

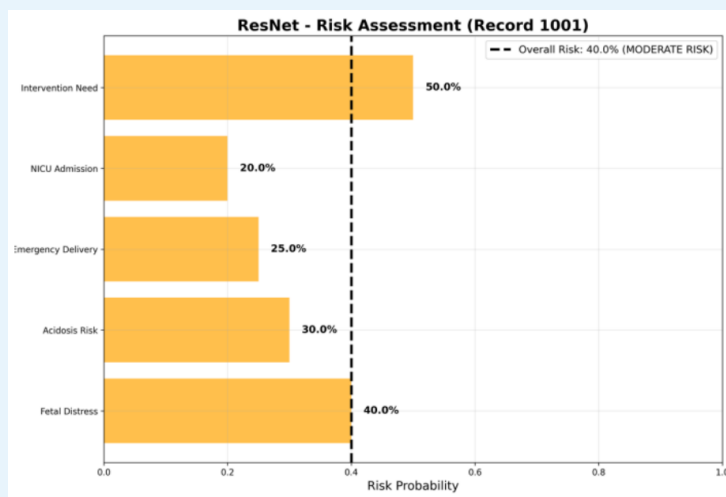


SEPTEMBER 2025 / VOL. 04 / NO. 01

SISTEM YANG MELAYANI

Kualitas perangkat lunak, pengalaman pengguna, dan kecerdasan terapan

6 ARTIKEL / SISTEM PERANGKAT LUNAK



SOROTAN EDISI

SKRINING RISIKO JANIN

ResNet multimodal untuk sinyal detak jantung janin

DARI ARTIKEL 464

ResNet / Multimodal
Kardiotokografi
Penilaian risiko

Gambar asli dari edisi ini

DALAM EDISI INI

ARTIKEL PILIHAN

- 01 | Kualitas sistem dan kepuasan pengguna
- 02 | Algoritma klasifikasi untuk analisis sentimen
- 03 | Robot pengikut objek berbasis deteksi warna
- 04 | PXP dan SOLID untuk integrasi modul
- 05 | Personal Extreme Programming dalam praktik
- 06 | Klasifikasi multi kelas sinyal detak jantung

E-ISSN 2963-9026

JURUSAN BISNIS DAN INFORMATIKA

POLITEKNIK NEGERI BANYUWANGI

VOL. 04 / NO. 01



Tentang Jurnal

PENERBIT

SESSION (*Software Development, Digital Business Intelligence, and Computer Engineering*) adalah jurnal akses terbuka yang menerbitkan hasil penelitian orisinal, tinjauan sistematis, dan kajian terapan pada bidang rekayasa perangkat lunak, kecerdasan artifisial terapan, kecerdasan bisnis digital, sistem komputer, aplikasi berbasis data, dan *Internet of Things*. Jurnal diterbitkan oleh Jurusan Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, dan telah terbit sejak tahun 2022.

RUANG LINGKUP

Rekayasa Perangkat Lunak • Kecerdasan Artifisial • Pengenalan Pola • Komputasi Awan • Komputasi Berkinerja Tinggi • Internet of Things • Sistem Tertanam • Robotika • Jaringan dan Keamanan Komputer • Visi Komputer • Pengolahan Sinyal dan Citra Digital • Kecerdasan Bisnis Digital • Penambangan Data • *Big Data*

MODEL PENERBITAN

Akses terbuka penuh • **Telaah sejawat ganda** (*double-blind*) oleh sekurang-kurangnya dua penelaah independen • Dua nomor per tahun (Maret dan September) • Biaya publikasi (APC) Rp250.000 per artikel yang diterima; tidak ada biaya pengiriman naskah • Lisensi **Creative Commons Attribution 4.0 International (CC BY 4.0)**.

IDENTITAS TERBITAN

E-ISSN	2963-9026
Penerbit	Jurusan Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi
Alamat	Jl. Raya Jember Km. 13, Labanasem, Kabat, Banyuwangi, Jawa Timur 68461, Indonesia
Telepon	(0333) 636780
Surel	session@poliwangi.ac.id
Laman	https://jurnal.poliwangi.ac.id/index.php/session
Akreditasi	Peringkat 5 (SINTA 5) — SK No. 10/C/C3/DT.05.00/2025 (21 Maret 2025)

INDEKSASI & ABSTRAKSI

[SINTA 5](#) — [Kemendiktisaintek](#) • [GARUDA](#) • [Google Scholar](#) • [Indonesia OneSearch](#) • [Dimensions](#) • [Portal ISSN](#)

ABSTRAK TERBITAN

Terbitan ini menghimpun enam artikel bidang rekayasa perangkat lunak terapan: kualitas sistem dan kepuasan pengguna, komparasi algoritma klasifikasi, robotika berbasis pengolahan citra, integrasi modul dengan prinsip SOLID, metodologi Personal Extreme Programming, serta klasifikasi multi kelas untuk sinyal detak jantung.

Dewan Editor dan Penelaah

EDITOR

Furiansyah Dipraja	Politeknik Negeri Banyuwangi
Ruth Ema Febrita	Politeknik Negeri Banyuwangi
Lutfi Hakim	Politeknik Negeri Banyuwangi
Khoirul Umam	Politeknik Negeri Banyuwangi
Galih Hendra Wibowo	Politeknik Negeri Banyuwangi
Sepyan Purnama Kristanto	Politeknik Negeri Banyuwangi
Mohamad Dimyati Ayatullah	Politeknik Negeri Banyuwangi
Muhammad Afif Hendrawan	Politeknik Negeri Malang
Junaedi Adi Prasetyo	Politeknik Negeri Malang

PENELAAH SEJAWAT

Penelaah berikut berasal dari lembaga mitra di luar institusi penerbit. Jurnal mengucapkan terima kasih atas kontribusi mereka dalam menjaga mutu telaah.

Endi Sailul Haq	Politeknik Negeri Banyuwangi
Herman Yulindoko	Politeknik Negeri Banyuwangi
Muhammad Fuad Al Haris	Politeknik Negeri Banyuwangi
Nur Shodiq	Politeknik Negeri Banyuwangi
Dianni Yusuf	Politeknik Negeri Banyuwangi
Ika Yuniwati	Politeknik Negeri Banyuwangi
Subono	Politeknik Negeri Banyuwangi
Junaedi Adi Prasetyo	Politeknik Negeri Malang
Prof. Dr. Mochammad Junus	Politeknik Negeri Malang
Usman Nurhasan	Politeknik Negeri Malang
Ahmad Sumarudin	Politeknik Negeri Indramayu
Nurul Fahmi	Politeknik Negeri Bengkalis
Supardianto	Politeknik Negeri Batam
Rina Yulius	Politeknik Negeri Batam
Dr. Soetam Rizky Wicaksono	Universitas Ma Chung
Atyanta Nika Rumaksari	Universitas Kristen Satya Wacana
Ir. Maria Ulfah Siregar, Ph.D.	UIN Sunan Kalijaga Yogyakarta
Mochammad Darip	Universitas Bina Bangsa

CATATAN KELEMBAGAAN

Dewan editor jurnal ini berasal dari dua lembaga yang berbeda, yaitu Politeknik Negeri Banyuwangi dan Politeknik Negeri Malang. Penelaah sejawat mencakup sembilan lembaga mitra di dalam negeri. Seluruh nama pada halaman ini adalah personel yang tercatat pada sistem pengelolaan jurnal.

Daftar Isi

VOL. 04 NO. 01 • SEPTEMBER 2025 • 6 ARTIKEL

ARTIKEL 01

hal. 1-7

Analisis Kualitas Sistem Terhadap Kepuasan Pengguna Aplikasi Seabank Menggunakan Webqual 4.0

Cut Dara, Muhammad Muharrom

<https://doi.org/10.57203/session.v4i01.2025.01-07>

ARTIKEL 02

hal. 08-15

Komparasi Algoritma Klasifikasi untuk Analisis Sentimen Kinerja Dosen

Hery Mustofa

<https://doi.org/10.57203/session.v4i01.2025.08-15>

ARTIKEL 03

hal. 16-24

Robot Pengikut Objek Menggunakan Deteksi Warna Berbasis Smartphone Android dengan Kendali PID

Indra Kurniawan, Arif Fahmi

<https://doi.org/10.57203/session.v4i01.2025.16-24>

ARTIKEL 04

hal. 25-35

Implementasi Metode PXP dan Prinsip SOLID untuk Integrasi Modul KIA pada SIMPUSWANGI Banyuwangi

Wahyu Sahri Rhamadhan, Jaki Daniyudin, Daviq Rizqi Zawwa El Sofya, Lukman Hakim, Lutfi Hakim

<https://doi.org/10.57203/session.v4i01.2025.25-35>

ARTIKEL 05

hal. 36-43

Metode Personal Extreme Programming pada Pengembangan Sistem Rekam Medis Elektronik Klinik Gigi

Dianni Yusuf, Farizqi Panduardi, Mohammad Rashel Arrizki, Sepyan Purnama Kristanto, Agus Priyo Utomo

<https://doi.org/10.57203/session.v4i01.2025.36-43>

ARTIKEL 06

hal. 44-54

Klasifikasi Multi Kelas Untuk Mendeteksi Sinyal Detak Jantung Janin Pada CTG Menggunakan Thresholding Feature Importance dan ResNet Multimodal

Subono Subono, Mohamad Dimyati Ayatullah, Sholeh Hadi Pramono, Erni Yudaningtyas, M. Aziz Muslim, Mahdin Rohmatillah, Cries Avian

<https://doi.org/10.57203/session.v4i1.2025.44-54>

Analisis Kualitas Sistem Terhadap Kepuasan Pengguna Aplikasi Seabank Menggunakan Webqual 4.0

Analysis of System Quality on Satisfaction Seabank Application Users Using Webqual 4.0

Cut Dara Nurfadhilah¹, Muhammad Muharrom²

Teknologi Informasi, Universitas Bina Sarana Informatika, Jakarta, Indonesia^{1,2}

Email: cutdaranfd2002@gmail.com, muhammad.muu@bsi.ac.id

Abstract

This study aims to analyze the effect of system quality on the level of user satisfaction of the Seabank application, a leading digital payment service in Indonesia. Launched in 2021 by PT Bank Seabank Indonesia, the app offers financial services such as transfers, top ups, bill payments, deposits, and balance top ups with no administration fees. This study uses the Webqual 4.0 approach to evaluate the quality of the system based on four variables: service interaction, information, usability, and user satisfaction. Data was collected through an online survey using Google Form and analyzed using the SPSS method to identify factors that influence user decisions. The findings showed that perceived ease of use (t value = $2.096 > 1.984$), information quality (t value = $4.638 > 1.984$), and service interaction quality (t value = $2.579 > 1.984$) significantly influenced user satisfaction. This result is reinforced by the Adjusted R Square (R^2) value of 62.2%, which shows that the independent variables explain most of the user satisfaction of the Seabank application. The conclusion of this study is that good system quality, especially in terms of ease of use, information quality, and service interaction quality, plays an important role in increasing user satisfaction.

Keywords: Webqual, System Quality.

Abstrak

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh kualitas sistem terhadap tingkat kepuasan pengguna aplikasi Seabank, layanan pembayaran digital terkemuka di Indonesia. Diluncurkan pada tahun 2021 oleh PT Bank Seabank Indonesia, aplikasi ini menawarkan layanan keuangan seperti transfer, top up, pembayaran tagihan, deposito, dan penambahan saldo tanpa biaya administrasi. Studi ini menggunakan pendekatan Webqual 4.0 untuk mengevaluasi mutu sistem berdasarkan empat variabel: interaksi layanan, informasi, kegunaan, dan kepuasan pengguna. Data dikumpulkan melalui survei *online* menggunakan Google Form dan dianalisis menggunakan metode SPSS untuk mengidentifikasi faktor-faktor yang berpengaruh terhadap keputusan pengguna. Temuan penelitian menunjukkan bahwa persepsi kemudahan penggunaan (nilai $t = 2.096 > 1.984$), kualitas informasi (nilai $t = 4.638 > 1.984$), dan kualitas interaksi layanan (nilai $t = 2.579 > 1.984$) secara signifikan memengaruhi kepuasan pengguna. Hasil ini diperkuat oleh nilai Adjusted R Square (R^2) sebesar 62,2%, yang menunjukkan bahwa variabel-variabel bebas tersebut menjelaskan sebagian besar kepuasan pengguna aplikasi Seabank. Kesimpulan dari penelitian ini adalah bahwa kualitas sistem yang baik, terutama dalam hal kemudahan penggunaan, kualitas informasi, dan kualitas interaksi layanan, berperan penting dalam meningkatkan kepuasan pengguna.

Kata Kunci: Webqual, Kualitas Sistem.

I. PENDAHULUAN

Layanan pembayaran digital yang saat ini sedang populer di Indonesia ketika kita memasuki era baru. Seabank adalah salah satu layanan pembayaran digital yang paling dikenal di Indonesia. Diluncurkan pada tahun 2021 oleh PT Bank Seabank Indonesia, layanan ini memungkinkan pengguna melakukan berbagai jenis pembayaran seperti transfer, *top up*, tagihan, serta transaksi lain seperti deposito dan menambah saldo. Dimulainya layanan pembayaran elektronik di Indonesia telah mengubah cara orang

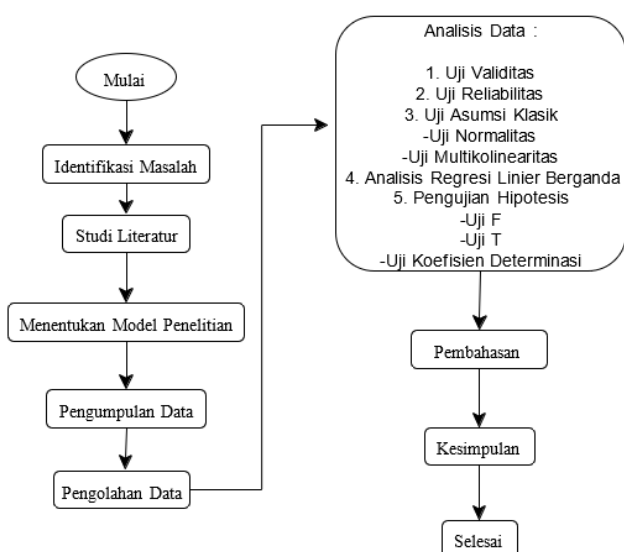
bertransaksi. Akibatnya, aplikasi Seabank semakin populer di Indonesia, menjadikannya salah satu pilihan pembayaran non tunai yang paling populer.

Penggunaan aplikasi tentunya dipengaruhi oleh beberapa faktor, salah satunya adalah kualitas sistem, yang merupakan aspek penting dalam kesuksesan sebuah aplikasi. Penggunaan yang memiliki pengalaman pengguna yang baik cenderung lebih puas dan mungkin akan terus menggunakan aplikasi tersebut. Penelitian ini berfokus pada kualitas sistem terhadap tingkat kepuasan pengguna dari aplikasi Seabank, menunjukkan bahwa penting bagi bisnis untuk

memperhatikan kualitas sistem sebagai strategi untuk meningkatkan kepercayaan pengguna terhadap layanan yang diterima, memenuhi keinginan dan kebutuhan mereka, sehingga menghasilkan dampak positif yaitu kesetiaan pelanggan yang berkesinambungan.

Penelitian ini memanfaatkan pendekatan webqual untuk mengevaluasi mutu sistem dengan mengacu pada kepuasan pengguna dari aplikasi Seabank. Webqual adalah salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengukur kepuasan pengguna terhadap kualitas aplikasi yang dirancang khusus untuk mengukur kualitas aplikasi berdasarkan persepsi pengguna. Ada empat variabel di analisis ini yakni variabel bebas, terdapat interaksi layanan (*interaction service*), informasi (*information*), kegunaan (*usability*), dan variabel terikat yaitu kepuasan pengguna (*user satisfaction*) [1]. Data yang diperoleh dihitung menggunakan metode SPSS, sehingga dapat membantu perusahaan dalam mengidentifikasi faktor-faktor yang paling penting bagi pengguna dalam mempengaruhi keputusan untuk menggunakan aplikasi tersebut. Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah menerapkan webqual 4.0 untuk mengevaluasi kepuasan pengguna dalam berbagai aplikasi dan website [2]. Penelitian tentang Analisis Kualitas Sistem Terhadap Kepuasan Pengguna Aplikasi Seabank memiliki latar belakang yang kuat namun masih kurang dilakukan. Oleh karena itu, penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan baru serta dapat memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas aplikasi Seabank dengan memanfaatkan metode Webqual 4.0 yang membantu menentukan faktor-faktor yang mempengaruhi pengguna Seabank serta untuk merencanakan perbaikan dan peningkatan sistem yang tepat untuk memenuhi kebutuhan dan ekspektasi pengguna dan mempertahankan atau meningkatkan target pasarnya.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Sumber: Penelitian, 2024

Berdasarkan Gambar 1, tahapan yang dilakukan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

- 1.) Identifikasi Masalah
Dipergunakan untuk mengetahui masalah yang berkaitan dengan aplikasi Seabank. Sehingga, hasil akhir yang diperoleh dapat dianalisis sesuai dengan tujuan penelitian.
- 2.) Studi Literatur
Dilakukan dengan mengumpulkan informasi dari berbagai sumber tentang Seabank dan metode Webqual.
- 3.) Menentukan Model Penelitian
Pada tahap ini, menentukan model yang akan digunakan pada penelitian untuk mengukur kepuasan pengguna ini adalah Webqual.
- 4.) Pengumpulan Data
Penulis melakukan observasi dengan menyebarkan kuisioner untuk mendapatkan data mengenai pengalaman pengguna.
- 5.) Pengolahan Data
Pada tahap ini, dilakukan pengolahan data yang di dapat dari penyebaran kuisioner dan menggunakan aplikasi SPSS untuk mengolah datanya.
- 6.) Analisis Data
Pada tahap ini membahas hasil akhir yang diperoleh dari proses uji validitas, uji reliabilitas, dan perhitungan hasil analisis.
- 7.) Pembahasan
Pembahasan hasil penelitian merangkum dari temuan analisis yang telah dilakukan. Temuan ini digunakan untuk menjawab pertanyaan penelitian dan untuk mencapai tujuan penelitian.
- 8.) Kesimpulan
Merupakan tahap akhir dari uraian proses penelitian. Saran diberikan untuk mengemukakan suatu pemikiran untuk dipertimbangkan.

Keterkaitan dengan metode yang digunakan adalah untuk menentukan hasil aplikasi Seabank dengan mengukur tingkat kepuasan pengguna berdasarkan metode webqual 4.0.

A. Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian adalah alat yang dipergunakan untuk memastikan bahwa data yang dikumpulkan relevan dengan tujuan penelitian. Instrumen yang digunakan berupa kuisioner yang terdiri dari variabel yang diukur melalui pertanyaan yang dibuat untuk menentukan hasil dari pengalaman pengguna dalam menggunakan aplikasi Seabank, untuk memastikan bahwa pertanyaan yang digunakan sesuai dengan nilainya, dan instrumen yang digunakan memastikan bahwa pertanyaan yang dilakukan konsisten dengan hasil pengukuran.

Tabel 1. Instrumen Penelitian

Variabel	Kode	Indikator	Pertanyaan
Kualitas kegunaan (usability quality)	US1	Kemanfaatan	Penggunaan aplikasi Seabank membantu saya dalam melakukan transaksi <i>online</i>
	US2	Integritas	Pengguna mudah untuk berinteraksi di dalam aplikasi Seabank
	US3	Kemudahan	Saya menemukan bahwa navigasi atau pencarian menu di dalam aplikasi Seabank cukup mudah.
	US4	Kecepatan akses	Proses transaksi melalui aplikasi Seabank lebih cepat dan praktis dalam transaksi <i>online</i>
	US5	<i>User friendly</i>	Desain aplikasi Seabank sangat jelas dan mudah dipahami
Kualitas Informasi (information quality)	IN1	<i>Reability</i>	Aplikasi Seabank menyediakan informasi yang berguna dan dapat diandalkan
	IN2	Fleksibilitas	Informasi yang diberikan oleh <i>customer service</i> pada aplikasi Seabank mudah dipahami
	IN3	Kelengkapan	Informasi di dalam aplikasi Seabank selalu <i>up to date</i> ?

	IN4	Menarik	Aplikasi Seabank memiliki fitur desain yang menarik yang tidak dimiliki oleh aplikasi perbankan digital lainnya seperti e-Statement, limit transfer dan limit pembayaran, lokasi Seabank
	IN5	<i>Reability</i>	Informasi yang diberikan di dalam aplikasi Seabank cukup detail dan dapat dipercaya
Kualitas interaksi layanan (service interaction quality)	IS1	Keandalan sistem	Dalam melakukan transaksi di aplikasi Seabank jarang terjadi kesalahan sistem
	IS2	Keamanan	Pengguna merasa terjamin keamanannya saat melakukan transaksi di dalam aplikasi.
	IS3	Keamanan	Pengguna merasa yakin dalam memberikan data pribadi ke dalam aplikasi karena adanya pengawasan dari OJK.
	IS4	Kemudahan	Pengguna merasa bahwa memberikan masukan (<i>feedback</i>) kepada

			pengembang aplikasi sangat mudah.
Keseluruhan (user satisfaction)	S1	Kehandalan	Saya mengandalkan Seabank karena kualitas sistem yang diberikan sesuai dengan kebutuhan
	S2	Flexibility	Saya merekomendasikan Seabank sebagai aplikasi perbankan digital yang memiliki fleksibilitas tinggi
	S3	Hedonic Value	Saya merasa puas dengan fitur dan kualitas sistem yang ada pada aplikasi Seabank

Sumber: Penelitian, 2024

B. Metode Pengumpulan Data

Metode Pengumpulan data adalah proses untuk mendapatkan informasi yang objektif guna mendapatkan data valid dan sesuai dengan kenyataan yang kemudian dikumpulkan untuk dianalisis.

1.) Observasi

Observasi merupakan langkah pengamatan yang terencana dan sistematis yang berdasarkan fakta-fakta yang terjadi di suatu objek penelitian, melalui panca indra tanpa menggunakan manipulasi apapun, agar peneliti mencapai hasil yang baik. [3] penulis melakukan pengamatan terhadap pengguna Seabank dan melakukan pengamatan dengan mempelajari fitur-fitur yang tersedia pada Seabank.

2.) Kuisisioner

Kuisisioner merupakan teknik perolehan data yang menggunakan berbagai jenis pertanyaan terkait dengan isu penelitian. Kuisisioner ini bisa dimanfaatkan untuk mengumpulkan informasi pribadi seperti sikap, pendapat, harapan, dan keinginan dari responden. [3] penulis mengumpulkan data dengan menyebarkan kuisisioner menggunakan Google Form kepada responden untuk dijawab. Kuisisioner disusun menggunakan skala likert untuk

mengukur persepsi pengguna terhadap berbagai aspek seperti *usability*, *interaction service*, *information*, dan *user satisfaction*.

Tabel 2. Skala Likert

Pilihan Jawaban	Singkatan	Skor
Sangat Setuju	SS	5
Setuju	S	4
Netral	N	3
Tidak Setuju	TS	2
Sangat Tidak Setuju	STS	1

Sumber: [4]

Adapun sampel dalam penelitian ini adalah pengguna aplikasi Seabank. Mengingat jumlah pengguna yang terus berkembang, pengambilan sampel dilakukan untuk memperoleh representasi yang signifikan dari populasi tersebut. Teknik sampling yang digunakan adalah metode pengambilan sampel acak sederhana (*Simple Random Sampling*), untuk memastikan bahwa setiap pengguna memiliki peluang yang setara untuk dipilih [5]. Peneliti menggunakan rumus *Lemeshow*. Rumus ini digunakan untuk menentukan ukuran sampel yang sesuai dari populasi yang tidak diketahui secara pasti. [6] Berdasarkan perhitungan menggunakan rumus *Lemeshow*, didapatkan ukuran sampel sebanyak 96 orang. Untuk menentukan berapa banyak sampel yang digunakan, peneliti menggunakan rumus *Lemeshow* sebagai berikut:

$$n = \frac{Z^2 P (1 - P)}{d^2}$$

Keterangan:

n = besaran sampel

z = index kepercayaan = 95% = 1.96

p = probabilitas maksimal = 5% = 0.5

d = error sampling = 10% = 0,1

Sehingga perhitungannya adalah:

$$n = \frac{Z^2 P (1 - P)}{d^2}$$

$$n = \frac{1.96^2 \cdot 0.5 (1 - 0.5)}{0.1^2}$$

$$n = \frac{3.8416 (0.25)}{0.01}$$

$$n = 96,04$$

Dari hasil perhitungan, diperoleh nilai 96 yang artinya dibutuhkan 96 responden, dari 96 responden maka dibulatkan menjadi 100 responden.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses penanganan informasi, para ahli melakukan berbagai tahapan pemeriksaan untuk menilai sejauh mana aplikasi Seabank memberikan manfaat kepada penggunanya. Peneliti menggunakan metode Webqual untuk mengatasi masalah yang memenuhi kriteria spesifik dan untuk melakukan evaluasi berdasarkan persepsi pengguna.

A. Uji Validitas dan Uji Reliabilitas

1.) Uji Validitas

Berdasarkan hasil uji *Pearson Correlation*, pertanyaan pada kuesioner dianggap valid apabila nilai r hitung $>$ r tabel. [7] Berikut merupakan hasil dari proses perhitungan yang telah dilakukan menggunakan SPSS.

