknologi kecerdasan artifisial yang membantu sektor-sektor terkait dalam hal otomatisasi, alat bantu untuk menganalisis, membuat rekomendasi serta keputusan, memprediksi dan sebagainya.

Buku ini tidak diperjualbelikan.



Diterbitkan oleh:
Penerbit BRIN, anggota Ikapi
Direktorat Repositori, Multimedia, dan Penerbitan Ilmiah
Gedung BJ Habibie, Jln. M.H. Thamrin No. 8,
Kb. Sirih, Kec. Menteng, Kota Jakarta Pusat,
Daerah Khusus Ibukota Jakarta 10340
E-mail: penerbit@brin.go.id
Website: penerbit.brin.go.id

DOI: 10.55981/brin.668



ISBN 978-623-8052-49-3



9 786238 052493