Tabel 3. Uji Validitas

No	Variabel	r hitung	r tabel	Keterangan
1	US1	0,806	0,196	Valid
2	US2	0,828	0,196	Valid
3	US3	0,824	0,196	Valid
4	US4	0,814	0,196	Valid
5	US5	0,750	0,196	Valid
6	IN1	0,790	0,196	Valid
7	IN2	0,826	0,196	Valid
8	IN3	0,824	0,196	Valid
9	IN4	0,679	0,196	Valid
10	IN5	0,753	0,196	Valid
11	IS1	0,698	0,196	Valid
12	IS2	0,845	0,196	Valid
13	IS3	0,652	0,196	Valid
14	IS4	0,763	0,196	Valid
15	S1	0,889	0,196	Valid
16	S2	0,896	0,196	Valid
17	S3	0,818	0,196	Valid

Sumber: hasil spss, 2024

Berdasarkan hasil pengujian validitas pada tabel, kuesioner yang terdiri dari 17 item dan diisi oleh 100 responden dinyatakan valid karena semua skor r hitung melebihi skor r tabel.

2.) Uji Reliabilitas

Dapat dilakukan dengan melihat Cronbach's alpha. Suatu variabel dikatakan reliabel jika setiap pernyataan memberikan nilai Cronbach alpha $>$ r tabel, maka pernyataan tersebut dikatakan reliabel sesuai dengan hasil penelitian yang telah dilakukan sebelumnya oleh peneliti. [7]

Tabel 4. Uji Reliabilitas

Reliability Statistics	
Cronbach's Alpha	N of Items
0,933	17

Sumber: hasil spss, 2024

Berdasarkan tabel diatas, skor Cronbach's Alpha mencapai 0,933, yang lebih tinggi dari nilai minimum 0,7. Menunjukkan bahwa instrumen penelitian memiliki konsistensi internal yang baik dan hasilnya dapat diandalkan.

B. Uji normalitas

Uji normalitas dipergunakan untuk mengevaluasi apakah distribusi data sesuai dengan distribusi normal. Sebuah data dinyatakan normal jika nilai signifikansi lebih dari 0,05. [8]

Tabel 5. Uji Normalitas

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test	
Unstandardized Residual	
N	100
Normal Parameters ^{a,b}	
Mean	.0000000
Std. Deviation	1.34343260
Most Extreme Differences	
Absolute	.085
Positive	.065
Negative	-.085
Test Statistic	.085
Asymp. Sig. (2-tailed)	.074 ^c

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

Sumber: hasil spss, 2024

Uji normalitas dengan One-Sample Kolmogorov-Smirnov menunjukkan signifikansi 0,074 $>$ 0,05, sehingga asumsi normalitas dalam regresi telah terpenuhi.

C. Uji Multikolinearitas

Uji multikolinearitas bertujuan untuk menilai apakah ada korelasi yang signifikan antara variabel independen dalam model regresi. Data dianggap bebas dari masalah multikolinieritas jika skor tolerance lebih besar dari 0.10 dan skor *Variance Inflation Factor* (VIF) kurang dari 10. [8]

Tabel 6. Uji Multikolinearitas

Variabel	Tolerance Value	Statistics VIF
X1	0,440	2,272
X2	0,395	2,531
X3	0,473	2,113

Sumber: hasil spss, 2024

Hasil dari tabel diatas, tolerance value untuk ketiga variabel tersebut melebihi 0.10, sementara VIF dari masing-masing variabel berada di bawah 10. Jadi, dapat diambil

kesimpulan bahwa data tersebut tidak terjadi multikolinieritas.

D. Analisis Regresi Linier Berganda

Analisis regresi linier berganda dipergunakan untuk mengevaluasi pengaruh hubungan linier antara variabel independen dan variabel dependen.

Tabel 7. Analisis Regresi Linier Berganda

		Coefficients ^a		Standardized Coefficients			
Model		Unstandardized Coefficients		Beta		t	Sig.
		B	Std. Error				
1	(Constant)	-.438	1.039			-.421	.674
	US	.146	.070	.195		2.096	.039
	IN	.330	.071	.456		4.638	.000
	IS	.214	.083	.232		2.579	.011

a. Dependent Variable: S

Sumber: hasil spss, 2024

Dari persamaan regresi di atas, dapat ditarik kesimpulan bahwa:

1. Nilai konstanta (*a*) negatif menunjukkan pengaruh negatif terhadap variabel independen.
2. Koefisien regresi variabel US terhadap S adalah 0.146. Ini berarti jika variabel US meningkat satu satuan, S akan turun sebanyak 0.146.
3. Koefisien regresi variabel IN terhadap S adalah 0.330. Ini berarti jika variabel IN meningkat satu satuan, S akan mengalami penurunan sebesar 0.330.

Koefisien regresi variabel IS terhadap S adalah 0.214. Ini berarti jika variabel IS meningkat satu satuan, S akan mengalami penurunan sebesar 0.214.

E. Uji Hipotesis

Pengujian hipotesis mencakup uji t, uji F, dan uji koefisien determinasi (R^2). Hasil uji ini digunakan untuk menentukan apakah model regresi secara keseluruhan dan setiap variabel independen memiliki pengaruh yang signifikan terhadap variabel dependen. [9]

1.) Uji T

Uji t dipergunakan untuk menilai signifikansi setiap variabel independen dengan membandingkan nilai t hitung dengan nilai t tabel. Bertujuan untuk menentukan apakah setiap variabel independen secara signifikan mempengaruhi variabel dependen. [10]

Tabel 8. Uji T

		Coefficients ^a		Standardized Coefficients			
Model		Unstandardized Coefficients		Beta		t	Sig.
		B	Std. Error				
1	(Constant)	-.438	1.039			-.421	.674
	US	.146	.070	.195		2.096	.039
	IN	.330	.071	.456		4.638	.000
	IS	.214	.083	.232		2.579	.011

a. Dependent Variable: S

Sumber: hasil spss, 2024

a.) Persepsi kemudahan pengguna (US)

Berdasarkan tabel diatas diperoleh hasil regresi variabel tersebut dengan skor t sebesar $2,096 > 1,984$. Selain itu, tingkat signifikansi variabel US adalah 0.039, lebih kecil dibanding batas nilai signifikan 0.05, menandakan bahwa variabel kemudahan pengguna berdampak secara signifikan terhadap kepuasan pengguna aplikasi Seabank. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_1 disetujui.

b.) Persepsi kualitas informasi (IN)

Berdasarkan tabel diatas diperoleh hasil regresi variabel tersebut dengan nilai t sejumlah $4,638 > 1,984$. Selain itu, tingkat signifikansi variabel IN adalah 0.000, lebih kecil dibanding batas nilai signifikan 0.05, menandakan bahwa variabel kemudahan pengguna berdampak secara signifikan terhadap kepuasan pengguna aplikasi Seabank. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_2 disetujui.

c.) Persepsi kualitas interaksi (IS)

Berdasarkan tabel diatas diperoleh hasil regresi variabel tersebut dengan nilai t sejumlah $2,579 > 1,984$. Selain itu, tingkat signifikansi variabel IS adalah 0.011, lebih kecil dibanding batas nilai signifikan 0.05, ini menunjukkan bahwa variabel kualitas interaksi berdampak secara signifikan terhadap tingkat kepuasan pengguna aplikasi Seabank. Maka dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_3 disetujui.

2.) Uji F

Uji F digunakan untuk mengetahui apakah variabel bebas berpengaruh terhadap variabel terikat. Uji F dilakukan dengan membandingkan antara nilai F hitung dengan nilai F tabel pada tingkat signifikansi yang telah ditetapkan. Jika nilai F hitung $>$ F tabel, maka dapat disimpulkan bahwa model regresi secara keseluruhan signifikan dalam menjelaskan variasi pada variabel dependen. [10]

Tabel 9. Uji F

		ANOVA ^a				
Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	308.284	3	102.761	55.212	.000 ^b
	Residual	178.676	96	1.861		
	Total	486.960	99			

a. Dependent Variable: S

b. Predictors: (Constant), IS, US, IN

Sumber: hasil spss, 2024

Hasil uji f pada tabel diatas, diperoleh f hitung sebesar 55,212 dengan tingkat signifikansi sebesar 0.000. Karena nilai f hitung melebihi f tabel ($55.212 > 2.197$), maka H_0 ditolak. Dengan demikian, secara bersamaan variabel kemudahan pengguna (US), kualitas informasi (IN), dan kualitas interaksi (IS) memiliki pengaruh terhadap kepuasan pengguna aplikasi Seabank.

3.) Uji Koefisien Determinasi (R^2)

Koefisien determinasi dipergunakan untuk menilai

seberapa baik model regresi dapat menjelaskan variasi dalam variabel dependen. Nilai ini berkisar antara 0 hingga 1, di mana skor mendekati 0 menunjukkan bahwa model tidak banyak menjelaskan variasi dalam variabel dependen, sedangkan nilai mendekati 1 menunjukkan bahwa model menjelaskan hampir seluruh variasi dalam variabel dependen. [11]

Tabel 10. Uji Koefisien Determinasi (R²)

Model Summary				
Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	.796 ^a	.633	.622	1.36426

a. Predictors: (Constant), IS, US, IN

Sumber: hasil spss, 2024

Hasil uji F menunjukkan bahwa variabel independen secara bersamaan memengaruhi variabel dependen. Nilai koefisien determinasi (Adjusted R Square) sebesar 0.622 hal ini menunjukkan bahwa semua variabel independen dalam penelitian ini mampu memberikan penjelasan yang signifikan tentang hubungan dan dampaknya terhadap variabel dependen hingga 62,2%. Sementara itu, sebesar 37,8% (100% - 62,2%) dari variasi tersebut terdapat pengaruh dari faktor-faktor lain yang terdapat dalam model regresi.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini menganalisis dampak kualitas sistem terhadap kepuasan pengguna aplikasi Seabank menggunakan webqual 4.0, kesimpulannya yaitu :

1. Uji One-Sample Kolmogorov Smirnov menunjukkan bahwa data terdistribusi normal, memenuhi kriteria normalitas.
2. Nilai Adjusted R Square sebesar 62.2% menunjukkan bahwa variabel independen yaitu *usability*, *information*, dan *interaction service* secara signifikan mempengaruhi variabel dependen, meskipun terdapat faktor lain dalam model regresi.
3. Analisis parsial menunjukkan bahwa persepsi kemudahan pengguna, kualitas informasi, dan kualitas interaksi layanan memiliki dampak signifikan terhadap penggunaan aplikasi Seabank.

REFERENSI

- [1] A. A. Putra and S. Muryani, "Penggunaan Metode Webqual 4.0 Untuk Analisa Kualitas Website Dinas Sosial Kota Bekasi," *J. Infortech*, vol. 5, no. 2, pp. 88–96, 2023, doi: 10.31294/infortech.v5i2.16867.
- [2] I. Purwandani and N. O. Syamsiah, "Analisis Kualitas Website Menggunakan Metode Webqual 4.0 Studi Kasus: MyBest E-learning System UBSI," *J. Sist. dan Teknol. Inf.*, vol. 9, no. 3, p. 300, 2021, doi: 10.26418/justin.v9i3.47129.
- [3] A. G. Prawiyogi, T. L. Sadih, A. Purwanugraha, and P. N. Elisa, "Penggunaan Media Big Book untuk Menumbuhkan Minat Membaca di Sekolah Dasar," *J. Basicedu*, vol. 5, no. 1, pp. 446–452, 2021, doi: 10.31004/basicedu.v5i1.787.
- [4] S. P. Insap, *Metode Penelitian Kuantitatif*. Yogyakarta: ANDI (Anggota IKAPI), 2018.
- [5] Prof. Dr. Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif Kualitatif dan R&D*. Bandung: Alfabeta, 2019.
- [6] M. Rofiudin, M. Shabry, and N. Juniarsa, "Pengaruh Harga Dan Fitur Layanan Terhadap Minat Beli Konsumen Tokopedia Pasca Covid 19 Di Malang Raya," *J. Ilmu-ilmu Sos.*, vol. 19, no. 2, p. 2022, 2022.
- [7] S. Ono, "Uji Validitas dan Reliabilitas Alat Ukur SG Posture Evaluation," *J. Keterampilan Fis.*, vol. 5, no. 1, pp. 55–61, 2020, doi: 10.37341/jkf.v5i1.167.
- [8] Firsti Zakia Indri and Gerry Hamdani Putra, "Pengaruh Ukuran Perusahaan Dan Konsentrasi Pasar Terhadap Kualitas Laporan Keuangan Pada Perusahaan Sektor Industri Barang Konsumsi Yang Terdaftar Di Bursa Efek Indonesia Pada Tahun 2016-2020," *J. Ilmu Manajemen, Ekon. dan Kewirausahaan*, vol. 2, no. 2, pp. 236–252, 2022, doi: 10.55606/jimek.v2i2.242.
- [9] S. Restu, Marwan, Aris, *Metode Penelitian*. Yogyakarta: Deepublish, 2021.
- [10] Singgih Santoso, *Panduan Lengkap SPSS Versi 23*. Jakarta: PT Elex Media Komputindo, 2016.
- [11] M. S. Sari and M. Zefri, "Pengaruh Akuntabilitas, Pengetahuan, dan Pengalaman Pegawai Negeri Sipil Beserta Kelompok Masyarakat (Pokmas) Terhadap Kualitas Pengelola Dana Kelurahan Di Lingkungan Kecamatan Langkapura," *J. Ekon.*, vol. 21, no. 3, p. 311, 2019.

Komparasi Algoritma Klasifikasi untuk Analisis Sentimen Kinerja Dosen

Comparison of Classification Algorithms for Sentiment Analysis of Lecturer Performance

Hery Mustofa

Teknologi Informasi, Universitas Islam Negeri Walisongo Semarang, Semarang, Indonesia ¹

Email: herymustofa@walisongo.ac.id ¹

Abstract

In the digital era, text data originating from students' online reviews, comments and feedback can be a valuable source of information for understanding positive and negative perceptions of lecturer performance. This research aims to compare classification algorithms for sentiment analysis of student opinions regarding the performance of lecturers in higher education. In this research, a comparison of three classification algorithms was carried out, namely Naïve Bayes, Support Vector Machine, and Random Forest. The datasets used are student reviews of lecturer performance from various courses and lecturers. The dataset consists of 1254 students' critical comments and suggestions. The data consists of 839 positive comments and 415 negative comments. Next, classification is carried out using the Naïve Bayes algorithm, Support Vector Machine, and Random Forest. From the classification results, it is known that the Support Vector Machine algorithm gives the best results, followed by the Random Forest algorithm and finally the Naïve Bayes algorithm. It is known that the Support Vector Machine algorithm succeeded in getting an accuracy value of 82.24%, with a precision value of 84.66%, a recall value of 65.99% and an F1 score value of 79.81%.

Keywords: *klasifikasi, sentiment analysis, lecturer performance, support vector machine, random forest, naive bayes;*

Abstrak

Dalam era digital, data teks yang berasal dari ulasan, komentar, dan *feedback online* mahasiswa dapat menjadi sumber informasi berharga untuk memahami persepsi positif dan negatif terhadap kinerja dosen. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan komparasi algoritma klasifikasi untuk analisis sentimen opini atau persepsi mahasiswa terhadap kinerja dosen di pendidikan tinggi. Dalam penelitian ini, dilakukan perbandingan tiga algoritma klasifikasi yaitu *Naïve Bayes*, *Support Vector Machine*, dan *Random Forest*. Datasets yang digunakan berupa ulasan mahasiswa terhadap kinerja dosen dari berbagai mata kuliah dan dosen. *Datasets* terdiri dari 1254 data komentar kritik saran mahasiswa. Data tersebut terdiri dari 839 komentar positif dan 415 komentar negatif. Selanjutnya dilakukan klasifikasi menggunakan algoritma *Naïve Bayes*, *Support Vector Machine*, serta *Random Forest*. Dari hasil klasifikasi diketahui bahwa algoritma *Support Vector Machine* memberikan hasil yang paling baik kemudian disusul dengan algoritma *Random Forest* dan yang terakhir algoritma *Naïve Bayes*. Diketahui Algoritma *Support Vector Machine* berhasil mendapatkan nilai *accuracy* sebesar 82,24%, dengan nilai *precision* sebesar 84,66%, nilai *recall* sebesar 65,99% dan nilai *F1 score* sebesar 79,81%.

Kata Kunci: *klasifikasi, analisis sentimen, kinerja dosen, support vector machine, random forest, naive bayes*

I. PENDAHULUAN

Pendidikan tinggi memiliki peran penting dalam membentuk masa depan masyarakat dan negara. Dalam lingkungan pendidikan tinggi, peran dosen menjadi elemen kunci dalam memberikan pengetahuan, membimbing mahasiswa, dan memastikan kualitas pendidikan yang optimal [1]. Evaluasi kinerja dosen merupakan komponen integral dalam upaya untuk meningkatkan mutu pendidikan tinggi. Dalam era digital modern, mahasiswa semakin aktif dalam menyuarakan pandangan mereka terhadap

pengalaman belajar mereka, termasuk kualitas pengajaran yang mereka terima [2].

Di dalam dunia pendidikan, proses evaluasi pengajaran ialah salah satu program atau kegiatannya adalah analisis sentimen [3]. Analisis sentimen adalah pendekatan yang efektif dalam memahami bagaimana mahasiswa menilai kinerja dosen mereka. Teknik analisis sentimen melibatkan penggalian informasi relevan dari kumpulan data Ulasan Pengguna Tidak Terstruktur (UUR) yang diambil dari *online* dan mengklasifikasikannya ke dalam komentar positif dan negatif yang sesuai untuk mengambil keputusan

[4]. Ulasan, komentar, dan *feedback* yang dikumpulkan dari berbagai platform *online* mengandung beragam sentimen, sentimen tersebut bisa berupa sentimen positif maupun sentimen negatif, yang dapat memberikan wawasan berharga tentang pengalaman belajar mahasiswa. Penggunaan algoritma klasifikasi dalam analisis sentimen menjadi semakin penting dalam mengotomatisasi dan memudahkan proses ini.

Analisis sentimen merupakan bagian yang sangat penting dalam memaknai dan menganalisis opini publik, umpan balik, dan data yang berasal dari media sosial [5]. Terdapat berbagai macam algoritma *machine learning* yang dapat digunakan untuk analisis sentimen diantaranya yang paling sering banyak dipakai adalah *Bayesian*, *Support Vector Machine (SVM)*, *Decision Tree*, dan *ensemble learning*. [6], [7]

Dalam penelitian Sanjay, melakukan perbandingan antar metode klasifikasi yaitu algoritma *Support Vector Machine (SVM)* dengan algoritma *Naïve Bayes*. Metode tersebut digunakan untuk melakukan klasifikasi analisis sentimen ulasan produk amazon. Diketahui bahwa metode SVM memberikan hasil *F1-score* lebih baik dari pada algoritma *Naïve Bayes*. SVM menghasilkan *F1-score* 0.83 sedangkan algoritma *Naïve Bayes* mempunyai nilai sebesar 0.82 [8].

Analisis sentimen juga digunakan untuk melakukan analisis opini masyarakat Indonesia di *twitter* terhadap vaksin Covid-19. Data yang diambil dari kicauan *twitter* masyarakat Indonesia yang diambil dari *Drone Emprit Academic Streaming*. *Datasets* tersebut kemudian dilakukan klasifikasi dengan menggunakan algoritma *Naïve Bayes*. Dari hasil analisis didapat *datasets* 6000 data tweet dengan 56% berlabel *tweet* negatif, dan 39% berlabel *tweet* positif, dan 1% berlabel *tweet* netral selama rentang waktu periode satu minggu [9].

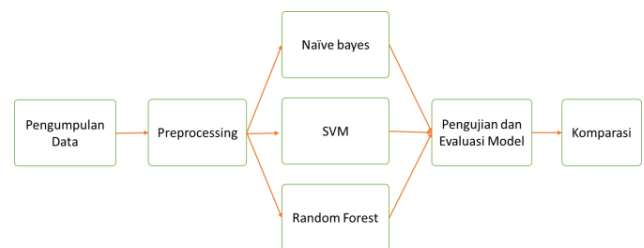
Metode *Random Forest* bisa digunakan untuk mengklasifikasi sentimen analisis. Di dalam penelitian Fitri, *Random Forest* dipakai untuk melakukan klasifikasi analisis sentimen dengan *datasets* yang dipakai mengambil *datasets* media sosial. Penelitian tersebut berhasil melakukan klasifikasi sentimen media sosial kedalam kategori positif, negatif, dan netral. Dari hasil penelitian didapatkan hasil akurasi sebesar 82.91% [10].

Dari uraian di atas, dalam penelitian ini menganalisis opini kritik dan saran mahasiswa terhadap kinerja dosen, data tersebut kemudian diolah dan diklasifikasikan dengan pendekatan teks mining. Penelitian ini bertujuan untuk melakukan komparasi antara berbagai algoritma klasifikasi yang banyak dipakai untuk analisis sentimen terkait persepsi mahasiswa terhadap kinerja mengajar dosen. Algoritma klasifikasi yang digunakan untuk klasifikasi dalam penelitian adalah algoritma *Naïve Bayes*, algoritma *Support Vector Machine (SVM)*, dan algoritma *Random Forest*. Penelitian ini mempunyai kontribusi menganalisis dan melakukan komparasi data kritik saran mahasiswa terhadap dosen dengan membandingkan tiga buah metode klasifikasi sehingga diketahui algoritma terbaik untuk melakukan klasifikasi sentimen opini mahasiswa terhadap kinerja

mengajar dosen. Adapun hasil dari penelitian mempunyai manfaat bagi mahasiswa, dosen maupun pejabat kampus dalam melihat banyaknya sentimen positif dan negatif, hal tersebut berguna untuk pengambilan kebijakan ke depan yang lebih tepat dan akurat.

II. METODE PENELITIAN

Diagram alur dalam penelitian dapat di ilustrasikan pada gambar 1.1.



Gambar 1.1 Alur Penelitian

2.1. Data Collection

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini bersifat privat dan dikumpulkan secara internal. Proses pengumpulan data dilakukan melalui penyebaran kuesioner daring kepada mahasiswa selama satu semester. Total data yang berhasil terkumpul adalah 1254 ulasan. Seluruh responden telah memberikan persetujuan untuk penggunaan data mereka secara anonim untuk tujuan penelitian ini. Untuk menjaga kerahasiaan dan etika, semua informasi pribadi yang dapat mengidentifikasi responden telah dihilangkan dari *dataset*. Data tersebut mencakup teks ulasan dan dapat sudah dilabeli dengan di anotasi 2 sentimen, yaitu sentimen positif dan sentimen negatif. [11].

2.2 Preprocessing Data

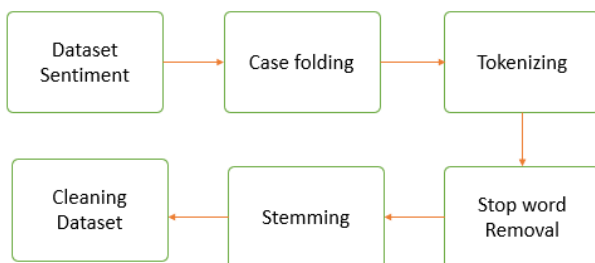
Preprocessing data merupakan proses yang sangat penting dalam melakukan analisis sentimen. Sebuah teks dapat berupa kalimat, kata, atau sebuah karakter, urutan karakter yang mempunyai makna. [12] *Datasets* yang dikumpulkan harus melalui tahap *preprocessing* untuk menghasilkan hasil yang optimal. Dalam penelitian ini, tahap *preprocessing* dilakukan seperti pada gambar 1.2. Pembersihan data yaitu menghapus karakter khusus, tanda baca, dan elemen yang tidak relevan.

Tokenization yaitu memisahkan teks menjadi token atau kata-kata individu [13], [14], [15]. Penghapusan kata-kata berhenti (*stop words*) yaitu menghapus berbagai kata yang umum dan tidak memberikan kontribusi signifikan pada analisis sentimen. *Stop word* umum digunakan dalam bahasa Inggris dan variasi huruf besar/kecil juga telah dihapus dari teks sebelum proses tokenisasi untuk mengurangi redundansi kata. [16]. Dalam penelitian ini akan menggunakan *stopword* khusus untuk Bahasa Indonesia yang diambil dari *library* NLTK.

Stemming yaitu mengubah kata-kata menjadi bentuk kata

dasar (*root word*) untuk mengurangi variasi kata yang mirip sehingga mengurangi redudansi kata. *Stemming* adalah proses mengolah perubahan kata yang mempunyai imbuhan diubah menjadi kata dasar (*root word*). [17] Dalam bahasa Indonesia, *stemming* menjadi sangat penting. Beberapa kata dalam Bahasa Indonesia biasanya mempunyai prefiks, sufiks, infiks, dan konfiks. [18] Hal tersebut membuat pencarian kata dasar menjadi lebih rumit. *Stemming* Bahasa Indonesia, mempunyai perbedaan dengan *stemming* Bahasa Inggris atau Bahasa asing lainnya. Dalam bahasa Indonesia, *stemming* dapat menggunakan metode *Stemming Berbasis Confix-stripping (CS)*. [19] Setelah pra-pemrosesan data, dilakukan ekstraksi fitur-fitur dari teks ulasan yang digunakan dalam proses klasifikasi sentimen. Fitur-fitur ini dapat mencakup representasi vektor kata (*word embeddings*).

Setelah dilakukan *preprocessing* maka akan dilakukan visualisasi data dengan *wordcloud*. *Wordcloud* adalah gambaran visual frekuensi kata yang tersusun dalam visualisasi teks. [20], [21] *Wordcloud* juga disebut sebagai metode visualisasi yang menggabungkan *trend chart*. *Wordcloud* dapat digunakan untuk melakukan ilustrasi evolusi konten temporal dalam sekumpulan dokumen. [22] Dengan *wordcloud* kata yang paling sering muncul akan memiliki bobot lebih, kemudian akan digambarkan dengan *font size* yang besar, sehingga lebih terlihat. Terdapat tiga algoritma yang dijadikan visualisasi *wordcloud* adalah *frequency*, *category*, dan *mixed*. [23]



Gambar 1.2 Proses *Preprocessing*

2.3 Algoritma *Naive Bayes*

Naive Bayes merupakan model algoritma klasifikasi menggunakan penerapan teorema *Bayes*. *Naive bayes* merupakan algoritma yang banyak digunakan untuk analisis sentimen teks. [10] *Naive Bayes* menggunakan asumsi atau anggapan yang disederhanakan terhadap suatu komponen nilai atribut yang mempunyai kondisional tidak terikat atau bebas, jika diberikan suatu nilai *output*. Dalam *naive bayes* harus memperhatikan nilai *priori*. Nilai *priori* adalah sebuah nilai keluaran yang mempunyai probabilitas atau kemungkinan secara berbarengan pada suatu produk dari hipotesis sebuah sampel. Sedangkan *evidence* atau bukti dari kemungkinan data *training* dinotasikan dengan notasi $P(X)$. Kemudian nilai $P(H|X)$ merupakan nilai kemungkinan atau probabilitas H yang mempengaruhi *posterior density* yang dapat dinotasikan dengan notasi X . Sehingga nilai $P(X|H)$

merupakan nilai probabilitas nilai X terhadap H , nilai tersebut disebut sebagai *likelihood*. Teorema bayes dapat disebut sebagai proses klasifikasi yang terdiri dari sejumlah petunjuk untuk menetapkan *class* yang paling sesuai dengan *sample* yang di analisis. Sehingga teorema Baye dapat dinotasikan seperti persamaan 1.

$$P(C|f_1, \dots, f_n) = \frac{P(C)P(f_1, \dots, f_n|C)}{P(f_1, \dots, f_n)} \quad (1)$$

Variabel C merupakan representasi sebuah kelas, sedangkan variabel $F_1, \dots, F_n$ menunjukkan representasi dari sebuah klasifikasi yang mempunyai karakteristik. Persamaan tersebut di atas merepresentasikan probabilitas *input sample* pada karakteristik dari kelas C atau yang disebut sebagai *posterior*. Probabilitas kelas C disebut sebagai *posterior*, di mana *posterior* adalah *prior* dikalikan dengan *likelihood* kemudian di bagi dengan *evident*. Hal tersebut dapat dinotasikan dalam persamaan 2 [24]

$$\text{Posterior} = \frac{\text{Prior} \times \text{likelihood}}{\text{evident}} \quad (2)$$

Dari persamaan tersebut di atas dapat disimpulkan bahwa asumsi *naive independence* tersebut memunculkan terjadinya prasyarat peluang menjadi lebih sederhana, sehingga perhitungan dapat dilakukan menjadi sederhana. Kemudian, langkah selanjutnya adalah penjabaran $P(C|F_1, \dots, F_n)$ yang dapat dinotasikan pada persamaan 4 dan persamaan 5.

$$P(C|f_1, \dots, f_n) = P(C)P(F_1|C)P(F_2|C) \quad (4)$$

$$P(C|f_1, \dots, f_n) = P(C) \prod_{i=1}^n P(F_i|C) \quad (5)$$

Persamaan 4 dan 5 tersebut merupakan sebuah model dari teorema *Naive Bayes* yang digunakan sebagai proses klasifikasi. Sedangkan, untuk klasifikasi dengan data kontinu digunakan persamaan rumus *Densitas Gauss* yang dapat dinotasikan sesuai persamaan 6.

$$P(X_i = x_i | Y = y_i) = \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_{ij}^2}} e^{-\frac{(x_i - \mu_{ij})^2}{2\sigma_{ij}^2}} \quad (6)$$

2.4 Support Vector Machine (SVM)

SVM adalah suatu metode dalam *machine learning* yang dapat digunakan untuk melakukan klasifikasi dan regresi. SVM bekerja dengan cara mencari *hyperplane* terbaik yang dapat memisahkan dua kelas dalam ruang fitur data dengan margin maksimal, di mana margin adalah jarak antara *hyperplane* dan titik terdekat dari masing-masing kelas. [25] Tujuan utama SVM adalah menemukan *hyperplane* yang memaksimalkan *margin* dengan cara memastikan bahwa semua titik data dari kelas yang berbeda berada di sisi yang benar dari *hyperplane*. SVM juga dapat mengatasi masalah ketidaklinieran dengan menggunakan fungsi kernel, yang memetakan data ke dalam dimensi yang lebih tinggi untuk

memungkinkan pemisahan yang lebih baik. SVM dikenal karena keandalan dan kinerjanya yang baik dalam mengatasi masalah klasifikasi pada data yang kompleks dan nonlinier. [26] SVM dikenal dengan memiliki konsep sentral dalam melakukan klasifikasi dengan cara mencari *hyperlane* terbaik dalam memilah dua kelas. [24]

2.5 Random Forest

Algoritma *Random Forest* diusulkan secara resmi pada tahun 2001 oleh Leo Breiman dan Adèle Cutler, merupakan bagian dari teknik pembelajaran otomatis. Algoritma ini menggabungkan konsep subruang acak dan *bagging*. Algoritma *Random Forest* melatih beberapa pohon keputusan yang digerakkan pada subkumpulan data yang sedikit berbeda. [27]. Algoritma *Random Forest* merupakan pengembangan dari algoritma *Classification and Regression Trees* (CART). [28]

Random Forest merupakan algoritma pembelajaran *ensemble* dalam bidang *machine learning* yang memanfaatkan konsep keputusan berbasis pohon. Algoritma ini bekerja dengan cara membangun sejumlah besar pohon keputusan yang acak selama pelatihan, dan kemudian menggabungkan hasil prediksi dari setiap pohon untuk menghasilkan *output akhir*. Setiap pohon dihasilkan dengan menggunakan subset acak dari data pelatihan dan subset acak dari fitur, sehingga mencegah *overfitting* dan meningkatkan generalisasi model. *Random Forest* juga dapat memberikan estimasi kepentingan fitur, memungkinkan analisis yang lebih baik terhadap kontribusi masing-masing fitur terhadap prediksi keseluruhan. Kombinasi keputusan dari pohon-pohon tersebut membuat *Random Forest* tangguh, toleran terhadap noise, dan efektif dalam menangani data berdimensi tinggi. [24]

2.6 Pelatihan dan Evaluasi Model

Setelah dilakukan *preprocessing data*, kemudian dibagi menjadi dua *sub set*, yaitu data pelatihan atau disebut sebagai *training data* dan data pengujian atau yang disebut sebagai *testing data*. Kemudian klasifikasi model dilatih menggunakan *data training*, dan kinerja model tersebut kemudian dilakukan evaluasi menggunakan *data testing*. Dalam penelitian ini hasil klasifikasi menghasilkan label *multiclass*. Oleh karena ini pengujian atau evaluasi model menggunakan *Confusion Matrix*, dengan parameter evaluasi mencakup *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1-score*. [29]

Persamaan perhitungan *accuracy*, *precision*, *recall* dan *F1-score* dapat dirumuskan seperti pada persamaan 7, 8, 9 dan 10. Sedangkan tabel *Confusion Matrix* dapat terlihat pada tabel 2.1. [30], [31], [32]

$$Accuracy = \frac{TP+TN}{TP+TN+FP+FN} \times 100\% \quad (7)$$

$$Precision = \frac{TP}{TP+FP} \times 100\% \quad (8)$$

$$Recall = \frac{TP}{TP+FN} \times 100\% \quad (9)$$

$$F1Score = 2 \times \frac{Recall+Precision}{Recall+Precision} \times 100\% \quad (10)$$

Tabel 2.1 Confusion Matrix

	TERKLASIFIKASI POSITIF	TERKLASIFIKASI NEGATIF
POSITIF	TP (True Positive)	FN (False Negative)
NEGATIF	FP (False Positive)	TN (True Negative)

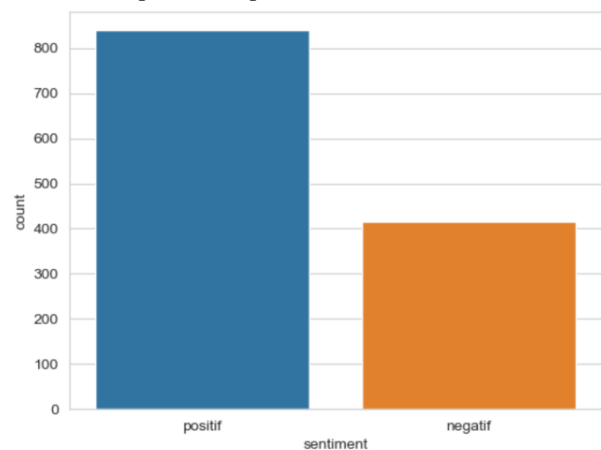
2.7 Analisis Hasil

Hasil dari komparasi algoritma klasifikasi dianalisis secara mendalam, termasuk identifikasi algoritma yang paling efektif dalam mengklasifikasikan sentimen terkait kinerja dosen. Selain itu, juga dilakukan analisis faktor-faktor yang memengaruhi kinerja algoritma.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Data Collection

Pada penelitian menggunakan *datasets* sebanyak 1254 data komentar kritik saran dari mahasiswa. Data komentar tersebut sudah mempunyai label di mana berisi 839 komentar positif dan 415 komentar negatif. Sebaran data komentar dapat dilihat pada Grafik 3.1.



Grafik 3.1 Sebaran Data

Datasets dibagi menjadi dua bagian, yaitu *data training* dan *data testing*. Proporsional yang digunakan dalam penelitian ini yaitu 80% *datasets* digunakan sebagai *data training*, dan 20% *datasets* digunakan sebagai *data testing*.

Pada tabel 3.1 merupakan contoh data sentimen positif dan negatif yang berasal dari data kritik dan saran perkuliahan dari mahasiswa.

Tabel 3.1 Contoh Sentimen Positif dan Negatif

ID	Komentar	Sentimen
----	----------	----------

102	Untuk alat praktikum ada beberapa yang kekurangan mungkin bisa lebih di tambah alatnya	negatif
104	Lab praktikum ruangan agak engap, kurang udara, kamar mandi harus kelantai 3	negatif
204	menurut saya sangat baik, dosen maupun staf membimbing dengan baik ketika kita ada kesulitan	positif
501	Metode pengajaran yang digunakan jelas dan efektif dalam penyampaian materi kepada mahasiswa	positif

3.2 Preprocessing

Preprocessing merupakan tahapan proses pembersihan data atau *cleaning data*. Tahapan yaitu dimulai *case folding*, *tokenize*, *stopword removal*, dan *stemming*. Selanjutnya didalam proses *stopword removal* digunakan kamus *stopwords* yang di ambil dari *library NLTK Indonesia*. Kemudian pada tahapan *stemming* dengan menggunakan *library sastrawi*. Berikut ini merupakan hasil dari tahapan *preprocessing*.

Tabel 3.2 Tahapan *Preprocessing*

Preprocessing	Sebelum	Sesudah
Case Folding	Untuk alat praktikum ada beberapa yang kekurangan mungkin bisa lebih di tambah alatnya	untuk alat praktikum ada beberapa yang kekurangan mungkin bisa lebih di tambah alatnya
Tokenize	untuk alat praktikum ada beberapa yang kekurangan mungkin bisa lebih di tambah alatnya	['untuk', 'alat', 'praktikum', 'ada', 'beberapa', 'yang', 'kekurangan', 'mungkin', 'bisa', 'lebih', 'ditambah', 'alatnya']
Stopword Removal	untuk alat praktikum ada beberapa yang kekurangan mungkin bisa lebih di tambah alatnya	['alat', 'praktikum', 'beberapa', 'kekurangan', 'mungkin', 'bisa', 'lebih', 'ditambah', 'alatnya']

Stemming	['alat', 'praktikum', 'beberapa', 'kekurangan', 'mungkin', 'bisa', 'lebih', 'ditambah', 'alatnya']	['alat', 'praktik', 'beberapa', 'kurang', 'mungkin', 'bisa', 'lebih', 'tambah', 'alat']
----------	--	---

3.3 Word Cloud

Hasil analisis visualisasi *Word Cloud* pada sentimen positif dan sentimen negatif dapat terlihat pada grafik 3.2 Hasil *wordcloud*. Dari *Word Cloud* dapat dilihat bahwa hasil *Word Cloud* komentar positif kata mahasiswa, kuliah, ajar materi terlihat jelas itu menandakan kata tersebut sering muncul dalam komentar positif mahasiswa. Sedangkan pada *Word Cloud* komentar negatif, kata praktikum, kuliah, kurang kelihatan jelas, itu menandakan kata-kata tersebut sering dituliskan dalam komentar negatif mahasiswa dalam kinerja dosen.



Grafik 3.2 Hasil Wordcloud

3.4 Klasifikasi dan Evaluasi

Dalam penelitian ini, peneliti melakukan komparasi antara tiga algoritma klasifikasi yang berbeda, yaitu algoritma *Naive Bayes*, algoritma *Support Vector Machine (SVM)*, dan algoritma *Random Forest*, untuk melakukan klasifikasi sentimen terhadap kinerja dosen. *Datasets* yang digunakan terdiri dari ulasan dan umpan balik mahasiswa yang telah dikategorikan menjadi dua kategori sentimen, yaitu sentimen positif dan sentimen negatif.

Dataset yang digunakan yaitu 80% *dataset training*, atau sebanyak 1003 opini komentar mahasiswa dan 20% *datasets testing* atau sebanyak 241 komentar opini

mahasiswa. Kemudian dilakukan pengujian dengan *Confusion Matrix*. Dari hasil pengujian didapatkan hasil *Confusion Matrix* seperti pada tabel 3.3, tabel 3.4, dan tabel 3.5.

Tabel 3.3 Hasil *Confusion Matrix* dengan *Naive Bayes*

	POSITIF	NEGATIF	TOTAL
POSITIF	31	64	95
NEGATIF	1	155	156
TOTAL	32	219	251

Berdasarkan Tabel 3.3, hasil *confusion matrix* dari algoritma *Naive Bayes* menunjukkan bahwa dari total 251 data uji, model berhasil mengklasifikasikan 155 komentar negatif dengan benar (*True Negative*) dan 31 komentar opini positif dengan benar (*True Positive*). Namun, terdapat kesalahan klasifikasi yang signifikan, di mana model gagal mengenali 64 komentar yang sebenarnya positif dan salah mengklasifikasikannya sebagai negatif (*False Negative*). Di sisi lain, kesalahan prediksi untuk kelas negatif sangat rendah, dengan hanya 1 data negatif yang salah diklasifikasikan sebagai positif (*False Positive*). Hasil ini mengindikasikan bahwa model *Naive Bayes* memiliki kecenderungan yang kuat untuk memprediksi kelas mayoritas (negatif) dan kurang efektif dalam mengidentifikasi kelas minoritas (positif).

Tabel 3.4 Hasil *Confusion Matrix* dengan *Support Vector Machine (SVM)*

	POSITIF	NEGATIF	TOTAL
POSITIF	58	37	95
NEGATIF	7	149	156
TOTAL	65	186	251

Berdasarkan Tabel 3.4, hasil klasifikasi opini mahasiswa menggunakan algoritma *Support Vector Machine (SVM)* menunjukkan kinerja yang jauh lebih seimbang. Model ini berhasil mengidentifikasi 58 opini positif dan 149 opini negatif dengan benar. Meskipun masih terdapat 37 opini positif yang keliru diklasifikasikan sebagai negatif (*False Negative*), angka ini merupakan peningkatan signifikan dalam kemampuan mengenali sentimen positif dibandingkan model sebelumnya. Di sisi lain, kesalahan pada kelas negatif tetap terkendali dengan hanya 7 opini yang salah diberi label positif (*False Positive*). Secara keseluruhan, *confusion matrix* ini menggambarkan bahwa SVM mampu mengurangi bias terhadap kelas mayoritas (negatif) dan memberikan keseimbangan yang lebih baik dalam mengklasifikasikan kedua jenis sentimen opini mahasiswa.

Tabel 3.5 Hasil *Confusion Matrix* dengan *Random Forest*

	POSITIF	NEGATIF	TOTAL
POSITIF	58	37	95
NEGATIF	7	149	156
TOTAL	65	186	251

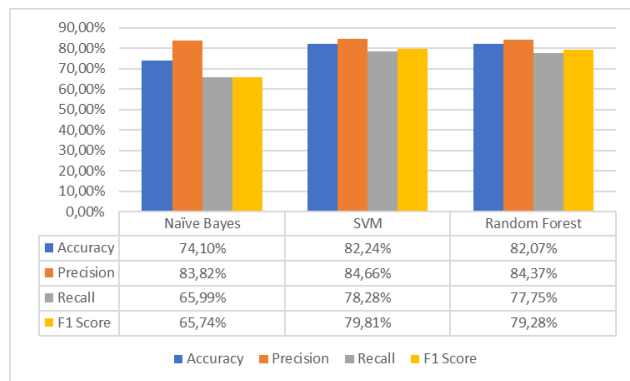
Tabel 3.5 menyajikan hasil klasifikasi opini mahasiswa menggunakan algoritma *Random Forest*, yang menunjukkan kinerja sangat mirip dengan SVM. Model ini berhasil mengidentifikasi 58 opini positif (*True Positive*) dan 149 opini negatif (*True Negative*) dengan tepat. Kesalahan klasifikasi terjadi pada 37 opini positif yang dianggap negatif (*False Negative*) dan 7 opini negatif yang dianggap positif (*False Positive*). Sebuah temuan yang sangat menarik adalah bahwa hasil *confusion matrix* ini identik dengan yang dihasilkan oleh *Support Vector Machine (SVM)*. Hal ini mengindikasikan bahwa pada *dataset* ini, kedua model tersebut mencapai batas kinerja yang serupa dan memiliki kemampuan yang setara dalam menyeimbangkan prediksi antara sentimen positif dan negatif dari opini mahasiswa.

Langkah selanjutnya yaitu dilakukan komparasi algoritma klasifikasi tersebut, dengan melakukan evaluasi pada *Accuracy*, *Precision*, *Recall* dan *F1 Score*, dari hasil pengukuran didapatkan hasil seperti pada grafik 3.3.

Dari hasil klasifikasi Algoritma *Naive Bayes* memperoleh nilai *accuracy* 74,10 %, nilai *precision* 83,82%, nilai *recall* 65,99% dan nilai *F1 Score* 65,74%. Sedangkan klasifikasi algoritma *Support Vector machine (SVM)* mendapatkan hasil *accuracy* 82,24%, *precision* 84,66%, *recall* 78,28%, dan *F1 Score* 79,81%. Yang terakhir yaitu algoritma *random forest* menghasilkan nilai *accuracy* 82,07%, *precision* 84,37%, *recall* 77, 75%, dan nilai *F1 Score* 79,28%.

Dapat diketahui bahwa algoritma klasifikasi terbaik digunakan untuk klasifikasi komentar mahasiswa terhadap penilaian kinerja dosen, dengan *datasets* 1254 komentar, kemudian dilakukan *splitting* data 80% *data training* dan 20% *data testing* diketahui bahwa algoritma *Support Vector Machine (SVM)* memberikan nilai *accuracy*, *precision*, *recall*, dan *f1 score* paling baik. Kemudian yang kedua yaitu algoritma *Random Forest*, dan yang ketiga yaitu algoritma *naive bayes*.

Fenomena menarik yang teramati adalah kinerja SVM dan *Random Forest* yang sangat berdekatan, bahkan menghasilkan *confusion matrix* yang identik. Kemiripan ini dapat dijelaskan secara teoritis dari karakteristik kedua algoritma. SVM bekerja dengan mencari *hyperplane* optimal yang memaksimalkan margin antar kelas, membuatnya sangat efektif dalam ruang fitur berdimensi tinggi seperti data teks hasil vektorisasi. Di sisi lain, *Random Forest* adalah model ensemble yang membangun banyak *decision tree* pada subset data yang berbeda dan menggabungkan hasilnya, yang memberikannya robustitas tinggi terhadap *overfitting* dan kemampuan menangani interaksi fitur yang kompleks.



Grafik 3.3 Hasil Komparasi Pengukuran

IV. KESIMPULAN

Dalam penelitian ini, peneliti telah berhasil melakukan komparasi terhadap tiga algoritma klasifikasi yang berbeda, yaitu *Naïve Bayes*, *Support Vector Machine (SVM)*, dan *Random Forest* untuk melakukan klasifikasi sentimen terhadap kinerja dosen dalam pendidikan tinggi. Ketiga algoritma tersebut dapat melakukan klasifikasi sentimen mahasiswa ke dalam dua kategori yaitu sentimen positif dan sentimen negatif. Dari hasil penelitian diketahui bahwa algoritma *Support Vector Machine (SVM)* memberikan hasil yang paling bagus dibandingkan dengan 2 algoritma lainnya. Algoritma *Support Vector Machine (SVM)* berhasil menghasilkan nilai *accuracy* 82,24%, dengan nilai *precision* 84,66%, nilai *recall* 78,28% dan nilai *F1 score* 79,81%.

REFERENSI

- [1] C. R. Glass, K. A. Godwin, and R. M. Helms, "Toward Greater Inclusion and Success," 2021.
- [2] J. E. Chukwuere, "Student Voice in an Extended Curriculum Programme in the Era of Social Media: A systematic Review of Academic Literature," *IJHE*, vol. 10, no. 1, p. 147, Oct. 2020, doi: 10.5430/ijhe.v10n1p147.
- [3] C. A. Pacol and T. D. Palaoag, "Enhancing Sentiment Analysis of Textual Feedback in the Student-Faculty Evaluation using Machine Learning Techniques," *Eur. j., eng. sci., tech.*, vol. 4, no. 1, pp. 27–34, Dec. 2021, doi: 10.33422/ejest.v4i1.604.
- [4] N. Saraswathi, T. Sasi Rooba, and S. Chakaravarthi, "Improving the accuracy of sentiment analysis using a linguistic rule-based feature selection method in tourism reviews," *Measurement: Sensors*, vol. 29, p. 100888, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.measen.2023.100888.
- [5] S. Nayak, Savita, and Y. K. Sharma, "A modified Bayesian boosting algorithm with weight-guided optimal feature selection for sentiment analysis," *Decision Analytics Journal*, vol. 8, p. 100289, Sept. 2023, doi: 10.1016/j.dajour.2023.100289.
- [6] Han, Jiawei, Kamber, Michelin, and Pei, Jian, *Data Mining: Concepts and Techniques*. Elsevier, 2012. doi: 10.1016/C2009-0-61819-5.
- [7] W. F. Satrya, R. Aprilliyani, and E. H. Yossy, "Sentiment analysis of Indonesian police chief using multi-level ensemble model," *Procedia Computer Science*, vol. 216, pp. 620–629, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.177.
- [8] S. Dey, S. Wasif, D. S. Tonmoy, S. Sultana, J. Sarkar, and M. Dey, "A Comparative Study of Support Vector Machine and Naive Bayes Classifier for Sentiment Analysis on Amazon Product Reviews," in *2020 International Conference on Contemporary Computing and Applications (IC3A)*, Lucknow, India: IEEE, Feb. 2020, pp. 217–220. doi: 10.1109/IC3A48958.2020.233300.
- [9] Pristiyono, M. Ritonga, M. A. A. Ihsan, A. Anjar, and F. H. Rambe, "Sentiment analysis of COVID-19 vaccine in Indonesia using Naïve Bayes Algorithm," *IOP Conf. Ser.: Mater. Sci. Eng.*, vol. 1088, no. 1, p. 012045, Feb. 2021, doi: 10.1088/1757-899X/1088/1/012045.
- [10] V. A. Fitri, R. Andreswari, and M. A. Hasibuan, "Sentiment Analysis of Social Media Twitter with Case of Anti-LGBT Campaign in Indonesia using Naïve Bayes, Decision Tree, and Random Forest Algorithm," *Procedia Computer Science*, vol. 161, pp. 765–772, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2019.11.181.
- [11] Riccosan and K. E. Saputra, "Multilabel multiclass sentiment and emotion dataset from Indonesian mobile application review," *Data in Brief*, vol. 50, p. 109576, Oct. 2023, doi: 10.1016/j.dib.2023.109576.
- [12] D. Ramachandran and R. Parvathi, "Analysis of Twitter Specific Preprocessing Technique for Tweets," *Procedia Computer Science*, vol. 165, pp. 245–251, 2019, doi: 10.1016/j.procs.2020.01.083.
- [13] D. Rifaldi, Abdul Fadlil, and Herman, "Teknik Preprocessing Pada Text Mining Menggunakan Data Tweet 'Mental Health,'" *Decode*, vol. 3, no. 2, pp. 161–171, Apr. 2023, doi: 10.51454/decode.v3i2.131.
- [14] E. Rosenberg *et al.*, "Sentiment analysis on Twitter data towards climate action," *Results in Engineering*, vol. 19, p. 101287, Sept. 2023, doi: 10.1016/j.rineng.2023.101287.
- [15] N. Tri Romadloni and N. Dwi Septiyanti, "Optimasi Feature Selection Pada Komentar Media Sosial Terhadap Peralihan Tv Digital Menggunakan Naïve Bayes, Support Vector Machine dan K-Nearest Neighbor," *Decode*, vol. 3, no. 2, pp. 151–160, Apr. 2023, doi: 10.51454/decode.v3i2.121.
- [16] D. Sudigyo, A. A. Hidayat, R. Nirwantono, R. Rahutomo, J. P. Trinugroho, and B. Pardamean, "Literature study of stunting supplementation in Indonesian utilizing text mining approach," *Procedia Computer Science*, vol. 216, pp. 722–729, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.189.
- [17] N. H. Jeremy and D. Suhartono, "Automatic personality prediction from Indonesian user on twitter using word embedding and neural networks," *Procedia Computer Science*, vol. 179, pp. 416–422, 2021, doi: 10.1016/j.procs.2021.01.024.
- [18] M. Adriani, J. Asian, B. Nazief, S. M. M. Tahaghoghi, and H. E. Williams, "Stemming Indonesian: A confix-stripping approach," *ACM Transactions on Asian Language Information Processing*, vol. 6, no. 4, pp. 1–33, Dec. 2007, doi: 10.1145/1316457.1316459.
- [19] H. Dwiharyono and S. Suyanto, "Stemming for Better Indonesian Text-to-Phoneme," *Ampersand*, vol. 9, p. 100083, 2022, doi: 10.1016/j.amper.2022.100083.
- [20] R. L. Atenstaedt, "Word cloud analysis of historical changes in the subject matter of public health practice in the United Kingdom," *Public Health*, vol. 197, pp. 39–41, Aug. 2021, doi: 10.1016/j.puhe.2021.06.010.
- [21] M. A. Hearst, E. Pedersen, L. Patil, E. Lee, P. Laskowski, and S. Franconeri, "An Evaluation of Semantically Grouped Word Cloud Designs," *IEEE TRANSACTIONS ON VISUALIZATION AND COMPUTER GRAPHICS*.
- [22] Y. W. W. Cui, "Context Preserving Dynamic Word Cloud Visualization".
- [23] Y. Jin, "Development of Word Cloud Generator Software Based on Python," *Procedia Engineering*, vol. 174, pp. 788–792, 2017, doi: 10.1016/j.proeng.2017.01.223.
- [24] N. B. Putri and A. W. Wijayanto, "Analisis Komparasi Algoritma Klasifikasi Data Mining Dalam Klasifikasi Website Phishing," *Komputika*, vol. 11, no. 1, pp. 59–66, Jan. 2022, doi: 10.34010/komputika.v11i1.4350.
- [25] A. P. Nardilasari, A. L. Hananto, S. S. Hilabi, T. Tukino, and B. Priyatna, "Analisis Sentimen Calon Presiden 2024 Menggunakan Algoritma SVM Pada Media Sosial Twitter," *JOINTECS*, vol. 8, no. 1, p. 11, Mar. 2023, doi: 10.31328/jointecs.v8i1.4265.
- [26] D. Wang and Y. Zhao, "Using News to Predict Investor Sentiment: Based on SVM Model," *Procedia Computer Science*, vol. 174, pp. 191–199, 2020, doi: 10.1016/j.procs.2020.06.074.
- [27] Y. Al Amrani, M. Lazaar, and K. E. El Kadiri, "Random Forest and Support Vector Machine based Hybrid Approach to Sentiment

-
- Analysis,” *Procedia Computer Science*, vol. 127, pp. 511–520, 2018, doi: 10.1016/j.procs.2018.01.150.
- [28] M. Ozcan and S. Peker, “A classification and regression tree algorithm for heart disease modeling and prediction,” *Healthcare Analytics*, vol. 3, p. 100130, Nov. 2023, doi: 10.1016/j.health.2022.100130.
- [29] M. M. Ghiasi and S. Zendejboudi, “Decision tree-based methodology to select a proper approach for wart treatment,” *Computers in Biology and Medicine*, vol. 108, pp. 400–409, May 2019, doi: 10.1016/j.combiomed.2019.04.001.
- [30] Q. Gu, L. Zhu, and Z. Cai, “Evaluation Measures of the Classification Performance of Imbalanced Data Sets,” in *Computational Intelligence and Intelligent Systems*, vol. 51, Z. Cai, Z. Li, Z. Kang, and Y. Liu, Eds., in Communications in Computer and Information Science, vol. 51. , Berlin, Heidelberg: Springer Berlin Heidelberg, 2009, pp. 461–471. doi: 10.1007/978-3-642-04962-0_53.
- [31] M. Roshani *et al.*, “Evaluation of flow pattern recognition and void fraction measurement in two phase flow independent of oil pipeline’s scale layer thickness,” *Alexandria Engineering Journal*, vol. 60, no. 1, pp. 1955–1966, Feb. 2021, doi: 10.1016/j.aej.2020.11.043.
- [32] D. Valero-Carreras, J. Alcaraz, and M. Landete, “Comparing two SVM models through different metrics based on the confusion matrix,” *Computers & Operations Research*, vol. 152, p. 106131, Apr. 2023, doi: 10.1016/j.cor.2022.106131.

Robot Pengikut Objek Menggunakan Deteksi Warna Berbasis Smartphone Android dengan Kendali PID

Object Follower Robot Using Android Smartphone Based Color Detection with PID Control

Indra Kurniawan¹, Arif Fahmi²

Jurusan Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{1,2}

Email: indrakurniawan@poliwangi.ac.id¹, ariffahmi@poliwangi.ac.id²

Abstract

Object-following robot is one of the popular research topics due to the various implementations of new technologies and their benefits in society. On the other hand, smartphones now have advantages as electronic devices that allow them to be used as a robot development media. This research attempted to develop an object-following robot that uses a smartphone as the primary sensor and data processor to generate PID (Proportional Integral Derivative) control signals in the robot. The research steps consisted of literature study, system design, identification of devices used, implementation, testing, and performance evaluation. The test results showed that the robot system with an Android smartphone has good performance. The program using a smartphone camera was able to detect colored objects with an average performance percentage of 84.36%. Motion testing consisting of translational motion, rotational motion, and combined motion (translation and rotation) produced maximum performance percentages of 100%, 84%, and 84%, respectively. This research showed that Android smartphones have adequate capabilities for use in robot systems, so that the implementation of robotic systems and algorithms might be developed and tested more easily without requiring difficult-to-obtain components.

Keywords: *Object Follower Robot, Color Detection, Android Smartphone, OpenCV, PID Control*

Abstrak

Robot pengikut objek merupakan salah satu topik penelitian populer karena berbagai implementasi teknologi baru dan manfaat-manfaatnya di masyarakat. Di sisi lain, *smartphone* sekarang ini memiliki keunggulan-keunggulan sebagai perangkat elektronik yang memungkinkannya digunakan sebagai media pengembangan robot. Penelitian ini berusaha mengembangkan robot pengikut objek yang menggunakan *smartphone* sebagai sensor dan pemrosesan data utama untuk menghasilkan isyarat pengendali PID (*Proportional Integral Derivative*) dalam robot. Tahap penelitian terdiri dari studi literatur, desain sistem, identifikasi perangkat yang digunakan, implementasi, pengujian, dan evaluasi kinerja. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem robot dengan *smartphone* Android memiliki kinerja yang baik. Program yang menggunakan kamera *smartphone* dapat mendeteksi objek berwarna dengan persentase kinerja rata-rata sebesar 84,36%. Pengujian gerak yang terdiri dari gerak translasi, gerak rotasi, dan gerak gabungan (translasi dan rotasi) menghasilkan persentase kinerja maksimal masing-masing sebesar 100%, 84%, dan 84%. Penelitian ini menunjukkan bahwa *smartphone* Android memiliki kemampuan yang memadai untuk digunakan dalam sistem robot, sehingga implementasi sistem dan algoritma robotika dapat dikembangkan dan diuji dengan lebih mudah tanpa memerlukan komponen yang sulit didapat.

Kata Kunci: Robot Pengikut Objek, Deteksi Warna, *Smartphone* Android, OpenCV, Kendali PID

I. PENDAHULUAN

Robot pengikut objek merupakan salah satu topik penelitian yang populer di kalangan pendidik dan peneliti. Topik ini memberi peluang untuk implementasi berbagai teknologi baru baik di dalam ranah robotik maupun di luar ranah robotik. Contoh implementasi di ranah robotik antara lain teknologi sistem pengendali, mekanisme gerak robot, teknologi sensor gerak, dan sistem pengukuran gerak. Sedangkan di luar ranah robotik antara lain kecerdasan

buatan sebagai penentu perilaku robot. Robot pengikut objek sendiri juga memiliki manfaat-manfaat potensial di masyarakat. Antara lain untuk membantu tugas manusia membawakan barang-barang, atau menjaga keamanan orang-orang berkebutuhan khusus.

Terdapat macam-macam perangkat yang memungkinkan robot pengikut objek melakukan tugasnya. Beberapa di antaranya yakni pengukuran jarak dengan sensor ultrasonik [1], deteksi objek dengan kamera Pixy 2 [2], kamera stereo

ZED2i [3], kamera RGB dari Raspberry Pi [4], dan kamera *webcam* [5]. Dengan menggunakan perangkat yang sederhana, maka biaya pembuatan bisa ditekan dan proses perancangannya juga menjadi lebih sederhana. Namun, ini berarti perlu algoritma yang rumit untuk membuat robot menghasilkan kinerja yang baik. Sebaliknya, jika menggunakan perangkat yang canggih, maka algoritma bisa disederhanakan karena perangkat tersebut dapat memberikan informasi yang baik dan akurat. Namun, perlu biaya mahal untuk mendapatkannya juga proses pengaturannya lebih rumit.

Di sisi lain, ponsel pintar atau *smartphone* telah menjadi perangkat yang sangat dekat dengan masyarakat belakangan ini. Di Indonesia pada tahun 2023, jumlah pengguna *smartphone* adalah sebesar 190,03 juta orang [6]. Karena itu, perkembangan teknologi *smartphone* juga semakin maju. Sekarang ini, fitur-fitur yang ada di *smartphone* khususnya yang berbasis Android sudah sangat canggih. Beberapa di antaranya yaitu kamera beresolusi besar depan-belakang, konektivitas nirkabel melalui *wifi* dan *bluetooth* bahkan NFC, sistem GPS, serta berbagai sensor seperti *accelerometer* dan *gyroscope*. Kemudian, jika menilik pada spesifikasi perangkat keras, maka kebanyakan *smartphone* memiliki unit pemrosesan yang handal. Kemampuan tersebut dapat digunakan untuk menangani banyak tugas berat seperti kalkulasi intensif atau melakukan *multitasking*.

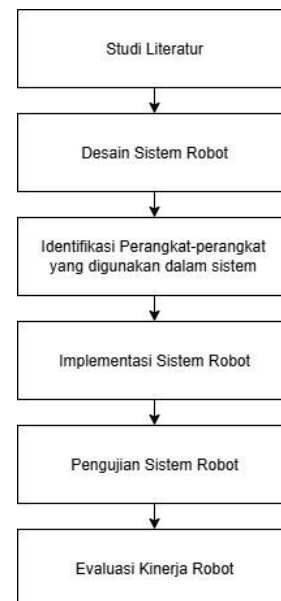
Karena keunggulan-keunggulan *smartphone* sebagai perangkat elektronik seperti yang disebut di atas, maka sangat mungkin menggunakan *smartphone* sebagai media pengembangan robot. *Smartphone* dapat difungsikan sebagai unit pengendali dan sensor. Beberapa penelitian sebelumnya telah menggunakan *smartphone* dalam pengembangan robot, khususnya pada media *input* [7], [8].

Pada penelitian ini, digunakan pengendali PID (*Proportional, Integral, Derivative*) yang populer digunakan dalam berbagai bidang penerapan, termasuk robot. PID merupakan sistem kendali tertutup (*closed-loop*) yang menggunakan umpan balik (*feedback*) yang didapat dari selisih nilai pembacaan sensor dengan nilai yang diinginkan. Beberapa penerapan PID sebagai pengendali robot antara lain pada robot *unmanned ground vehicle* (UGV) [9], robot penyeimbang (*balancing*) beroda dua [10], dan robot berkaki enam (*hexapod*) [11].

Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi sistem robot pengikut objek dengan menggunakan *smartphone* Android. Fokus utama dari penelitian ini adalah penggunaan *smartphone* Android yang secara bebas beredar di masyarakat sebagai media sensor dan pemrosesan data utama dalam sebuah robot. Pada penelitian ini, dihasilkan sebuah robot empat roda yang dapat diuji secara langsung untuk mengetahui kinerja kamera *smartphone* untuk mendeteksi objek, kemampuan pemrosesan data *smartphone* untuk mengolah isyarat pengendali robot, dan kemampuan komunikasi *smartphone* dengan komponen-komponen robotika.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini terdiri dari beberapa tahap. Tahap pertama dimulai dari studi literatur mengenai sistem robot pengikut objek. Tahap selanjutnya adalah desain. Proses desain dilakukan dengan memperhatikan fungsi dari setiap perangkat, sehingga dapat menempatkannya dengan baik di badan robot. Hal yang paling diperhatikan di tahap ini adalah penggunaan *smartphone* sebagai perangkat yang menangkap citra, sehingga perlu diperhatikan penempatannya dengan baik. Tahap berikutnya adalah identifikasi perangkat-perangkat yang digunakan. Di tahap ini, setiap perangkat ditelaah untuk dapat dipergunakan secara dengan baik di sistem robot. Tahap selanjutnya adalah implementasi. Setiap bagian robot lalu dirangkai sesuai desain yang telah dibuat. Sistem deteksi objek, kelistrikan robot, pergerakan robot dan lain-lain diaktifkan dalam sistem robot. Tahap ini akan menghasilkan robot lengkap yang siap untuk melaksanakan tugasnya. Tahap selanjutnya adalah pengujian sistem robot yang khusus untuk menguji kerja deteksi objek dan kemampuan sistem pengendali PID. Tahap terakhir adalah evaluasi kinerja robot secara keseluruhan.



Gambar 1. Diagram Alur Penelitian Robot Pengikut Objek Menggunakan Deteksi Warna Berbasis Smartphone Android

A. Desain Sistem Robot

Konsep utama sistem yang digunakan robot di penelitian ini adalah menggunakan *smartphone* sebagai inti pengendalian robot. Tugas-tugas *smartphone* antara lain untuk menangkap citra di depan robot, mendeteksi objek berdasarkan warna, mengolah data input sehingga menghasilkan data pengendali, dan mengirimkan data pengendali tersebut melalui koneksi serial (USB).

Dari *smartphone*, pengendalian robot lalu diteruskan pada badan robot. Data pengendalian dari *smartphone* tersebut

lalu masuk ke unit *microcontroller* yang lalu mengolahnya untuk menghasilkan sinyal ke *motor driver*. Dari sana lalu didapat sinyal input ke keempat motor yang terpasang di setiap roda robot.

B. Identifikasi Perangkat yang Digunakan

Desain sistem di atas menjadi dasar untuk menentukan perangkat-perangkat yang digunakan untuk membangun robot. Dalam penelitian ini, telah ditentukan perangkat-perangkat yang digunakan sebagai berikut:

1) Smartphone

Dalam penelitian ini, *smartphone* yang digunakan adalah Oppo A1k. Spesifikasi umum dari *smartphone* ini antara lain:

- *Processor* yang digunakan adalah Mediatek MT6762 Helio P22 yang memiliki 8 *core* (Octa-core) dengan kecepatan masing-masing *core* 2.0 GHz yang berarsitektur Cortex-A53
- Sistem operasi menggunakan Android 9.0 (Pie)
- Kamera depan (*selfie*) beresolusi 5 Megapixel (MP) dengan kemampuan merekam video 720p.

Berdasarkan spesifikasi tersebut, *smartphone* ini memiliki kemampuan yang memadai untuk menjalankan tugas-tugas yang diperlukan robot dalam penelitian ini.

2) Arduino Uno

Arduino Uno adalah sebuah *microcontroller board* berbasis ATmega328P [12]. Perangkat ini memiliki 14 pin input/output digital (6 di antaranya dapat digunakan sebagai output PWM), 6 input analog, 16 MHz resonator keramik (CSTCE16M0V53-R0), satu buah koneksi USB, sebuah *power jack*, sebuah ICSP header dan sebuah tombol reset.

Perangkat ini dipilih karena kemampuannya yang beragam, kemudahan dalam memprogram dan penggunaan, serta kemudahan dalam mendapatkannya. ATmega328P sendiri merupakan *microcontroller* 8-bit [13] yang dalam penelitian ini cukup untuk mengatur jalannya motor DC yang terpasang pada robot. Memprogram perangkat Arduino secara umum dapat dilakukan dengan menyambungkan perangkat tersebut ke komputer melalui koneksi USB. Kemudian di dalam komputer, program dibuat dengan *software* khusus yang ditulis dengan bahasa pemrograman tingkat tinggi khusus untuk Arduino yang mirip dengan bahasa C. *Software* yang sering digunakan adalah Arduino IDE. Dalam implementasi di *hardware*, Arduino dapat dihubungkan ke perangkat-perangkat lain melalui pin-pin yang ia miliki. Selain itu, terdapat banyak perangkat *shield* yang dapat dipasang langsung pada Arduino Uno dengan fungsi-fungsi spesifik. Arduino Uno dapat dibeli dengan mudah di negeri ini. Selain itu, Arduino Uno merupakan perangkat yang umum digunakan dalam modul pembelajaran sekolah maupun perguruan tinggi terutama di bidang elektronika.

Dalam penelitian ini, Arduino Uno berfungsi sebagai *microcontroller* robot yang mengendalikan kerja motor DC

(melalui *shield*). Sehingga sinyal pengendali dari *smartphone* lalu diterjemahkan menjadi sinyal yang dapat mengaktifkan motor

3) Four Wheels Car Robot Kit

Dalam penelitian ini, robot yang digunakan dibangun berdasarkan kit robot empat roda. Robot ini memiliki motor DC yang menggerakkan setiap rodanya. Kemudian untuk sasis, kit ini menggunakan material berbahan akrilik yang disatukan dengan mur dan baut. Selain sasis, roda, dan motor, robot juga memerlukan sumber daya. Sumber daya yang digunakan adalah baterai 18650 sebanyak empat buah. Keempat baterai tersebut dipasang pada dua tempat baterai yang masing-masing dapat menampung dua baterai yang terhubung secara paralel.

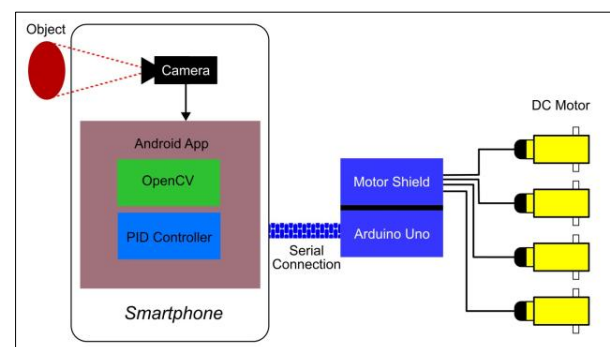
4) L293D Arduino Motor Driver Shield

L293D Arduino Motor Driver Shield adalah komponen yang serba guna dan populer untuk mengendalikan berbagai macam motor listrik dengan Arduino. Komponen ini berfungsi mengendalikan gerak motor listrik berdasarkan sinyal input yang diberikan oleh Arduino.

Komponen ini, sesuai namanya, menggunakan IC L293D *motor driver* untuk menggerakkan motor. *Motor driver* ini merupakan H-Bridge dua jalur yang dapat mengendalikan dua motor DC atau satu motor *stepper*. Di dalam *shield* yang dimaksud, terdapat dua buah *driver* ini sehingga kemampuan mengendalikannya menjadi dua kali lipatnya. Untuk dapat menghubungkan kedua *driver* ini, di dalam *shield* terpasang *shift register* 74HC595 sehingga dapat memperbanyak output sinyal dari empat pin Arduino menjadi delapan input sinyal di kedua *driver*.

Dalam penelitian ini, L293D Arduino Motor Driver Shield digunakan sebagai penggerak utama motor DC dari robot. Hal ini mengingat robot menggunakan *kit* yang memiliki empat roda dengan masing-masing roda digerakkan satu motor DC.

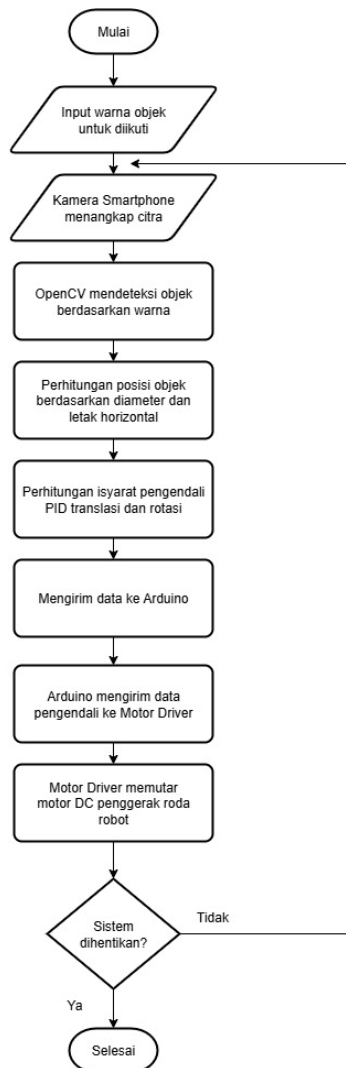
C. Implementasi



Gambar 2. Alur Kerja Sistem Robot

Untuk bisa mengolah citra gambar kamera dan mengolah data pengendali, *smartphone* menggunakan aplikasi yang dibuat dengan *software* Android Studio. Aplikasi ini menggunakan OpenCV, sebuah pustaka *cross-platform* di

bidang Visi Komputer untuk pemrosesan citra secara *real-time* [14]. OpenCV yang digunakan adalah versi 3.4.3.



Gambar 3. Flowchart Sistem Kerja Robot Pengikut Objek Menggunakan Deteksi Warna Berbasis Smartphone Android

Konsep deteksi objek yang digunakan dalam penelitian ini berdasarkan pada salah satu algoritma dalam OpenCV yaitu *Color Blob Detector*. Algoritma ini bertujuan untuk mencari daerah atau area dari suatu citra/gambar yang memiliki kesamaan properti, dalam hal ini adalah warna.

Implementasi dari algoritma ini diawali dengan mengubah *channel* gambar berwarna yang menggunakan ruang warna RGB (Red, Green, Blue) menjadi HSV (Hue, Saturation, Value). Penggunaan ruang warna HSV menyebabkan program dapat dengan lebih mudah mengabaikan perbedaan dalam cahaya atau kontras [15], yang memungkinkan program lebih mudah melakukan pengelompokan. Teknik pengelompokan area menerapkan pendeteksian yang mirip dengan metode *thresholding*. Metode *thresholding* biasa digunakan pada gambar *grayscale* (satu *channel*). Metode ini

bertujuan untuk mengelompokkan *pixel-pixel* gambar berdasarkan satu nilai *threshold*, baik itu *pixel* dengan nilai lebih kecil dari *threshold*, lebih besar dari *threshold*, atau sama dengan *threshold* [16].

Untuk gambar berwarna (tiga *channel*), maka nilai *threshold* ini menjadi satu set *threshold* dengan tiga nilai. Selain itu, teknik pengelompokan sendiri juga berubah. Di sini, terdapat dua set *threshold*, yang disebut nilai minimum dan maksimum. Suatu area di citra/gambar yang memiliki warna yang diinginkan, harus memiliki *pixel* dengan nilai-nilai *channel* di antara kedua set nilai tersebut. Area lain yang tidak memenuhi kriteria tersebut dianggap tidak memiliki warna yang diinginkan.

Setelah didapat pemisahan area dengan warna yang diinginkan, maka proses selanjutnya adalah mencari *contour*. *Contour* adalah garis yang mengelilingi area tepi semua titik *pixel* yang berada di kelompok yang sama. Berdasarkan hasil proses sebelumnya, *contour* ini akan memperlihatkan area-area di mana warna yang diinginkan terkumpul. Proses ini mungkin akan menghasilkan beberapa *contour* dalam setiap citra/gambar. Hal ini karena ada kemungkinan citra/gambar menangkap *error/noise* yang menghasilkan area dengan warna yang sama dengan objek. Bisa juga karena dalam citra/gambar tersebut memang terdapat benda dengan warna yang sama dengan objek.

Dari *contour* hasil *Color Blob Detection* tersebut, maka dapat dicari letak objek dalam citra/gambar. Dalam citra/gambar, objek yang ingin dideteksi akan menghasilkan *contour* dengan area paling luas. Lingkaran yang melingkupi *contour* lalu dibuat, sehingga didapat titik tengah dan radius lingkaran.

Titik tengah lingkaran pelingkup digunakan untuk mencari selisih orientasi robot dibandingkan objek. Jika robot sudah menghadap objek dengan sempurna, maka titik tengah tersebut harus berada di tengah-tengah citra yang ditangkap kamera. Area tengah citra ini merupakan nilai referensi. Jika titik tengah lingkaran objek berada di kanan citra, maka robot harus bergerak memutar sehingga titik tengah itu menjadi di tengah. Hal yang sama juga terjadi jika titik tengah berada di kiri citra, dengan arah putaran yang terbalik. Citra kamera yang ditangkap *smartphone* dalam penelitian ini akan menghasilkan gambar HD, yang berarti memiliki lebar 1280 *pixel*. Karena itu, titik tengahnya di *pixel* ke 640. Dengan menggunakan nilai toleransi sebesar 10 *pixel*, maka nilai referensi area tengah dalam program adalah 630-650 *pixel* diukur dari kiri gambar yang dihasilkan.

Radius lingkaran pelingkup digunakan untuk mencari seberapa jauh jarak objek terhadap robot. Terdapat nilai referensi tertentu yang menunjukkan jarak objek sudah sesuai. Jika radius lingkaran ini lebih kecil dari nilai referensi, maka menunjukkan jarak objek lebih jauh dari nilai yang diinginkan, sehingga robot perlu bergerak maju. Sebaliknya, jika radius lebih besar, maka objek berada terlalu dekat sehingga robot harus bergerak mundur. Nilai referensi radius lingkaran yang digunakan dalam program adalah 140-

160 pixel.

Kedua nilai ini menyebabkan terdapat dua derajat kebebasan (*degree of freedom*) pada robot. Yang pertama adalah gerak translasi posisi robot, dan yang kedua adalah gerak rotasi untuk orientasi robot. Masing-masing gerak tersebut memerlukan pengendali yang berbeda.

Pemrosesan data pengendali dalam aplikasi *smartphone* menggunakan konsep pengendali PID (*proportional, integral, derivative*). Pengendali ini merupakan jenis pengendali umpan balik yang menggabungkan tiga komponen (algoritma) pengendali, yaitu *proportional, integral*, dan *derivative* [17]. Umpan balik berasal dari pembacaan sensor, yang dicari selisihnya dengan nilai referensi atau nilai tujuan pengendalian untuk mendapatkan *error* (*e*). Selisih ini merupakan representasi besarnya kesalahan kondisi sistem dengan kondisi yang diinginkan. Persamaan pengendali PID dapat dituliskan sebagai berikut:

$$u(t) = Kp \cdot e(t) + Ki \int_0^t e(t) dt + Kd \frac{de(t)}{dt} \quad (1)$$

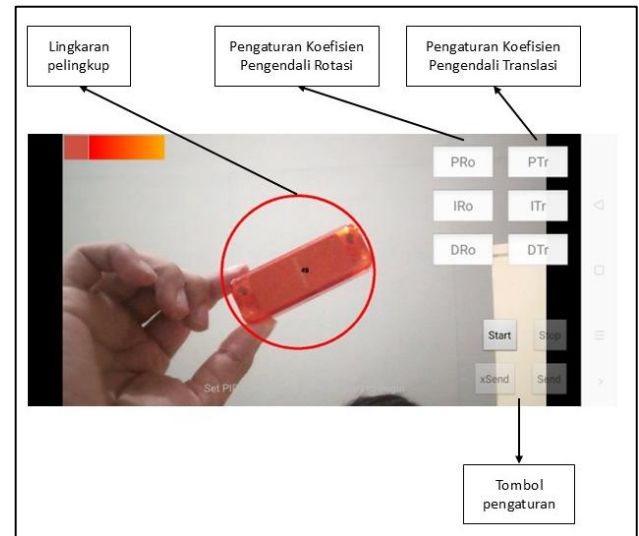
Komponen *proportional* akan mengalikan *error* tersebut dengan suatu nilai tertentu, yang biasa disebut konstanta *Kp*. Komponen *integral* dan *derivative* akan mengintegrasikan dan menurunkan nilai *error* secara kalkulus. Masing-masing dari kedua komponen tersebut kemudian dikalikan dengan suatu konstanta *Ki* dan *Kd*. Hasil pemrosesan dari ketiga komponen tersebut lalu dijumlahkan sehingga mendapatkan data pengendali (*u*). Terdapat dua data pengendali, yaitu data pengendali translasi dan data pengendali rotasi, sesuai dengan derajat kebebasan robot.

Data ini kemudian dikirimkan ke Arduino melalui komunikasi serial dengan perantara kabel USB. Di dalam Arduino, data pengendali translasi dan rotasi lalu digabungkan untuk menghasilkan nilai-nilai kecepatan setiap roda. Dengan menggunakan *library* khusus, nilai-nilai ini lalu mengatur motor melalui L293D Arduino *Motor Driver Shield*. Dengan demikian, proses perhitungan lebih dibebankan kepada *smartphone* dibandingkan Arduino. Hal ini mengingat kemampuan komputasi *smartphone* lebih tinggi dibandingkan Arduino yang bertujuan membangun sistem yang lebih stabil dan responsif.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Pembuatan Program Android

Program dalam penelitian ini memiliki tampilan dan fitur sederhana. Program ini hanya punya satu tampilan yang memperlihatkan hasil tangkapan kamera dan pengaturan-pengaturan yang diperlukan. Gambar 2 memperlihatkan hasil tangkapan layar *smartphone* saat membuka program tersebut.



Gambar 4. Tampilan Program Android

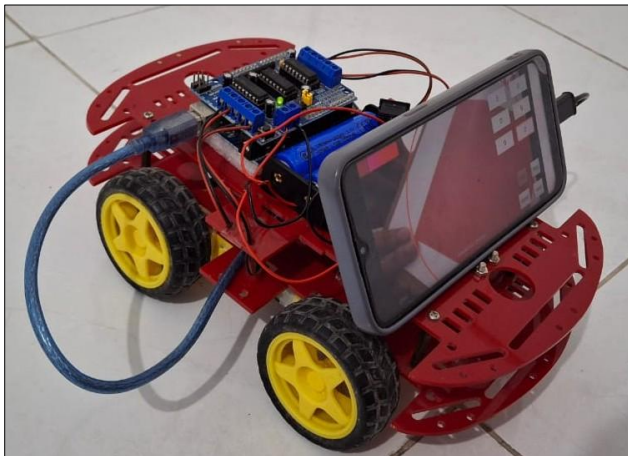
Program bekerja dengan memanfaatkan kamera depan *smartphone*. Saat program dibuka, layar akan menampilkan hasil tangkapan kamera depan secara *real-time*. Pemilihan warna objek yang ingin dideteksi dilakukan dengan menempatkan objek pada area yang dapat ditangkap kamera *smartphone*, lalu gambar objek yang ditampilkan di layar ditekan sehingga program menyimpan data warna yang dimaksud. Program kemudian menampilkan lingkaran di sekeliling objek untuk menunjukkan bahwa program tersebut sudah bisa melakukan proses deteksi.

Di sudut kanan atas tampilan program, terdapat kolom-kolom input yang dibuat dengan elemen 'EditText'. Kolom-kolom tersebut digunakan untuk melakukan pengaturan koefisien-koefisien pengendali. Terdapat total enam input karena terdapat dua jenis pergerakan yang dikendalikan, dan setiap jenis gerakan menggunakan tiga koefisien pengendali.

Di sudut kanan bawah terdapat tombol-tombol yang dibuat dengan elemen 'Button'. Tombol-tombol tersebut digunakan untuk mengendalikan jalannya pengiriman data dari *smartphone* ke Arduino. Tombol 'Start' digunakan untuk mengaktifkan kemampuan pengiriman data. Tombol 'Stop' digunakan untuk menonaktifkan kemampuan pengiriman data. Tombol 'Send' digunakan untuk memulai pengiriman data. Tombol 'xSend' digunakan untuk menghentikan pengiriman data.

B. Perakitan Robot

Perakitan robot dilakukan dengan menggabungkan semua komponen penyusun robot. Gambar di bawah ini menunjukkan robot yang sudah lengkap.

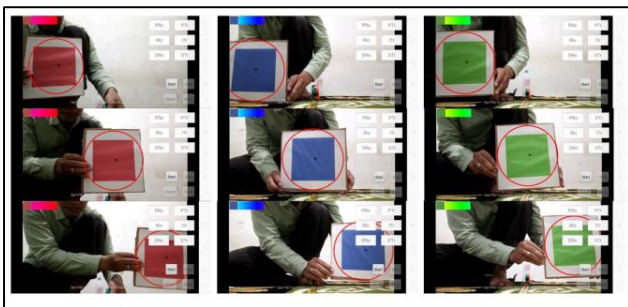


Gambar 5. Robot Pengikut Objek Lengkap dengan Semua Komponen

C. Pengujian Deteksi Objek

Pengujian deteksi objek dilakukan dengan *smartphone* Android yang terlepas dari robot.

Objek yang digunakan untuk menguji adalah kotak berwarna yang dicetak di lembar kertas. Ukuran kotak tersebut adalah lima belas kali lima belas sentimeter. Objek lalu ditempatkan di tempat-tempat yang berbeda untuk menguji bagaimana kemampuan program untuk mendeteksi keberadaan objek. Terdapat tiga warna objek yang digunakan dalam pengujian ini, yaitu merah, biru, dan hijau. Ketiga warna tersebut dipilih berdasarkan cara kerja kamera yang menangkap citra berdasarkan tiga *channel* warna. Dengan menggunakan ketiga warna tersebut, diharapkan kinerja sistem untuk setiap *channel* warna dapat diketahui. Proses pengujian dilakukan dengan merekam layar *smartphone* sehingga didapat periode waktu saat program berhasil memberi lingkaran yang tepat dan tidak. Periode keberhasilan ini kemudian dipersentasekan dengan total waktu pengujian sehingga menghasilkan persentase kinerja pendeteksian objek.



Gambar 6. Pengujian Deteksi Objek Berjarak 50 cm dengan Tiga Warna Berbeda

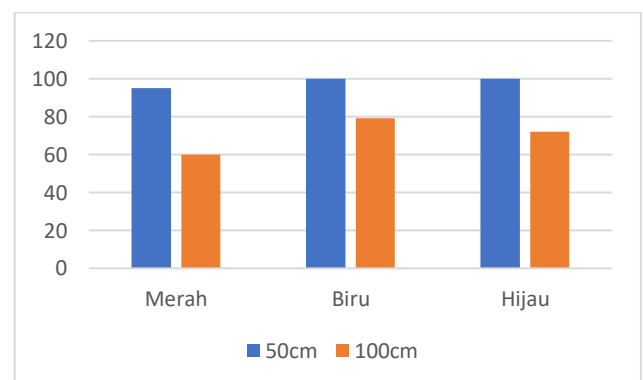
Gambar 4 menunjukkan hasil pengujian deteksi objek dengan jarak 50 sentimeter dari *smartphone*. Objek diubah-ubah posisinya, yaitu di kiri, tengah, dan kanan relatif terhadap *smartphone*. Program menghasilkan persentase

kinerja sebesar 95% untuk pendeteksian objek berwarna biru, kemudian 100% untuk pendeteksian objek berwarna merah dan hijau.



Gambar 7. Pengujian Deteksi Objek Berjarak 100 cm dengan Tiga Warna Berbeda

Gambar 5 menunjukkan hasil pengujian deteksi objek dengan jarak 100 sentimeter dari *smartphone*. Sama seperti pengujian sebelumnya, posisi objek diubah-ubah. Selama pengujian, program tetap mampu menampilkan lingkaran yang sesuai dengan letak objek, tapi konsistensi dan ketepatannya berkurang. Ada beberapa kesempatan lingkaran tidak melingkupi keseluruhan objek, atau lingkaran berada di area yang sama sekali tidak menunjukkan objek. Program menghasilkan persentase kinerja sebesar 60% untuk objek berwarna merah, 79,2% untuk objek berwarna biru, dan 72% untuk objek berwarna hijau. Penurunan kinerja ini terjadi karena permasalahan pengaturan otomatis yang ada di kamera *smartphone* saat terjadi perubahan pencahayaan. Citra objek yang ditangkap kamera menjadi tidak konsisten, menyesuaikan tingkat kecerahan kamera. Program secara keseluruhan memiliki rata-rata persentase kinerja sebesar 84,36%.



Gambar 8. Persentase Kinerja Pendeteksian Objek dari *Smartphone* Android

D. Pengujian Gerak Robot

Pengujian gerak robot menggunakan robot lengkap dengan semua komponennya. Pengujian ini terdiri dari tiga bagian yaitu pengujian gerak translasi, pengujian gerak rotasi, dan pengujian gabungan. Setiap pengujian menggunakan nilai koefisien pengendali yang berbeda-beda

untuk memperlihatkan respons kendali robot. Persentase kinerja merupakan penilaian atas kemampuan robot dalam bergerak sesuai dengan posisi objek. Penilaian ini dilakukan berdasarkan stabilitas dan kecepatan gerak robot. Nilai 0% berarti robot memiliki gerak yang tidak stabil dan lambat, sementara 100% berarti robot dapat bergerak dengan stabil dan cepat.

Pengujian gerak translasi dilakukan dengan mengeset koefisien pengendali rotasi menjadi nol agar kendali rotasi tidak aktif. Koefisien pengendali translasi lalu diubah-ubah nilainya sesuai skenario pengujian. Objek berwarna lalu ditempatkan di depan robot. Objek yang digunakan menggunakan salah satu dari objek warna pada pengujian deteksi objek, karena tidak ada perbedaan hasil di antara ketiga warna. Objek lalu didekatkan dan dijauhkan untuk melihat respons gerak robot. Saat objek didekatkan, maka respons yang diharapkan adalah robot bergerak mundur. Sebaliknya, saat objek dijauhkan maka respons yang diharapkan adalah robot bergerak maju. Sebelum pengujian, dilakukan pengukuran untuk mengetahui jarak objek yang memicu respons robot. Dari hasil pengukuran ini didapat jarak objek kurang dari 55 cm dari robot akan membuat robot bergerak mundur, sedangkan jarak lebih dari 128 cm akan membuat robot bergerak maju mendekat. Tabel 1 memperlihatkan hasil pengujian gerak translasi.

Tabel 1. Hasil Pengujian I Gerak Translasi dengan Berbagai Kombinasi Koefisien Pengendali Translasi

Kp	Ki	Kd	Persentase Kinerja (%)	Keterangan
8	0	1	50	stabil respon tidak cepat
8	1	1	50	osilasi tidak berhenti, respons cepat
8	1	2	50	osilasi tidak berhenti, respons cepat
8	1	3	67	osilasi berhenti setelah mundur, respons cepat
8	1	4	67	osilasi berhenti setelah mundur, respons cepat
8	1	5	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
8	1	6	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
8	1	7	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
8	1	8	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
10	0	0	50	stabil respon tidak cepat
10	0	1	50	stabil respon tidak cepat
10	1	1	50	osilasi tidak berhenti, respons cepat
10	1	2	50	osilasi tidak berhenti, respons cepat
10	1	3	50	osilasi tidak berhenti, respons cepat
10	1	4	67	osilasi berhenti setelah mundur, respons cepat
10	1	5	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat

10	1	6	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
10	1	7	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat
10	1	8	67	osilasi berhenti setelah mundur/maju, respons cepat

Pada hasil pengujian tersebut, penulis menggunakan nilai-nilai koefisien secara acak dengan nilai yang sekecil mungkin. Tujuan dari pengujian ini adalah untuk mengetahui pengaruh dari masing-masing komponen pengendali pada gerak robot. Penggunaan pengendali *Proportional* saja (dengan membuat Ki dan Kd sama dengan nol) atau *Proportional* dan *Derivative* saja (dengan membuat Ki sama dengan nol) memperlihatkan respons gerak robot yang stabil tapi tidak cepat. Dengan menambahkan komponen *Integral*, respons menjadi lebih cepat tapi terjadi osilasi sehingga robot kesulitan untuk berhenti pada posisi yang diharapkan. Dengan meningkatkan nilai koefisien Kd, osilasi berkurang sehingga robot bisa berhenti pada posisi yang tepat setelah maju atau mundur beberapa kali. Selain karena faktor pengendali, osilasi juga terjadi karena program Android terkadang gagal untuk melakukan deteksi objek. Permasalahan pencahayaan pada pengujian deteksi objek sebelumnya kembali terulang pada pengujian gerak ini. Saat hal tersebut terjadi, data pengendali menjadi tidak sesuai dengan keberadaan objek sehingga robot menjadi tidak stabil.

Pada pengujian di atas, motor kesulitan untuk menggerakkan robot dari keadaan diam. Terkadang perlu dorongan dari luar dulu agar robot mulai bisa berjalan. Persentase kinerja yang dihasilkan juga memiliki nilai yang buruk, yaitu di antara 50-67%. Karena itu, dilakukan pengujian kedua dengan meningkatkan nilai Kp dan Kd agar dorongan awal motor menjadi lebih besar.

Tabel 2. Hasil Pengujian II Gerak Translasi dengan Kombinasi Koefisien Pengendali Translasi yang Lebih Besar

Kp	Ki	Kd	Persentase Kinerja (%)	Keterangan
30	0	10	75	Stabil, respons kurang cepat
30	1	10	100	Stabil, respons cepat
20	1	10	42	Kurang stabil, respons kurang cepat

Dengan penggunaan Kp dan Kd yang besar, motor langsung bisa bergerak setiap objek dijauhkan atau didekatkan. Respons juga lebih cepat dibandingkan pada pengujian pertama. Robot juga mampu untuk berhenti pada posisi yang diharapkan. Dalam pengujian ini terkadang masih terdapat permasalahan deteksi objek karena pencahayaan. Jika hal ini terjadi, maka robot kembali tidak stabil dengan gerakan yang tidak menentu.

Terdapat tiga kombinasi koefisien pengendali translasi pada pengujian ini, dengan hasil kombinasi koefisien terbaik adalah Kp = 30, Ki = 1, dan Kd 10. Kombinasi ini membuat robot bergerak dengan stabil dengan respons lebih cepat dibandingkan dua kombinasi yang lainnya. Nilai-nilai

koefisien ini memberikan persentase kinerja sebesar 100%, yang berarti robot sangat baik dalam merespons posisi objek.

Pengujian gerak rotasi hampir sama dengan pengujian translasi. Koefisien pengendali translasi diset nol dan koefisien pengendali rotasi diubah-ubah. Objek yang ditempatkan di depan robot lalu digeser ke kiri dan ke kanan untuk mengamati kemampuan robot dalam mengubah arah orientasi. Pada pengujian ini, digunakan nilai koefisien pengendali rotasi Kp dan Kd yang besar karena robot tidak bisa bergerak sama sekali saat nilai-nilai koefisien tersebut kecil seperti pada pengujian pertama gerak translasi. Tabel 3 memuat hasil pengujian gerak rotasi robot.

Tabel 3. Hasil Pengujian Gerak Rotasi dengan Berbagai Kombinasi Koefisien Pengendali Rotasi

Kp	Ki	Kd	Persentase Kinerja (%)	Keterangan
80	0	10	50	Stabil, respons tidak cepat
80	0	15	17	Kurang stabil, respons tidak cepat
80	1	10	59	Cukup stabil, respons cukup cepat
80	2	10	67	Kurang stabil, respons cepat
75	1	10	84	Cukup stabil, respons cepat
75	2	10	67	Kurang stabil, respons cepat

Pada pengujian rotasi ini, didapat kombinasi nilai koefisien terbaik adalah Kp = 75, Ki = 1, dan Kd = 10. Dengan menggunakan nilai-nilai ini, gerak robot cukup stabil mengikuti objek, dengan respons yang cepat. Dari hasil pengujian ini, juga terlihat bahwa peningkatan nilai Ki bisa meningkatkan respons gerak rotasi, tapi berakibat kestabilan berkurang. Hal ini ditunjukkan dengan gerak robot yang berputar ke kanan dan ke kiri serta sulit berhenti sesuai dengan posisi objek. Permasalahan deteksi objek karena pencahayaan masih terjadi pada pengujian ini. Jika permasalahan ini muncul, maka gerak robot menjadi tidak menentu dan tidak mengikuti objek (antara berputar-putar di tempat atau diam).

Pengujian gerak gabungan dilakukan dengan mengaktifkan pengendali translasi dan rotasi. Objek berwarna kembali ditempatkan di depan robot. Kemudian, objek tersebut digerakkan menjauh dari robot dengan jalur tertentu yang merupakan kombinasi jalur lurus dan satu belokan untuk mengetahui kemampuan robot untuk mengikuti objek. Hasil pengujian gerak gabungan termuat dalam Tabel 4.

Skenario pengujian awalnya menggunakan nilai-nilai koefisien terbaik dari dua pengujian sebelumnya. Namun, penggunaan nilai-nilai ini menimbulkan gerak yang tidak stabil dari robot. Gerak robot menjadi tidak terarah karena respons berbeloknya terlalu cepat. Karena itu, pada skenario selanjutnya, nilai Kp pada pengendali rotasi dikurangi hampir setengahnya. Dengan menggunakan nilai tersebut, gerak robot menjadi lebih stabil sehingga robot bisa mengikuti pergerakan objek sesuai jalur yang telah ditentukan. Nilai-nilai koefisien terbaik pada pengujian ini adalah Kp = 20, Ki = 1, dan Kd = 10 untuk pengendali

translasi serta Kp = 40, Ki = 1, dan Kd = 10 untuk pengendali rotasi. Nilai-nilai ini membuat pergerakan robot cukup stabil dengan respons maju dan mundur serta gerak membelok yang cukup cepat. Sifat pergerakan ini memungkinkan robot bisa mengikuti gerak objek dari awal sampai akhir jalur yang telah ditentukan. Pada pengujian ini, permasalahan pencahayaan tetap muncul yang menyebabkan hilangnya kemampuan deteksi objek pada program *smartphone* Android. Sama seperti pengujian sebelumnya, jika hal ini terjadi maka gerak robot menjadi tidak menentu dan tidak bisa mengikuti objek sama sekali.

Tabel 4. Hasil Pengujian Gerak Gabungan dengan Berbagai Kombinasi Koefisien Pengendali

Koefisien Translasi			Koefisien Rotasi			Persentase Kinerja (%)	Keterangan
Kp	Ki	Kd	Kp	Ki	Kd		
30	1	10	75	0	10	0	Tidak stabil, tidak terarah
30	1	10	40	1	10	68	Cukup stabil, respons membelok cepat hingga terlihat terpisah dengan gerak maju
30	1	10	40	1	10	59	Cukup stabil, respons membelok kurang cepat
20	1	10	40	1	10	84	Cukup stabil, respons membelok cepat

IV. KESIMPULAN

Pada penelitian ini, robot telah diuji secara menyeluruh mulai dari deteksi objek, gerak translasi, gerak rotasi, dan gerak gabungan. Program *smartphone* Android telah mampu melakukan deteksi objek berdasarkan warna serta mampu memproses isyarat pengendali berdasarkan konsep pengendali PID. Robot mampu bergerak sesuai isyarat yang diberikan, sesuai dengan jenis pengujian. Secara keseluruhan, sistem robot yang telah dikembangkan berhasil mengikuti objek berwarna dengan menggunakan nilai-nilai koefisien pengendali PID yang tepat.

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa *smartphone* Android memiliki kemampuan yang memadai untuk digunakan dalam sistem robot. Kamera dalam *smartphone* sudah memiliki kinerja yang baik dalam mendeteksi objek. Selanjutnya, unit pemrosesan dalam *smartphone* sudah dapat secara andal mengolah isyarat pengendali secara *real-time*. Karena itu, implementasi sistem dan algoritma robotika dapat dikembangkan dan diuji dengan lebih mudah dengan

sistem robot dengan *smartphone* tanpa memerlukan komponen robot yang sulit didapat.

Terdapat beberapa kekurangan robot pengikut objek di penelitian ini. Kekurangan utama dari sistem robot adalah kemampuan deteksi objek yang sangat dipengaruhi oleh pencahayaan. Jika kondisi pencahayaan berubah, maka program Android kehilangan kemampuan untuk mendeteksi objek. Hal ini sangat membatasi kemampuan robot dalam mengikuti objek. Kekurangan lain dari robot ini adalah perlunya mencari nilai-nilai koefisien pengendali yang tepat. Terdapat total enam nilai koefisien yang perlu diperhatikan agar gerak robot menjadi stabil dan responsif.

Perlu adanya penelitian lanjutan untuk mengatasi masalah pencahayaan dan sistem kendali yang rumit tersebut. Selain itu, penelitian ini juga belum menggunakan fitur-fitur yang potensial dalam *smartphone* Android seperti sensor akselerasi, sensor orientasi, sensor *proximity*, GPS, serta konektivitas *Bluetooth*. Diharapkan, terdapat penelitian-penelitian lanjutan untuk mengimplementasikan fitur-fitur tersebut, baik robot pengikut objek maupun jenis robot lain.

REFERENSI

- [1] D. R. Palupi, D. Syaury, and A. S. Budi, "Object Following Robot berbasis Pembacaan Jarak menggunakan Metode PID Controller," *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, vol. 4, no. 7, Art. no. 7, Aug. 2020.
- [2] R. Wahrini, "Development of Color-Based Object Follower Robot Using Pixy 2 Camera and Arduino to Support Robotics Practice Learning," *Jurnal Edukasi Elektro*, vol. 7, no. 2, Art. no. 2, Nov. 2023, doi: 10.21831/jee.v7i2.64413.
- [3] M. I. Ramadhan, D. Purwanto, H. Kusuma, and H. Kusuma, "Sistem Pengikut Manusia pada Robot Servis Menggunakan Model YOLO dan Kamera Stereo," *JTITS*, vol. 12, no. 3, pp. A194–A201, Dec. 2023, doi: 10.12962/j23373539.v12i3.118869.
- [4] A. Sadiyoko, A. Fahrusa, and T. M. Rahayu, "Perancangan Robot Pengikut berbasis Visual dan Kontrol Logika Samar," *ELKOMIKA: Jurnal Teknik Energi Elektrik, Teknik Telekomunikasi, & Teknik Elektronika*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Jan. 2024, doi: 10.26760/elkomika.v12i1.106.
- [5] M. Amangesti, D. Puspita, S. Sulaeman, and M. C. Rijal, "Rancang Bangun Trolis Pengikut Objek Otomatis," *SNTEL*, vol. 9, no. 1, Art. no. 1, Nov. 2023.
- [6] B. P. S. Indonesia, "Proporsi Individu yang Menguasai/Memiliki Telepon Genggam Menurut Provinsi - Tabel Statistik." Accessed: Aug. 06, 2024. [Online]. Available: <https://www.bps.go.id/id/statistics-table/2/MTIyMSMy/proporsi-individu-yang-menguasai-memiliki-telepon-genggam-menurut-provinsi.html>
- [7] W. A. Salah, A. A. Sneh, and A. A. A. Shabaneh, "Smartphone Sensor-based Development and Implementation of a Remotely Controlled Robot Arm," *Journal of Robotics and Control (JRC)*, vol. 5, no. 4, Art. no. 4, Jun. 2024, doi: 10.18196/jrc.v5i4.21987.
- [8] Y. S. Handayani and Y. Mardiana, "KENDALI ROBOT BLUETOOTH DENGAN SMARTPHONE ANDROID BERBASIS ARDUINO UNO," *ILKOM Jurnal Ilmiah*, vol. 10, no. 3, Art. no. 3, Dec. 2018, doi: 10.33096/ilkom.v10i3.363.331-337.
- [9] W. Purbowaskito and C.-H. Hsu, "Sistem Kendali PID untuk Pengendalian Kecepatan Motor Penggerak Unmanned Ground Vehicle untuk Aplikasi Industri Pertanian," *JURNAL INFOTEL*, vol. 9, no. 4, Art. no. 4, Nov. 2017, doi: 10.20895/infotel.v9i4.253.
- [10] M. Lamatenggo, I. Wiranto, and W. Ridwan, "Perancangan Balancing Robot Beroda Dua Dengan Metode Pengendali PID Berbasis Arduino Nano," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 2, no. 2, Art. no. 2, Jul. 2020, doi: 10.37905/jjee.v2i2.6906.
- [11] F. F. W. Amaral, J. Subur, and S. Suryadhi, "Implementasi Metode PID dan Inverse Kinematics pada Pergerakan Robot Berkaki Enam (Hexapod)," *SinarFe7*, vol. 6, no. 1, Art. no. 1, Sep. 2024.
- [12] "Arduino Uno Rev3," Arduino Official Store. Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://store.arduino.cc/products/arduino-uno-rev3>
- [13] "ATMEGA328P." Accessed: Apr. 14, 2025. [Online]. Available: <https://www.microchip.com/en-us/product/atmega328p>
- [14] Bharat, "From Healthcare to Automotive: Exploring OpenCV Applications in 2025," OpenCV. Accessed: Apr. 15, 2025. [Online]. Available: <https://opencv.org/blog/opencv-applications-in-2023/>
- [15] A. A. M. Suradi, M. F. Rasyid, M. Mushaf, and M. Rizal, "Deteksi Tingkat Kematangan Buah Apel Menggunakan Segmentasi Ruang Warna HSV," *SISITI: Seminar Ilmiah Sistem Informasi dan Teknologi Informasi*, vol. 12, no. 1, Art. no. 1, Feb. 2023, doi: 10.36774/sisiti.v12i1.1163.
- [16] S. Jardim, J. António, and C. Mora, "Image thresholding approaches for medical image segmentation - short literature review," *Procedia Computer Science*, vol. 219, pp. 1485–1492, Jan. 2023, doi: 10.1016/j.procs.2023.01.439.
- [17] R. P. Borase, D. K. Maghade, S. Y. Sondkar, and S. N. Pawar, "A review of PID control, tuning methods and applications," *Int. J. Dynam. Control*, vol. 9, no. 2, pp. 818–827, Jun. 2021, doi: 10.1007/s40435-020-00665-4.

Implementasi Metode PXP dan Prinsip SOLID untuk Integrasi Modul KIA pada SIMPUSWANGI Banyuwangi

Implementation of PXP Method and SOLID Principles for KIA Module Integration in SIMPUSWANGI Banyuwangi

Wahyu Sahri Rhamadhan¹, Jaki Daniyudin², Daviq Rizqi Zawwa El Sofya³,
Lukman Hakim⁴, Lutfi Hakim⁵

Jurusan Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{2,3}

Email: sahri2827@gmail.com¹, jakidaniyudin90@gmail.com², daviqrizqi0708@gmail.com³, lukmanhakim@poliwangi.ac.id⁴,
lutfi@poliwangi.ac.id⁵

Abstract

The Community Health Center Management Information System (SIMPUSWANGI) in Banyuwangi Regency plays a role in improving the quality of health services through patient data management and data reporting. However, this system faces challenges in integrating Maternal and Child Health (MCH) services with the Ministry of Health's SATU SEHAT platform, due to non-standardized services and difficulties in adapting the system to new regulations. To overcome this problem, this study developed the SIMPUSWANGI MCH Service module using the Personal Extreme Programming (PXP) method and SOLID design principles. This study aims to design and implement the integration of the module into the SATU SEHAT platform and ensure that the module built is flexible and easy to maintain. The PXP methodology was chosen to bring developers closer to user needs, so that the developed module is able to respond quickly to changes. The development results show the success of the implementation through 3 iterations with a User Acceptance Testing (UAT) acceptance rate of 94.67%, which is categorized as very good in each iteration. The application of SOLID principles to 192 classes resulted in a system with high flexibility (instability value of 0.97, Distance from Main Sequence 0) and an average Maintainability index of 89.28. These findings confirm that the application of SOLID keeps the architecture modular and maintainable, while PXP supports rapid and adaptive iteration. The combination of both has proven effective in producing a system that is responsive to changing needs and regulations without disrupting running services.

Keywords: SOLID Design Principle, PXP, KIA, SIMPUS, Flexibility, Maintainability

Abstrak

Sistem Informasi Manajemen Puskesmas (SIMPUSWANGI) di Kabupaten Banyuwangi berperan meningkatkan kualitas pelayanan kesehatan melalui pengelolaan data pasien dan pelaporan data. Namun, sistem ini menghadapi tantangan dalam integrasi pelayanan Kesehatan Ibu dan Anak (KIA) dengan platform SATU SEHAT milik Kementerian Kesehatan, yang diakibatkan oleh ketidakstandaran pelayanan dan kesulitan dalam menyesuaikan sistem dengan regulasi baru. Dalam mengatasi permasalahan ini, penelitian ini mengembangkan modul Pelayanan KIA SIMPUSWANGI menggunakan metode *Personal Extreme Programming* (PXP) dan prinsip desain SOLID. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengimplementasikan integrasi modul ke dalam platform SATU SEHAT, serta memastikan modul yang dibangun memiliki sifat fleksibel, dan mudah dipelihara. Metodologi PXP dipilih untuk mendekatkan pengembang dengan kebutuhan pengguna, sehingga modul yang dikembangkan mampu merespon perubahan dengan cepat. Hasil pengembangan menunjukkan keberhasilan implementasi melalui 3 iterasi dengan tingkat penerimaan *User Acceptance Testing* (UAT) 94.67% masuk dalam kategori *very good* pada setiap iterasi. Penerapan prinsip SOLID pada 192 kelas menghasilkan sistem dengan fleksibilitas tinggi (nilai *instability* 0.97, *Distance from Main Sequence* 0) dan *Maintainability index* rata-rata 89,28. Temuan ini menegaskan bahwa penerapan SOLID menjaga arsitektur tetap modular dan terpelihara, sementara PXP mendukung iterasi cepat dan adaptif. Kombinasi keduanya terbukti efektif dalam menghasilkan sistem yang responsif terhadap perubahan kebutuhan maupun regulasi tanpa mengganggu layanan yang berjalan.

Kata Kunci: SOLID Design Principle, PXP, KIA, SIMPUS, Flexibility, Maintainability

I. PENDAHULUAN

Sistem Informasi Manajemen Puskesmas Banyuwangi (SIMPUSWANGI) merupakan platform untuk digitalisasi pelayanan kesehatan berbasis web di Kabupaten Banyuwangi [1]. Sistem ini digunakan untuk pengolahan data pasien, pelayanan, dan laporan kesehatan. Namun dalam implementasinya sistem menghadapi tantangan, khususnya pada pengelolaan pelayanan Kesehatan Ibu dan Anak (KIA) dalam proses integrasi dan perubahan regulasi [2].

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara peneliti mendapatkan bahwa aplikasi SIMPUSWANGI pada pelayanan Kesehatan Ibu dan Anak (KIA) masih belum terstandarisasi dengan platform Satu Sehat milik Kementerian Kesehatan (Kemenkes). Akibatnya, sistem belum dapat dilakukan integrasi data pelayanan kesehatan. Satu Sehat merupakan platform data center integrasi data kesehatan (HIE: *Health Information Exchange*) dinaungi oleh Kementerian Kesehatan. Melalui peraturan Permenkes No.24 Tahun 2022 tentang RME [3], dampak tidak sinkronisasi data baik dari layanan kesehatan daerah dan terpusat menjadikan sulitnya akses RME (Rekam Medis Elektronik) dengan instansi kesehatan diluar maupun didalam wilayah banyuwangi. Tidak hanya itu, SIMPUSWANGI mengalami kesulitan proses adaptasi jika adanya perubahan dan membutuhkan banyak waktu dan pembaruan karena perubahan berdampak pada layanan lain yang seharusnya tidak terpengaruh.

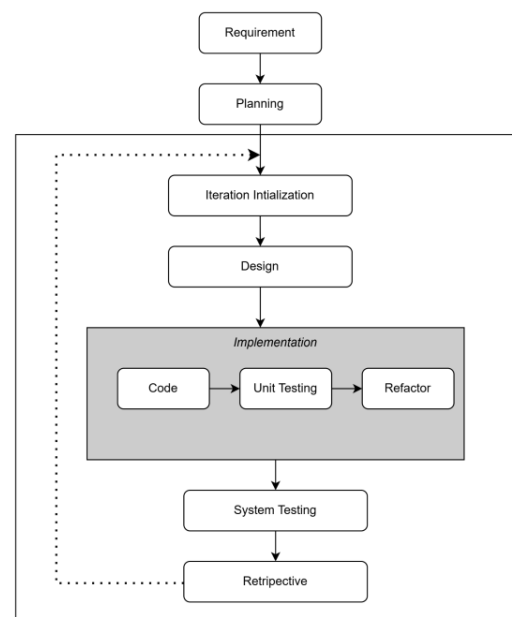
Sebagai solusi, penelitian ini dilakukan pengembangan modul pelayanan KIA (Kesehatan Ibu dan Anak) yang terdiri dari beberapa pelayanan seperti ANC (*Antenatal Care*), INC (*Intranatal Care*), PNC (*Postnatal Care*), *Neonatus*, Tumbuh Kembang, Kematian *Maternal-Perinatal* [4]. Dimana fokus pengembangan ini menciptakan sistem SIMPUSWANGI terintegrasi dan adaptif dengan perubahan regulasi tanpa mempengaruhi sistem yang berjalan. Beberapa desain untuk menciptakan sistem terstruktur dan adaptif seperti DRY (*Don't Repeat Yourself*), GRASP (*General Responsibility Assignment Software Patterns*), dan SOLID *Design Principles*. Menurut pencipta prinsip DRY [5], DRY menekankan penghindaran duplikasi kode untuk meningkatkan efisiensi dan tidak berulang. Selanjutnya untuk prinsip GRASP menurut penelitian [6] menekankan desain perangkat lunak berorientasi objek untuk membimbing penugasan tanggung jawab kepada kelas-kelas, lebih berfokus pada pola alokasi tanggung jawab dan tidak sepenuhnya membahas fleksibilitas pengembangan jangka panjang. Sebaliknya, SOLID *Design Principles* menurut [7] prinsip membangun sistem yang *flexible*, *maintainable*, independent modul tidak saling bergantung satu sama lain. Tidak hanya itu, untuk manajemen dalam proses pengembangan, ada beberapa cara metode pengembangan seperti *Waterfall*, XP, dan PXP. Metode *Waterfall* menurut [8] merupakan model linier siklus hidup teratur berurutan dari atas dan bawah, namun metode ini sulit adanya perubahan sistem *flexible* dan bersifat kaku. Selanjutnya metode XP (*Extreme Programming*) menurut [9], pendekatan pengembangan lincah dan adaptif mampu

mengakomodasi perubahan, namun dibutuhkan sebuah manajemen dan komunikasi tim yang kuat. Sebaliknya, metode PXP (*Personal Extreme Programming*) PXP pengembangan dari XP dikhususkan untuk tim pengembang kecil dan tetap menerapkan prinsip-prinsip XP [10].

Berdasarkan masalah dan pertimbangan tersebut, Peneliti mengembangkan Aplikasi KIA menggunakan SOLID sebagai desain code dan PXP sebagai manajemen project pengembangan [11]. Dimana penerapan prinsip SOLID dapat mengurangi resiko ketergantungan modul, dan memungkinkan perubahan tanpa mempengaruhi bagian lain dari sistem [12]. penerapan PXP menghasilkan sistem yang efisien, adaptif, dan feedback yang cepat terhadap perubahan kebutuhan pengguna dengan tim kecil [12]. Kombinasi, SOLID mengedepankan desain code *independent*, *flexible* dan *maintainable* dengan PXP bersifat mampu mengakomodasi perubahan dengan cepat kebutuhan cepat tanpa mempengaruhi sistem yang lain.

Tujuan dari penelitian ini untuk mengembangkan sistem terintegrasi sesuai dengan kebutuhan user/regulasi dan *flexible* dengan adanya perubahan serta *maintainable* untuk masa depan. Dengan hal itu, diharapkan hasil penelitian dapat mengintegrasikan platform SIMPUSWANGI dengan sistem yang dapat beradaptasi dan mudah dirawat dengan adanya perubahan regulasi.

II. METODE PENELITIAN



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan menggunakan metode PXP (*Personal Extreme Programming*), dilaksanakan beberapa tahap seperti yang ditunjukkan pada **Gambar 1** Tahapan yang dilakukan terdiri dari:

A. Requirements

Peneliti menggunakan pendekatan kualitatif dengan

metode observasi dan wawancara. Lokasi penelitian di Dinas Kesehatan Banyuwangi, Puskesmas. Subjek penelitian meliputi tenaga kesehatan yang terlibat pada pelayanan KIA dengan jumlah 5 orang (1 Dokter, 2 Bidan, 1 Simpuser, 1 Admin SIMPUS). Instrumen penelitian digunakan yaitu pedoman observasi dan pertanyaan wawancara semi terstruktur. Prosedur penelitian dilakukan beberapa tahap: (1) studi literatur terkait standar KIA dan integrasi Satu Sehat; (2) observasi bagaimana *flow* bisnis pelayanan KIA pada SIMPUSWANGI; (3) wawancara dengan responden untuk menggali kebutuhan dan kendala; (4) melakukan analisis data dengan penarikan kesimpulan dengan format user story (sebagai siapa?, kebutuhannya?, harapannya?). Penyusunan *user story* dilakukan validasi kembali kepada pengguna untuk memastikan kesesuaian dengan kebutuhan nyata pengguna.

B. Planning

Peneliti merumuskan fungsionalitas berdasarkan hasil user story diperoleh pada tahap *requirement*. Setiap user story dilakukan identifikasi pada aspek prioritas dengan mempertimbangkan perspektif *Product Owner (PO)* dan *Developer Team (DT)*. Dari sisi PO, penentuan skala prioritas menggunakan metode MoSCoW menentukan prioritas berdasarkan nilai bisnis [13]. Dimana metode ini cocok dengan metodologi PXP untuk client persyaratan belum jelas dan membutuhkan pengembangan cepat dengan membagi 4 kriteria bobot penilaian [14], yaitu

Tabel 1. Klasifikasi bobot MoSCoW

Kategori MoSCoW	Bobot
<i>Must Have</i>	4
<i>Should Have</i>	3
<i>Could Have</i>	2
<i>Won't Have</i>	0

Dari sisi DT mengukur dengan menggunakan *Story point* dimana memperhatikan 4 dimensi penilaian seperti pada Tabel 1, yaitu upaya pengerjaan, estimasi waktu, tingkat kompleksitas, serta potensi resiko, yaitu.

Tabel 2. Klasifikasi Story Point

Story Point	Upaya	Waktu	Kompleksitas	Risiko
1	<i>Minimum</i>	<i>Beberapa menit</i>	<i>Rendah</i>	<i>Tidak ada</i>
2	<i>Minimum</i>	<i>Beberapa Jam</i>	<i>Rendah</i>	<i>Tidak ada</i>
3	<i>Sedang</i>	<i>Satu hari</i>	<i>Rendah</i>	<i>Rendah</i>
5	<i>Sedang</i>	<i>Beberapa hari</i>	<i>Sedang</i>	<i>Sedang</i>
8	<i>Besar</i>	<i>Satu Minggu</i>	<i>Sedang</i>	<i>Sedang</i>

Prosedur penilaian dilakukan secara sistematis melalui diskusi kelompok. Peneliti bersama PO mengklasifikasikan setiap user story ke dalam kategori MoSCoW serta secara kolektif dimana DT memberikan nilai *Story Point* berdasarkan tabel 2. Dalam menentukan Total Urgensi (TU) menggunakan formula, yaitu

$$TU = \text{Bobot MoSCoW} \times \text{Story Point} \quad (2.1)$$

Hasil perhitungan TU disusun dalam tabel prioritas yang menampilkan urutan kebutuhan dari tingkat urgensi tinggi ke rendah. Dimana ya prioritas utama akan untuk dilakukan diawal, sedangkan kebutuhan dengan nilai rendah dapat ditunda atau dieliminasi.

C. Interaction Initialization

Tahap ini menentukan setiap iterasi dimulai, dimana menentukan aspek *user story* yang sudah di list pada tahap *planning*. Proses ini mencakup pemilihan kebutuhan berdasarkan nilai urgensi, penyusunan rencana teknis, serta persiapan eksekusi. Dengan begitu proses pengembangan berjalan terarah dan terukur.

D. Design

Design dilakukan berdasarkan daftar *user story* yang terpilih pada setiap iterasi. Proses desain dilaksanakan melalui tiga langkah utama. Pertama, penyusunan Use Case Diagram menggunakan pendekatan pemodelan UML untuk menggambarkan interaksi setiap aktor (petugas kesehatan). Kedua, penyusunan Entity Relationship Diagram (ERD) untuk merancang struktur data, relasi antar entitas, dan alur penyimpanan informasi sesuai kebutuhan modul. Ketiga pembuatan desain antarmuka dalam bentuk mockup menggunakan tools desain salah satunya Figma, untuk memvisualisasikan tata letak tampilan dan alur interaksi pengguna. Hasil desain divalidasi bersama pengguna untuk memastikan kesesuaian dengan perencanaan yang ditetapkan.

E. Implementation

E.1 Coding

Pada tahap coding, peneliti mengimplementasikan hasil desain ke dalam kode aplikasi dengan menerapkan prinsip SOLID agar struktur program terjaga dan mudah dikembangkan. Prinsip Single Responsibility Principle (SRP) dimana memastikan setiap kelas hanya memiliki satu tanggung jawab spesifik. Merancang Principle Open/Closed Principle (OCP) dengan sistem terbuka untuk pengembangan namun tetap stabil terhadap perubahan inti. Menjaga Liskov Substitution Principle (LSP) dengan memastikan kelas turunan dapat menggantikan kelas induk tanpa mengubah perilaku sistem. Mewujudkan Interface Segregation Principle (ISP) dengan memisahkan antarmuka agar hanya berisi fungsi relevan sesuai kebutuhan. Menerapkan konsep Dependency Inversion Principles (DIP) dengan membangun ketergantungan modul tingkat tinggi pada abstraksi, bukan pada detail implementasi.

E.2 Unit Testing

Peneliti melakukan pengujian unit menggunakan PHPUnit untuk memastikan modul berjalan sesuai dengan alur bisnis yang diharapkan dan meminimalisir bug sistem. Proses dilakukan dengan menentukan modul kritis yang diuji (input data pasien, validasi form, laporan pengujian), menyusun test case sesuai skenario valid dan tidak valid.

E.3 Code Refactor

Tahap ini dilakukan setelah unit testing menemukan kegagalan pada modul. Peneliti meninjau ulang bagian kode yang bermasalah, memperbaiki logika tidak sesuai, kemudian menjalankan kembali pengujian hingga perbaikan dipastikan berhasil tanpa menimbulkan bug baru. Proses ini dilakukan secara iteratif hingga seluruh tes case yang disusun sesuai kebutuhan sistem.

F. System testing

Tahap ini dilakukan untuk melakukan pengujian terhadap alur sistem utama. Dimana peneliti menggunakan pendekatan UAT (*User Acceptance Testing*) untuk mengukur penerimaan dari user terkait aplikasi yang dibuat [15]. Proses dilakukan dengan menyusun instrumen kuesioner berbasis skala Likert (1-5), membagikan kuesioner kepada tenaga kesehatan dan staf SIMPUS yang menjadi responden dari setiap iterasi yang sudah dirancang pada tahap planning untuk validasi kesesuaian hasil dengan expectasi user. Untuk menentukan nilai klasifikasi UAT, peneliti menggunakan skala likert seperti pada Tabel 3 berikut:

Tabel 3. Interpretasi Score UAT

Score	Interpretasi
5	Sangat Sesuai
4	Sesuai
3	Cukup Sesuai
2	Tidak Sesuai
1	Sangat Tidak Sesuai

Adapun range skor kriteria dari skala *likert* untuk menentukan klasifikasi skala UAT yang dihasilkan dengan presentasi penerimaan user. Pada tabel 4 berikut merupakan klasifikasi skoring kriteria.

Tabel 4. Interpretasi Klasifikasi Kriteria

% Total Score	Interpretasi
$0\% \leq x \leq 36\%$	<i>Bad</i>
$36\% \leq x \leq 52\%$	<i>Little Bad</i>
$52\% \leq x \leq 68\%$	<i>Medium</i>
$68\% \leq x \leq 84\%$	<i>Good</i>
$84\% \leq x \leq 100\%$	<i>Very Good</i>

G. Retrospective

Sebagai tahap penutup setiap iterasi. Peneliti membandingkan waktu penyelesaian aktual dengan estimasi yang telah direncanakan pada tahap planning, mencatat selisih yang terjadi, serta menganalisis penyebab perbedaan. Hasil analisis digunakan sebagai umpan balik untuk memperbaiki perencanaan dan pelaksanaan pada iterasi berikutnya.

H. Flexibility dan Maintainability

Pengujian *flexibility* dan *Maintainability* untuk menentukan seberapa *flexibility* sistem yang dibuat dengan melakukan pengukuran kualitas *Software Quality Metrics* dan menilai seberapa *Maintainability Software* dimana menentukan tingkat kesulitan dalam melakukan proses perawatan dan pengembangan dimasa akan datang. Proses

pengujian ini menggunakan *tools* yaitu *PHPMetrics* dimana aplikasi ini menilai *metric*, dimana mengukur pada tingkat kompleksitas aplikasi, ketergantungan *code*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

A.1 Requirements

Berdasarkan hasil studi literatur, peneliti mengidentifikasi standar pelayanan KIA dibagi menjadi modul pengiriman (*Fast Healthcare Interoperability Resources*) FHIR. Namun, hasil observasi di lapangan memperlihatkan belum tersedianya kebutuhan pemenuhan standar FHIR pada SIMPUSWANGI. Hal ini diperkuat dari proses wawancara semi-terstruktur dengan enam responden (3 Staff KIA, 2 Staff Puskesmas, dan 1 Staf pengembang) sehingga diperoleh sejumlah kebutuhan pengguna yang dianalisis dengan pendekatan user story, Rekap kebutuhan dirangkum pada tabel 5 sebagai dasar pengembangan sistem.

Tabel 5. User Story

Kode	Pengguna	Kebutuhan
US-001	Staff dan Kepala KIA	Dukungan untuk layanan ANC, INC, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang, Laporan Kematian
US-002	Staff dan Kepala KIA	Klasifikasi pelayanan pemeriksaan (obstetri, subjektif, objektif)
US-003	Tim IT	Sistem modular dan fleksibel terhadap regulasi
US-004	Tim IT	Service Integrasi Rest API FHIR
US-005	Petugas KIA	Pencatatan Sub Pelayanan record layanan
US-006	Tim IT	Validasi otomatis pada setiap form
US-007	Semua Pengguna	Notifikasi status kirim data (berhasil/gagal)
US-008	Staf dan Kepala KIA	Input USG otomatis berdasarkan trimester
US-009	Staf dan Kepala KIA	Target BB otomatis berdasarkan IMT
US-010	Staf dan Kepala KIA	Status lila otomatis 10
US-011	Staf dan Kepala KIA	Status berat badan bayi otomatis

A.2 Planning

Tabel 6 berikut merupakan hasil planning dilakukan peneliti dapat membuat daftar iterasi tingkat prioritas menggunakan pendekatan *MosCow*, dan *Story Point*:

Tabel 6. Klasifikasi Story Point

Iterasi	Kategori Fitur	Jumlah User Story	Average Mos Cow	Average Story Point	Average rag e TU	Average Estim asi
1	Pengembangan Fitur KIA (ANC, INC, Kematian/Perinatal, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang	20	4	5	20	4 hari

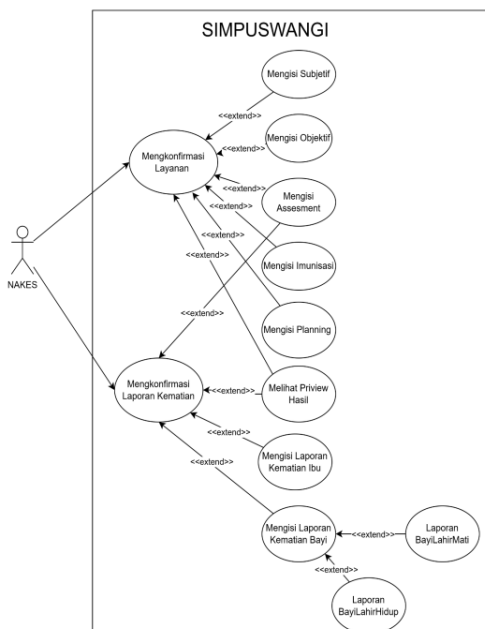
2.	Integrasi Resource Satu Sehat (ANC, INC, Kematian Maternal/Perinatal, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang)	9	4	5	20	3 hari
3	Validasi, Notifikasi, dan Konfirmasi Pengiriman	4	3	3	9	3 hari

A.3 Interaction Initialization

Proses pengembangan dilakukan secara interaktif yang mencakup desain, implementasi, pengujian, dan retrospective. Berdasarkan tabel 2.4 tahap planning, dimana peneliti berfokus pada pengembangan fitur layanan KIA (ANC, INC, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang, serta pencatatan Kematian Maternal dan Perinatal) dengan jumlah user story 20 dan estimasi rata penyelesaian 4 hari. Selanjutnya pada iterasi ke dua menitikberatkan pada integrasi resource Satu Sehat dengan 9 user story dan estimasi rata 3 hari. Iterasi ketiga difokuskan pada pengembangan validasi otomatis, notifikasi, dan konfirmasi pengiriman resource dengan 4 user story dan estimasi rata 3 hari. Dengan demikian, setiap iterasi dijalankan secara terstruktur dengan pembagian jelas.

A.3 Design

A.3.2 Use Case



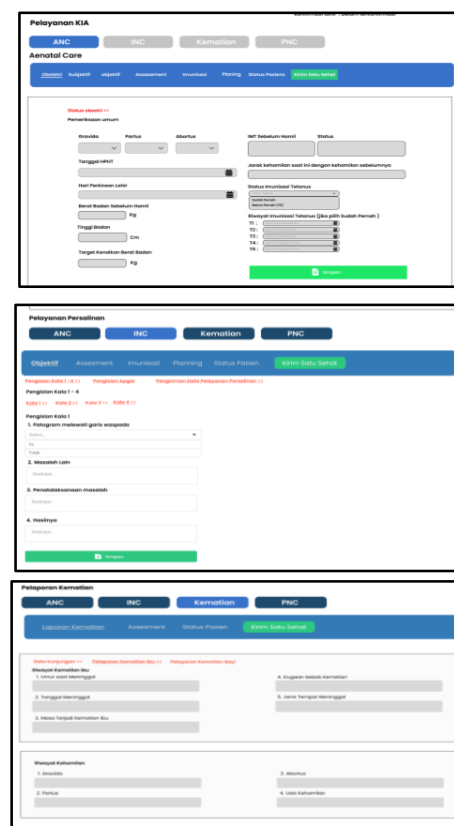
Gambar 2. Use Case

Pada pengembangan aplikasi kesehatan ibu dan anak pada SIMPUSWANGI akan mendeskripsikan hubungan pada aktivitas pelayanan pada modul ANC, INC, Pelaporan Kematian Maternal dan Perinatal, dimana actor Nakes /

Petugas Kesehatan melakukan pelayanan, mulai dari pemeriksaan Objektif, Subjektif, Assessment. Dengan hal itu peneliti dapat menentukan alur bisnis dan kebutuhan berdasarkan diagram *Use Case*. Berikut diagram *use case* dapat dilihat pada **Gambar 2**.

A.3.1 MockUp

Dalam proses mendesain peneliti membagi layanan menjadi 6 fitur utama, yaitu ANC (Ibu hamil), INC (Ibu bersalin), PNC (Ibu nifas), *Neonatus* (Bayi 1 bulan), Tumbuh Kembang (Bayi umur 2 bulan sampai umur 5 tahun). Menghasilkan beberapa tampilan yang sudah disesuaikan dengan kebutuhan pengguna proses desain melibatkan user dalam setiap iterasi.

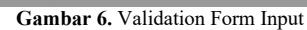


Gambar 3. Mockup Pelayanan KIA

A.3.3 PDM (Physical Data Model)

Dimana peneliti mendesain entitas seperti *master_layanan* sebagai list fitur utama aplikasi seperti ANC, INC, Kematian, Tumbuh Kembang, PNC, Neonatus, *master_sub_layanan* sebagai layanan dibawah fitur utama, kemudian ada *record_pemeriksaan* digunakan untuk record dalam 1 periode pasien layanan terdiri dari banyak loket kunjungan. kemudian *record_pemeriksaan_detail* yaitu record pasien setiap kali kunjungan di puskesmas terdiri dari berbagai macam pelayanan dilakukan dengan loket yang sama. *hasil_pemeriksaan* yaitu sebagai tempat untuk menaruh semua hasil pemeriksaan dari semua layanan.

Selanjutnya pada iterasi kedua berfokus pada proses integrasi Satu Sehat, dengan mengimplementasikan resource FHIR seperti *Encounter*, *EpisodeOfCare*, *Condition*. Pada iterasi ketiga berfokus pada pengembangan sistem notifikasi, dan validasi untuk menghindari adanya human error, dan sebagai response interaktif untuk pengguna mengetahui status pengiriman berhasil atau masih ada kendala. Berikut tampilan pada iterasi ketiga pengembangan validation dan notifikasi satu sehat sistem.



Pada iterasi pertama peneliti berfokus pada pengembangan aplikasi untuk menyiapkan sistem yang sesuai dengan kebutuhan proses integrasi Satu Sehat. Dimana membangun sistem ANC, INC, Kematian *Maternal dan Perinatal*, PNC, *Neonatus*, Tumbuh Kembang. Gambar 5 berikut tampilan hasil pengembangan.

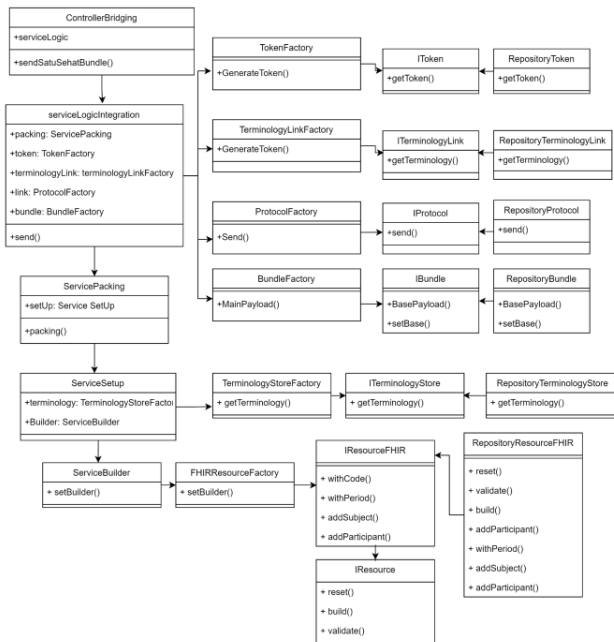


Gambar 8. Service KIA

Penerapan arsitektur SOLID pada service KIA akan dibagi menjadi 5 aturan desain. Pertama SRP dimana dapat kita lihat setiap arsitektur yang dikembangkan terfokus pada satu tugas, seperti *KIANavigation* berfokus pada proses navigasi pelayanan utama, *KIASubNavigation* berfokus pada proses sub-pelayanan utama. *KIAStore* berfokus pada proses validasi dan penyimpanan data pada database. Kedua OCP dimana sistem dikembangkan bisa dikembangkan tanpa harus merubah code yang ada, dengan menambahkan sebuah repository baru dan menerapkan sistem bongkar pasang, tanpa mempengaruhi code yang lain. Ketiga LSP *Interface* akan menjadi parent dapat diturunkan pada child yaitu *repository* dan *repository* dapat menggantikan parent *Interface* untuk eksekusi lebih detail seperti *ILayanan* dapat digantikan oleh *RepositoryLayanan* sebagai spesifikasi detail logiknya. Keempat ISP dimana peneliti tidak memaksakan method yang tidak diperlukan oleh *repository* sehingga dapat kita lihat ada banyak interface digunakan, seperti *ILayanan*, *ISubLayanan*, *IStore*, *IRequest* menyesuaikan dengan tugas yang diemban.

Kelima ada DIP dimana penerapan modul *high level* tidak boleh bergantung pada modul *low level* namun pada abstraksi, dapat kita lihat *KIANavigation*, *KIASubNavigation*, *KIAStore* bergantung pada abstraksi seperti *INavigation*, *ISubNavigation*, *IStore*.

B.1.2 Arsitektur SOLID Service Satu Sehat



Gambar 9. Satu Sehat Service

Penerapan service akan dibagi menjadi beberapa tugas, konsep solid SRP dapat kita lihat diatas *ControllerBridging*, *ServiceLogicIntegration*, *ServicePacking*, *ServiceSetup* dimana class program yang mengatur lalu lintas logic data. Konsep OCP terlihat pada *TokenRepository*, *RepositoryTerminologyLink*, *RepositoryProtocol*,

RepositoryBundle, *RepositoryTerminologyStore*, *RepositoryResourceFHIR* yang dapat dikembangkan lagi tanpa mempengaruhi code antar repository. Penerapan LSP dapat dilihat hubungan antara interface sebagai class utama dan kelas turunannya *repository* dapat menggantikan interface dalam penerapan lebih detail. Penerapan ISP dapat dilihat dari *Interface* yang terkoordinir berdasarkan aspek yang difokuskan *InterfaceToken*, *InterfaceTerminologyLink*, *InterfaceProtocol*, *InterfaceBundle*, *InterfaceTerminologyStore*, dan *InterfaceTerminologyStore*. Penerapan DIP kelas *high level* modul tidak bergantung pada *low level* modul, seperti halnya modul *serviceLogicIntegration* bergantung pada abstraksi yaitu *IToken*.

B.1.4 Unit Testing

Dalam memastikan setiap unit dapat berjalan dengan baik sesuai *flow* bisnis yang diharapkan, serta mencegah dan mendeteksi *bug*, dengan hal itu peneliti melakukan pengujian *unit testing*, berikut rekap pengujian *unit testing* pada iterasi pertama, kedua, dan ketiga.

Tabel 7. Rekap Pengujian Unit Testing

Iterasi	Fokus Pengujian	Total Skenario Uji	Status Pengujian
1	KIA (ANC, INC, Kematian Maternal dan Perinatal, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang)	33	Lulus (100%)
2	Integrasi Satu Sehat (Payload Generation dan Bundling)	11	Lulus (100%)
3	Validasi Form dan Notifikasi Pengiriman Data	21	Lulus (100%)

Pengembangan sistem Kesehatan Ibu dan Anak (KIA) dilaksanakan melalui 3 iterasi. Dimana setiap fase mencapai 100% kelulusan pengujian unit. Pada iterasi pertama, ada 33 skenario pengujian pada fitur inti KIA (ANC, INC, Kematian Maternal/Perinatal, PNC, Tumbuh Kembang, Neonatus). Pada iterasi kedua ada 11 skenario pengujian untuk memverifikasi payload dan *bundling resource* pada integrasi platform Satu Sehat. Pada iterasi ketiga, terdapat 21 skenario meningkatkan kualitas data melalui validasi *form* dan notifikasi pengiriman data. Hasil keseluruhan menunjukkan keberhasilan pengembangan sistem yang functional, terintegrasi, terhindar dari adanya bug sistem baik dari sisi backend maupun interaksi dengan pengguna.

A.1.5 System Testing

Pada proses *system testing* peneliti menggunakan 2 responden sebagai penerima dari sisi stakeholder, yaitu 1 orang sebagai pegawai KIA dan 1 orang merupakan developer Simpungswangi. Berikut rekap hasil UAT selama 3 iterasi.

Tabel 8. Rekap Pengujian Penerimaan UAT

Iterasi	Fokus Pengujian	Total Skenario Penerimaan	Status Pengujian
1	UAT Fitur Layanan KIA ANC, INC, Kematian Maternal-Perinatal	3	96,67%
2	UAT Integrasi data satu sehat (Encounter dan Condition)	3	93,33%
3	UAT validasi form, Notifikasi, dan input otomatis berbasis indikator	10	94%
Total		16	94,67%

Berdasarkan hasil keseluruhan, dari total 16 skenario UAT yang dilakukan selama 3 iterasi dengan menggunakan 2 responden. Sistem yang dibuat mendapatkan nilai penerimaan sudah sangat bagus, dimana pada iterasi pertama nilai penerimaan sebesar 96,67%, pada iterasi kedua mendapatkan 93,33%, dan selanjutnya pada iterasi ketiga mendapatkan 94%. Dengan hasil rata total mendapatkan kategori *Very Good* pada angka 94,67%, rata - rata dari stakeholder berada penerimaan SS (Sangat Sesuai) dan S (Sesuai).

A.1.6 Retrospective

Pada tahap *retrospective* dilakukan perhitungan estimasi dan hasil realisasi untuk menentukan performa kinerja dan manajemen waktu dengan deadline yang sudah ditentukan diawal. Berikut rekap hasil *retrospective* yang dilakukan selama 3 iterasi.

Tabel 9. Rekap Retrospective

Iterasi	Jumlah User Story	Rata-rata Estimasi	Rata-rata Realisasi	Selisih
1	22	4 hari	3 hari	1 hari lebih cepat
2	10	2.5 hari	2.4 hari	0.1 hari lebih cepat
3	8	2.4 hari	2.4 hari	sesuai estimasi

Berdasarkan hasil *retrospective* dari 3 iterasi, dimana peneliti developer menunjukan kinerja yang cukup efisien terutama pada iterasi 1 (Fitur KIA), dimana mayoritas *user story* dengan estimasi 4-5 hari berhasil diselesaikan hanya dalam 3-4 hari, menunjukan percepatan rata - rata 1,1 hari serta iterasi 1 memiliki performa cukup baik. Pada iterasi kedua (Integrasi Satu Sehat) juga menunjukkan efisiensi dengan rata - rata realisasi 2,4 hari dari estimasi lebih cepat 0.1 hari. Pada iterasi ketiga sesuai estimasi dan realisasi tepat waktu dalam stabilitas proses kerja.

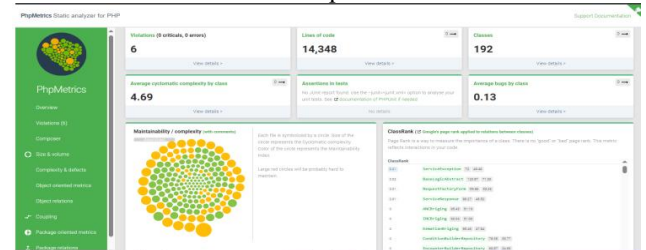
A.2 Pengujian Sistem Flexible dan Maintainable

Pengujian *Flexible* dan *Maintainable* dilakukan untuk menentukan seberapa flexible mudah adanya perubahan dan perawatan dimasa akan datang pada sebuah arsitektur

aplikasi. Dengan menggunakan *PHPMetrics* dalam menganalisis code dari aspek kompleksitas, *cohesion*, *coupling*, dan *violation* (deteksi bug dan kompleksitas). Proses menjalankan pengukuran menjalan perintah terminal seperti berikut.

```
phpmetrics --report-html=myreport.html
./<<[nama folder app]>>
```

Dengan menjalankan perintah diatas *PHPMetrics* akan membuatkan sebuah report *console* dan web dari hasil analisis. Berikut untuk hasil report dari *PHPMetrics*.



Gambar 10. Satu Sehat Service

Berikut hasil report *console* *PHPMetrics*.

LOC	
Lines of code	14348
Logical Lines of code	8609
Comment Lines of code	5739
Average volume	389.87
Average comment weight	40.14
Average intelligent content	40.14
Logical Lines of code by class	45
Logical Lines of code by method	12
Object oriented programming	
Classes	192
Interface	25
Methods	697
Methods by class	3.63
Lack of cohesion of methods	1.5
Coupling	
Average afferent coupling	0.67
Average efferent coupling	1.83
Average instability	0.97
Depth of Inheritance Tree	1.02
Package	
Packages	1
Average classes per package	221
Average distance	0
Average incoming class dependencies	0
Average outgoing class dependencies	0
Average incoming package dependencies	0
Average outgoing package dependencies	0
Complexity	
Average Cyclomatic complexity by class	4.69
Average Weighted method count by class	7.32
Average Relative system complexity	45.04
Average Difficulty	5.1
Bugs	
Average bugs by class	0.13
Average defects by class (Kan)	0.37
Violations	
Critical	0
Error	0
Warning	6
Information	0

A.2.1 Pengujian Flexibility

Pengujian untuk menentukan nilai *Flexibility* sebagai dasar perhitungan untuk membangun sistem dengan membandingkan 2 parameter dari Robert C Martin

(*Instability* dan *distance*) [16]. Berikut hasil analisis report yang dihasilkan *PHPMetrics*.

- Nilai rata - rata *Instability* dari report yang dihasilkan *phpmetrics* dengan pengujian 192 class yaitu 0.97 menunjukkan secara tidak langsung, bahwa modul program memiliki potensi tinggi untuk diubah tanpa menyebabkan efek berantai yang parah pada modul lain.
- Nilai rata - rata *Distance* sebesar 0 adalah hasil yang sangat ideal dalam kerangka Robert C Martin. Dimana secara rata - rata implementasi arsitektur modul yang tidak stabil dengan begitu arsitektur memiliki *flexible* dan terstruktur dengan baik.
- Rata - rata *Ca* 0,67 dan *Ce* 1,83 menunjukkan kopling relatif rendah pada tingkat kelas mendukung adanya kemandirian modul pada setiap code program.
- Kompleksitas rata *Cyclomatic Complexity* per kelas sebesar 4,59 menunjukkan kompleksitas kode rendah, memfasilitasi pemahaman dan pemeliharaan, sehingga meningkatkan *flexibility* pada aplikasi dikembangkan.

A.2.3 Pengujian Maintainability

Pengujian untuk menentukan nilai MI (*Maintainability Index*) sebagai dasar perhitungan untuk membangun sistem yang mendukung *Maintainability* [16]. Tabel 10 berikut merupakan hasil pengujian dengan menggunakan tools *PHPMetrics*.

Tabel 10. *Maintainability Index* report *PHPMetrics*

Value of Maintainability Index	Jumlah Class Indication	Classification
MI < 65	0	Low Maintainability
MI 65-84	61	Maintainability Status
MI > 85	131	High Maintainability Status
Average: 89,28	Total : 192	High Maintainability Status

Berdasarkan hasil dari 192 kelas hasil pengembangan sebagai variabel pengujian untuk menentukan nilai *maintainability* indeks dari aplikasi, ditemukan 131 kelas masuk dalam kategori *High Maintainability Status* dengan index (MI > 85), sedangkan 61 kelas sisanya masuk dalam kategori *Maintainability Status* dengan index (MI 64-84). Tidak hanya itu, didapatkan rata *Maintainability Index* dari 192 kelas yang diuji memiliki nilai 89,28 yang masuk dalam kategori *High Maintainability Status*.

B. Pembahasan

Pengembangan sistem pelayanan KIA dilakukan melalui tiga iterasi dengan metode pengembangan *Personal Extreme Programing (PXP)*. Setiap iterasi berhasil menyelesaikan pengujian dengan kelulusan 100%, mencakup fitur layanan ANC, INC, PNC, Neonatus, Tumbuh Kembang, serta Kematian Maternal dan Perinatal. Hasil pengujian UAT yang dilakukan dengan 2 responden menunjukkan tingkat penerimaan rata-rata 94,67% dalam kategori *Very Good*. Tidak hanya itu, dari sisi arsitektur sistem, pengujian

sampling 192 kelas kode yang dihasilkan menggunakan *PHPMetrics* menunjukkan nilai *Instability* 0,97 dan *Distance* 0, menunjukkan sistem *flexible* dan modular. Dari sisi *maintainability* sistem mendapatkan rata-rata 89,28 menunjukkan sistem mudah dipelihara. Nilai *coupling* yang rendah serta kompleksitas kode yang terkendali turut mendukung kualitas sistem.

Hasil penelitian ini selaras dengan tujuan penelitian yaitu mengembangkan sistem pelayanan KIA yang terintegrasi sesuai regulasi nasional, dan *flexible* dengan adanya perubahan serta *maintainable* untuk masa depan. Hal ini dapat dilihat sistem berhasil dirancang menyesuaikan regulasi nasional pada resource FHIR (Ecounter, Condition, Episode of Care) Satu Sehat milik Kementerian Kesehatan. Selain itu, Berdasarkan hasil pengujian *PHPMetrics* menunjukkan bahwa sistem memiliki tingkat modularitas dan fleksibilitas yang tinggi. Temuan ini sejalan dengan kajian teori yang menegaskan bahwa DRY berkontribusi pada efisiensi dan KISS menekankan kesederhanaan, namun keduanya memiliki keterbatasan pada aplikasi kompleks. Demikian pula, metode Waterfall dinilai kaku terhadap perubahan, sementara XP lebih adaptif tetapi menuntut koordinasi tim yang *intensif*. Dalam penelitian ini, kombinasi SOLID dan PXP terbukti lebih relevan karena mampu mendukung modularitas, fleksibilitas, dan iterasi cepat. Kondisi ini menjadi bukti kemampuan adaptasi sistem terhadap perubahan, serta memastikan proses pengembangan berkelanjutan dapat dilakukan tanpa menimbulkan gangguan pada layanan yang telah berjalan. Penerapan prinsip SOLID yang dipadukan dengan metode PXP membentuk dasar pengembangan yang stabil sekaligus adaptif. Melalui kombinasi ini, sistem pelayanan KIA berhasil diwujudkan sesuai regulasi nasional dan tetap siap menghadapi perubahan kebutuhan di masa depan.

Penelitian ini memiliki keterbatasan dalam jumlah responden uji pada *User Acceptance Test (UAT)* hanya melibatkan 2 subjek responden dan pengujian dilakukan dalam lingkungan terbatas. Penerapan *resource* FHIR Satu Sehat hanya fokus pada pelayanan KIA belum dapat mengcover case lain. Tidak hanya itu, belum ada sistem spesifik untuk memonitoring dan laporan layanan KIA. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melakukan uji coba dengan cakupan lingkungan yang lebih luas, penerapan *resource* FHIR pada case lain.

IV. KESIMPULAN

Peneliti berhasil mengembangkan pada pelayanan KIA (Kesehatan Ibu dan Anak) menggunakan pendekatan PXP dan menerapkan SOLID Design Principle dalam tiga iterasi, hal ini dibuktikan dengan UAT mencapai 94,67% kategori *very Good*. Tidak hanya itu, penerapan prinsip SOLID memberikan dampak cukup baik terhadap fleksibilitas dan *maintainability* sistem, dengan pengujian terhadap 192 kelas menggunakan *PhpMetrics* menunjukkan arsitektur yang

stabil (*Distance* = 0), *flexibility* (*Instability* = 0.97), serta mudah dipelihara (*Maintainability Index* rata-rata = 89,28). Penerapan prinsip desain SOLID dipadukan dengan metode PXP menjadi dasar penting dalam penelitian ini. SOLID menjaga arsitektur tetap modular, stabil, dan mudah dipelihara, sedangkan PXP memungkinkan iterasi pengembangan yang cepat dan fleksibel. Keterpaduan keduanya menghasilkan pendekatan pengembangan yang responsif terhadap perubahan kebutuhan maupun regulasi, tanpa mengorbankan kualitas arsitektur. Melalui pendekatan ini, sistem pelayanan KIA berhasil dikembangkan sesuai regulasi nasional serta siap menghadapi dinamika pelayanan kesehatan di masa depan. Pada penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada uji coba pada lingkungan yang lebih luas, melengkapi penerapan resource FHIR yang lebih lengkap untuk layanan case lain. Tidak hanya itu, menerapkan prinsip SOLID secara konsisten untuk menjaga kualitas dan fleksibilitas sistem dalam jangka panjang.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti mengucapkan terimakasih kepada Dinas Kesehatan Kabupaten Banyuwangi atas dukungan, kolaborasi, dan izin yang diberikan selama proses penelitian ini berlangsung. Besar harapan penelitian ini dapat memberikan manfaat langsung bagi Dinas Kesehatan, meningkatkan efisiensi pencatatan dan pelaporan pelayanan KIA melalui sistem SIMPUSWANGI yang dapat terintegrasi dengan SATU SEHAT. Ucapan terimakasih juga disampaikan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi dan prodi Teknologi Rekayasa Perangkat Lunak (TRPL) telah membimbing dari sisi akademi untuk mendukung terlaksananya penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Indonesia, Kementerian Kesehatan, Keputusan Menteri Kesehatan Nomor 128/Menkes/SK/II/2004 tentang Kebijakan Dasar Puskesmas, Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2004
- [2] E. T. T.P. Tukan, L. Rizqolloh, and R. Dwi Anggraynie, "ANALISIS PENGGUNAAN APLIKASI SIMPUS DENGAN METODE TAM (TECHNOLOGY ACCEPTANCE MODEL) DI PUSKESMAS LAMPER TENGAH," *Med. TRADA*, vol. 4, no. 1, 2023, doi: 10.59485/jtemp.v4i1.29
- [3] Indonesia, Kementerian Kesehatan, Peraturan Menteri Kesehatan Republik Indonesia Nomor 24 Tahun 2022 tentang Rekam Medis Elektronik, Jakarta: Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2022
- [4] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (n.d.). Dokumentasi Satu Sehat Interoperability. SATUSEHAT. Diakses pada 30 Oktober 2024, dari <https://satusehat.kemkes.go.id/platform/docs>
- [5] V. Sarcar, "Use the DRY Principle," in *Simple and Efficient Programming with C#*, 2023. doi: 10.1007/978-1-4842-8737-8_5.
- [6] N. Jali, D. Greer, and P. Hanna, "Class Responsibility Assignment (CRA) for Use Case Specification to Sequence Diagrams (UC2SD)," in *2014 8th Malaysian Software Engineering Conference, MySEC 2014*, 2014. doi: 10.1109/MySec.2014.6985982
- [7] A. P. Wibawa, M. Diantoro, I. Idris, A. Purnomo, and N. C. Kurniawan, "Pengembangan Sistem Informasi Pengelolaan Konferensi Internasional Universitas Negeri Malang dengan Menggunakan Metode Waterfall," *J. Teknol. Sist. Inf. dan Apl.*, vol. 7, no. 1, pp. 352–361, 2024, doi: 10.32493/jtsi.v7i1.34974
- [8] R. Martin, "Design principles and design patterns," *Object Mentor*, no. c, pp. 1–34, 2000, [Online]. Available: [http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ctf20/dphil_2005/Photos/Principles](http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ctf20/dphil_2005/Photos/Principles_and_Patterns.pdf)

- [_and_Patterns.pdf](http://www.cogs.susx.ac.uk/users/ctf20/dphil_2005/Photos/Principles_and_Patterns.pdf)%5Cnhttp://scm0329.googlecode.com/svn-history/r78/trunk/book/Principles_and_Patterns.pdf
- [9] J. R. Coyanda, N. Ariati, H. Sunardi, and K. G. K. Ghazali, "Sistem Informasi Ekspedisi Barang Pada PT. New Power Global Energy Dengan Menggunakan Metode Extreme Programming," *J. Ilm. Inform. Glob.*, vol. 13, no. 2, 2022, doi: 10.36982/jiig.v13i2.2295
- [10] G. E. Iyawa, "Personal extreme programming: Exploring developers' adoption," in *26th Americas Conference on Information Systems, AMCIS 2020*, 2020
- [11] F. Darmawan, M. Ihsan Alfani Putera, and S. R. Natasia, "Rancang Bangun Sistem Informasi Pengelolaan Surat Menggunakan Metode Personal Extreme Programming (Studi Kasus: Kelurahan Sepinggan)," *SPECTA J. Technol.*, vol. 6, no. 1, 2022, doi: 10.35718/specta.v6i1.700
- [12] Larman, C. (2004). *Applying UML and Patterns: An Introduction to Object-Oriented Analysis and Design and Iterative Development*. Analysis (p. 736)
- [13] E. Miranda, "Moscov Rules: A Quantitative Exposé," in *Lecture Notes in Business Information Processing*, 2022. doi: 10.1007/978-3-031-08169-9_2
- [14] F. Ardiansyah, "Personal Extreme Programming Dengan Penentuan Prioritas Moscow," *UMM Institutional Repos.*, no. July, 2018.
- [15] R. Setyadi, A. A. Rahman, and T. Anwar, "Evaluation of The Orthopedic Hospital Website 's Performance Using User Acceptance Testing," vol. 8, no. 1, pp. 65–70, 2025, doi: 10.15408/aism.v8i1.42951
- [16] *Clean Code: A Handbook of Agile Software Craftsmanship*. (2009). Kybernetes, 38(6), 1035–1035. <https://doi.org/10.1108/03684920910973252>

Metode Personal Extreme Programming pada Pengembangan Sistem Rekam Medis Elektronik Klinik Gigi

Implementation of Personal Extreme Programming in the Development of an Electronic Medical Record System for Dental Clinics

Dianni Yusuf¹, Farizqi Panduardi², Mohammad Rashel Arrizki³, Sepyan Purnama Kristanto⁴, Agus Priyo Utomo⁵

Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{2,3}

Email: dianniyusuf@poliwangi.ac.id¹, farizqi@poliwangi.ac.id², mohammadrashel99@gmail.com³, sepyan@poliwangi.ac.id⁴, agusup@poliwangi.ac.id⁵

Abstract

Resource limitations, costs, time estimates and changing requirements are some of the important factors that must be considered in the small-scale software development stage. This research aims to develop a web-based Medical Records System (MRS) to accelerate the registration and storage of patient medical records. The software development method used is Personal Extreme Programming (PXP), which assists individual developers in building systems that are responsive to changing user needs. The PXP stages include requirements and planning, iteration initialization, design, implementation, system testing, and a retrospective. The requirement planning stage is represented by 8 user stories. There are 4 iterations in the development process with an estimated development time of 38 days. The system was designed using wireframe, implemented using the Laravel framework, and tested using Unit Testing and User Acceptance Testing (UAT). Test results showed that the system was well received by 10 users, with average UAT scores of Very Good for patients, doctors and clinic administrator. The system development time was 8 days faster because the PXP method minimized system development documentation. So, it can be concluded that the PXP method can be a solution for individual developers in developing small-scale clinical systems.

Keywords: *Electronic Medical Records, Dental Clinics, Personal Extreme Programming*

Abstrak

Keterbatasan sumber daya, biaya, estimasi waktu dan perubahan kebutuhan merupakan beberapa faktor penting yang harus diperhatikan dalam tahap pengembangan perangkat lunak skala kecil. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan Sistem Rekam Medis (RME) berbasis web untuk mempercepat proses pendaftaran dan pengelolaan rekam medis pasien. Metode pengembangan perangkat lunak yang digunakan adalah *Personal Extreme Programming (PXP)* yang membantu pengembangan individu dalam membangun sistem yang responsif terhadap perubahan kebutuhan pengguna. Tahapan PXP meliputi *requirement and planning, iteration initialization, design, implementation, system testing, dan retrospective*. Pada tahap perencanaan kebutuhan direpresentasikan dengan 8 *user stories*. Terdapat 4 iterasi pada proses pengembangan dengan estimasi waktu pengembangan 38 hari. Perancangan sistem menggunakan desain wireframe, implementasi dengan framework laravel, dan pengujian menggunakan *unit testing* dan *User Acceptance Testing (UAT)*. Hasil uji menunjukkan bahwa sistem diterima dengan baik oleh 10 pengguna, dengan skor rata-rata UAT kategori *Sangat Baik* untuk pasien, dokter dan admin klinik. Keseluruhan waktu pengembangan sistem lebih cepat 8 hari dikarenakan metode PXP meminimalisir dokumentasi pengerjaan sistem. Sehingga dapat disimpulkan bahwa metode PXP dapat menjadi solusi pengembang individu dalam pengembangan sistem klinik skala kecil.

Kata Kunci: *Sistem Rekam Medis Elektronik, Klinik Gigi, Personal Extreme Programming*

I. PENDAHULUAN

Kesehatan merupakan salah satu komponen penting dalam kehidupan manusia yang berpengaruh besar terhadap kualitas hidup seseorang. Di Indonesia, layanan kesehatan semakin berkembang seiring bertambahnya kebutuhan masyarakat akan pelayanan yang cepat dan berkualitas. Klinik swasta, termasuk klinik gigi, memiliki peran penting dalam memenuhi kebutuhan kesehatan masyarakat. Di

Kabupaten Banyuwangi, terdapat 91 klinik swasta dokter gigi yang tersebar di berbagai wilayah, memberikan akses layanan yang lebih mudah bagi penduduk setempat [1]. Menurut [2] Rekam medis adalah dokumen yang berisi tentang catatan dan data penting pasien yang berkaitan dengan identitas, hasil anamnesa dan pemeriksaan fisik, dan catatan segala kegiatan para tenaga kesehatan terhadap pasien yang telah diperiksa dan mendapat pelayanan

kesehatan di fasilitas kesehatan pada waktu ke waktu, baik melalui rawat jalan ataupun rawat inap. Dalam konteks klinik gigi, rekam medis gigi memiliki peran yang lebih spesifik untuk mencatat riwayat kesehatan gigi pasien, termasuk diagnosa, prosedur yang dilakukan, dan perkembangan kondisi gigi pasien dari waktu ke waktu. Sesuai dengan peraturan yang ditetapkan oleh Kementerian Kesehatan Republik Indonesia [3] yang mewajibkan seluruh fasilitas kesehatan, untuk mengimplementasikan rekam medis elektronik (RME). RME adalah dokumen digital yang mencatat identitas pasien, pemeriksaan, pengobatan, tindakan, serta layanan lain yang diberikan kepada pasien. Dokumen RME juga dapat dimanfaatkan untuk laporan epidemiologi, perhitungan biaya layanan, dan keperluan penelitian medis [4]. Dengan adanya RME akan mempercepat proses pencarian dan pengelolaan data karena berbasis digital [5].

Beberapa penelitian terkait menunjukkan bahwa penerapan rekam medis elektronik dapat membawa manfaat bagi klinik, baik dalam hal kelancaran operasional maupun efisiensi sumber daya. Sebagai contoh, di Klinik *Kidz Dental Care*, sistem rekam medis elektronik yang terintegrasi dengan sistem penunjang medis berhasil meningkatkan kelancaran kerja sehari-hari [6]. Penelitian lainnya yang dilakukan [7] menunjukkan bahwa sistem rekam medis elektronik tidak hanya mengurangi jumlah tenaga kerja yang dibutuhkan, tetapi juga menghemat waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan rekam medis. Dibandingkan dengan rekam medis manual, penggunaan rekam medis elektronik dapat mengurangi waktu hingga 48 jam, dengan pengurangan faktor kelelahan yang signifikan. Sementara itu [8] telah mengembangkan sistem tata kelola rekam medis elektronik berbasis *Agile framework Extreme Programming (XP)* untuk pelayanan pasien di ruang gawat darurat (IGD). Fitur utama meliputi tata kelola pendaftaran, *triase*, laboratorium, rawat inap, dan resep obat. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa sistem tersebut dapat meningkatkan fleksibilitas dan responsivitas dalam pengelolaan data pasien, sehingga mempermudah tenaga medis. Terdapat penelitian yang mengimplementasikan metode PXP dalam domain layanan kesehatan [9] sehingga memudahkan pengembang tunggal dalam menyelesaikan permasalahan skala kecil.

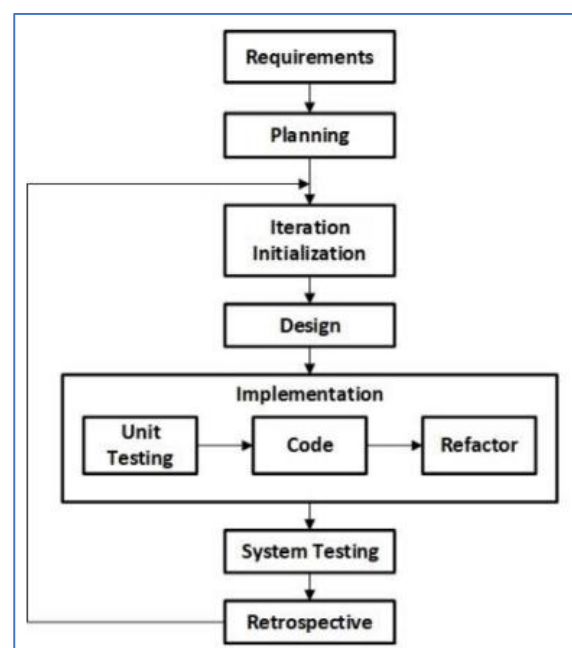
Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, sebagian besar penelitian menggunakan metode *agile* atau XP, namun masih sedikit yang menggunakan metode yang sesuai untuk menyelesaikan proyek skala kecil, dengan keterbatasan sumber daya pengembang, estimasi biaya maupun batas waktu pengembangan. Tujuan dari penelitian ini adalah menggunakan sebuah metode yang memudahkan pengembang individu dalam menyelesaikan permasalahan yang telah diuraikan sebelumnya, terutama pada klinik gigi untuk proses pendaftaran dan rekam medis.

II. METODE PENELITIAN

Metode yang digunakan untuk pengembangan sistem adalah *Personal Extreme Programming (PXP)*. Metode ini merupakan salah satu metode turunan dari Metode *Extreme*

Programming (XP). *Extreme Programming (XP)* merupakan salah satu metodologi pengembangan perangkat lunak yang termasuk dalam kelompok *Agile*, yang menekankan pada respon cepat terhadap perubahan dan interaksi antara pengembang dan pengguna. Metode XP berfokus pada pengembangan perangkat lunak yang fleksibel, dengan mengutamakan kepuasan pengguna dan memberikan hasil yang sesuai dengan kebutuhan pengguna [10]. Namun, penelitian yang berkaitan dengan PXP masih terbatas. Pengembang individu harus memperhatikan Tingkat keterampilan, pengalaman dan jumlah pekerjaan yang akan dilakukan [11].

PXP dirancang untuk pengembang individu dengan menyederhanakan dokumentasi dan pemeliharaan untuk mendukung fleksibilitas serta responsif terhadap perubahan kebutuhan sistem [12]. Metode PXP sangat sesuai dengan kondisi pengembangan yang dilakukan dalam jangka waktu serta pengembang yang terbatas atau individu, dan dengan kebutuhan yang mungkin berkembang selama masa proses pengembangan. PXP memiliki tahapan penting, yang dilakukan secara berulang untuk memastikan sistem yang dibangun memenuhi kebutuhan, serta dapat diuji dan dievaluasi dengan cepat.



Gambar 1. Tahapan metode PXP

Terdapat 7 tahapan seperti yang terlihat pada Gambar 1. pada pengembangan sistem rekam medis elektronik klinik gigi adalah sebagai berikut:

1. Requirements (Kebutuhan)

Pada tahap awal dilakukan identifikasi kebutuhan sistem yang ditulis dalam bentuk *user stories* [13]. Identifikasi ini dilakukan untuk memahami alur kerja yang terjadi di klinik serta kebutuhan utama yang harus dipenuhi oleh sistem. Format *user stories* yaitu “sebagai [pengguna], saya

ingin/dapat [melakukan aktivitas tertentu] agar/sehingga [memperoleh respon dari sistem]. *User stories* ini menjadi dasar dalam merancang fungsionalitas dan fitur-fitur sistem yang akan dikembangkan. Tabel 1. Menunjukkan 8 *user stories* yang telah diidentifikasi berdasarkan kebutuhan sistem di Klinik Gigi.

Tabel 1. Daftar *User Stories* Kebutuhan Klinik Gigi

Kode Stories	User Stories	Estimasi (dalam hari)
Iterasi 1		
US-01	Sebagai pasien , saya ingin mendaftar akun agar dapat mengakses sistem layanan klinik.	2
US-02	Sebagai pasien , saya ingin mendaftar pemeriksaan agar dapat memilih jadwal dan dokter yang sesuai.	2.
Iterasi 2		
US-03	Sebagai pasien , saya ingin melihat rekam medis elektronik saya agar dapat mengetahui riwayat pengobatan.	4
US-04	Sebagai pasien , saya ingin melakukan pembayaran setelah pemeriksaan agar tagihan tercatat.	8
Iterasi 3		
US-05	Sebagai dokter , saya ingin mengelola rekam medis pasien agar data medis pasien tercatat dengan benar.	6
US-06	Sebagai dokter , saya ingin mengirimkan pengingat kunjungan berikutnya kepada pasien agar pasien tidak lupa jadwal kunjungan melalui <i>whatsapp</i>	12
Iterasi 4		
US-07	Sebagai admin , saya ingin mengelola data master, termasuk jadwal pemeriksaan dan laporan pasien, agar sistem berfungsi dengan baik.	4
US-08	Sebagai admin , saya ingin mengunduh laporan keuangan dan daftar pasien agar bisa memantau data lebih mudah.	4
Jumlah hari pengerjaan		42

Rencana pengembangan sistem adalah 42 hari dan klien dapat mengajukan perubahan atau penambahan *user stories* baru. Pengembang akan melakukan estimasi dan menentukan prioritas dari *user stories* tersebut.

2. Planning (Perencanaan)

Pada tahap ini mendefinisikan kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari sistem yang akan dikembangkan. Tabel 2 memperlihatkan identifikasi kebutuhan fungsional dan non-fungsional dari sistem rekam medis elektronik pada klinik gigi.

Tabel 2 Kebutuhan Fungsional dan Non-Fungsional

Kebutuhan Fungsional	Kebutuhan Non-Fungsional
Pendaftaran Pasien <i>Online</i>	Keamanan Data Pasien
Manajemen Rekam Medis Elektronik	Antarmuka User-Friendly
Pembayaran	Kecepatan Akses Sistem
Penjadwalan Pemeriksaan Gigi	Responsif Pada Berbagai Perangkat
Pengiriman Pesan Otomatis ke Pasien	-
Mengelola Data Master	-

3. Iteration Initialization (Inisialisasi Iterasi)

Setelah kebutuhan dan perencanaan disusun, dijabarkan fungsionalitas sistem menggunakan UML Diagram, seperti *Use Case Diagram* yang sering digunakan untuk menggambarkan alur interaksi pengguna dengan sistem. Terdapat beberapa iterasi, dimana setiap iterasi dirancang untuk mengembangkan dan menguji bagian-bagian fungsional dari sistem berdasarkan prioritas dan kompleksitas fitur yang dibutuhkan oleh pengguna. Fungsionalitas yang akan dikembangkan pada setiap iterasi ditentukan berdasarkan analisis terhadap *Use Case diagram* dan prioritas kebutuhan sistem yang telah diidentifikasi.

Tabel 3 Identifikasi user

No	User	Keterangan
1	Pasien	Orang yang melakukan pendaftaran akun, pemeriksaan gigi, dan pembayaran serta melihat rekam medis.
2	Dokter	Tenaga medis yang bertanggung jawab mengelola rekam medis, jadwal pemeriksaan, dan pengelolaan laporan pasien.
3	Admin	Bertanggung jawab atas pengelolaan sistem, termasuk jadwal pemeriksaan dan laporan.

Terdapat 3 (tiga) user yang berinteraksi dengan sistem, yaitu Pasien, Dokter, dan Admin Klinik. Peran dari setiap aktor diperlihatkan pada Tabel 3.

Sistem dapat berkembang secara bertahap sesuai dengan prioritas dan kompleksitas fitur yang diperlukan karena setiap iterasi memiliki fokus tertentu. Metode ini memungkinkan pengujian dan umpan balik selama setiap iterasi untuk memastikan bahwa setiap fungsionalitas bekerja sesuai harapan sebelum melanjutkan. Terdapat 4 (empat) iterasi yang digunakan pada pengembangan sistem rekam medis di Klinik Gigi seperti yang terlihat pada Tabel 4.

Tabel 4 Iterasi Pengembangan

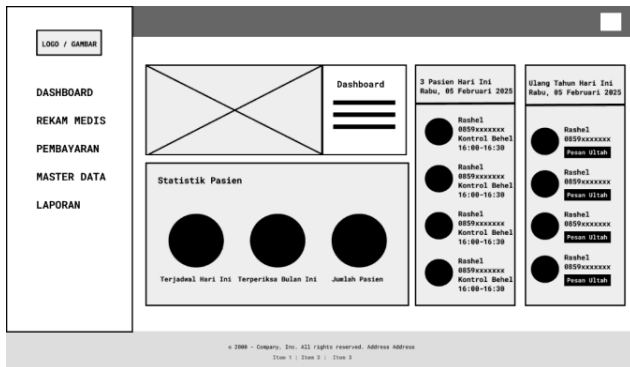
Iterasi	Use Case	Keterangan
1	Pendaftaran Akun, Pendaftaran Pemeriksaan Gigi	Fokus pada pendaftaran pasien dan pengelolaan jadwal awal.
2	Melihat Rekam Medis Elektronik, Pembayaran	Pengembangan rekam medis dan sistem pembayaran pasien.
3	Mengelola Rekam Medis, Mengirim <i>Reminder</i> Kunjungan Berikutnya atau Pengiriman Pesan	Fokus pada pengelolaan rekam medis oleh dokter dan pengingat kunjungan. atau pengiriman pesan
4	Mengelola Jadwal Pemeriksaan dan Master Data lainnya, Mengunduh Laporan Keuangan dan Pasien	Menyempurnakan pengelolaan jadwal pemeriksaan dan data lainnya, serta fitur laporan untuk admin.

4. Design (Desain)

Tahap desain adalah langkah memastikan bahwa semua fitur dan kebutuhan yang telah teridentifikasi dalam tahap perencanaan dapat diwujudkan dalam bentuk sistem yang terstruktur dan mudah digunakan. Pada tahap ini, dilakukan perancangan desain antarmuka pengguna (*User Interface*). Gambar 2 memperlihatkan struktur desain basisdata.

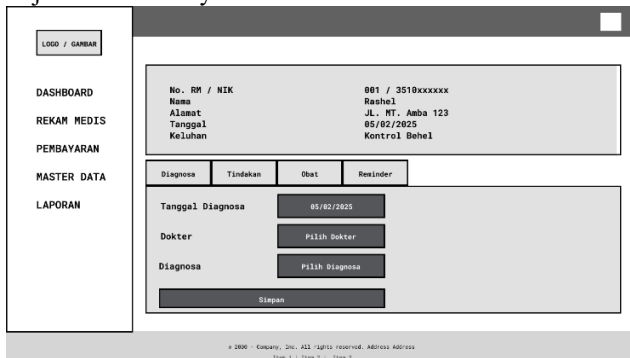
Wireframe merupakan representasi visual dari antarmuka pengguna yang berfokus pada tata letak, fungsionalitas, dan perilaku antarmuka, tanpa memperhatikan detail visual

seperti warna dan huruf. *Wireframe* digunakan untuk memvalidasi alur pengguna dan memastikan kemudahan penggunaan sistem. Gambar 2 memperlihatkan desain *wireframe* dari *dashboard* Dokter dan Admin Klinik



Gambar 2. Desain *wireframe* halaman *dashboard* dokter dan admin klinik

Setiap *Wireframe* merepresentasikan tata letak dan fungsionalitas antarmuka pada setiap halaman, dan berfungsi sebagai acuan dalam tahap implementasi. Pada Gambar 2 memperlihatkan contoh *wireframe* halaman yang tampil setelah admin dan dokter berhasil melakukan login ke dalam sistem. Dokter dan admin dapat melihat informasi data pasien yang melakukan pendaftaran pemeriksaan hari ini, dan informasi jumlah total pasien, jumlah pasien yang sudah terjadwal dan terlayani.



Gambar 3. Desain *wireframe* halaman rekam medis elektronik pasien klinik gigi

Gambar 3 adalah desain *wireframe* dari halaman rekam medis elektronik pasien yang berisi informasi data diri pasien, diagnosa, tindakan, obat dan jadwal untuk kontrol.

5. Implementation (Implementasi)

Pada tahap ini dilakukan pengkodean sistem. Kode diuji menggunakan metode *unit testing*, jika ada kesalahan maka dilakukan koreksi ulang atau *refactoring* pada kesalahan kode yang ditemukan. Apabila tidak ada kesalahan, maka akan dilanjutkan ke unit berikutnya.

A. Pengkodean

Implementasi sistem layanan pendaftaran dan rekam medis elektronik dilakukan menggunakan *framework* Laravel versi 10 dengan bahasa pemrograman PHP.

Laravel memiliki arsitektur *Model-View-Controller* (MVC), fitur-fitur yang lengkap, dan kemudahan dalam pengembangan aplikasi web modern. Sistem manajemen basis data yang digunakan adalah MySQL, yang dipilih karena sifatnya yang *open-source* dan kompatibel dengan Laravel. Proses pengkodean dilakukan secara iteratif sesuai prinsip PXP, di mana fitur dikembangkan secara bertahap berdasarkan prioritas kebutuhan. Keamanan data pasien juga menjadi fokus utama pada tahap implementasi. Langkah-langkah yang diambil meliputi:

- Enkripsi data sensitif pasien, menggunakan algoritma *hash (bcrypt)* untuk melindungi data dari akses tidak sah.
- Penggunaan *middleware* untuk autentikasi dan otorisasi, memastikan hanya pengguna yang berwenang dapat mengakses data tertentu.
- Validasi untuk mencegah serangan seperti *SQL Injection* dan *Cross-Site Scripting (XSS)*, *CSRF Protection*, *Library HTMLPurifier* untuk membersihkan *input HTML*.
- *Backup* Data untuk menjaga integritas dan ketersediaan data, sistem juga dilengkapi dengan mekanisme *backup* data yang terjadwal secara otomatis. Proses *backup* ini dilakukan untuk memastikan bahwa data pasien yang sensitif tetap aman, bahkan jika terjadi kerusakan pada sistem atau kehilangan data.

B. Unit Testing

Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa setiap *unit* atau modul dalam sistem bekerja sesuai dengan desain dan spesifikasi yang telah ditentukan. *Unit testing* dilakukan menggunakan *framework* laravel, yang menyediakan fasilitas pengujian bawaan seperti *PHPUnit*. Dengan *unit testing*, pengembang dapat mendeteksi kesalahan lebih awal dan memastikan setiap bagian kode berjalan dengan benar.

C. Refactoring

Setelah pengkodean dan *unit testing* dilakukan, selanjutnya adalah proses *refactoring* untuk meningkatkan kualitas kode tanpa mengubah fungsionalitasnya. *Refactoring* mencakup perbaikan struktur kode, penghapusan redundansi, dan optimalisasi performa, sehingga kode menjadi lebih mudah dipahami dan dikelola untuk pengembangan di masa mendatang.

6. System Testing (Pengujian Sistem)

Menurut [14] pada metode PXP menggunakan pengujian manual sederhana disbanding dengan metode XP. Tahap pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa sistem yang dibangun berfungsi sesuai dengan yang diharapkan dan memenuhi kebutuhan pengguna. Pada penelitian ini, dilakukan dua jenis pengujian, yaitu *white-box Testing* dan *black-box Testing*. Pengujian dilakukan menggunakan metode seperti *blackbox testing* untuk memeriksa kesesuaian fungsionalitas sistem dengan kebutuhan pengguna, serta *whitebox testing* untuk memeriksa kualitas kode secara mendalam [15].

- *Whitebox Testing*

Pengujian ini dilakukan dengan memeriksa struktur internal kode program. Metode yang digunakan adalah *unit testing*, di mana setiap unit atau bagian kecil dari kode diuji secara terpisah untuk memastikan fungsionalitasnya berjalan dengan benar. Pengujian ini berfokus pada logika program, alur kontrol, dan penanganan kesalahan.

• Blackbox Testing

Pengujian ini dilakukan tanpa memeriksa struktur internal kode, melainkan berfokus pada fungsionalitas sistem dari sudut pandang pengguna. Metode yang digunakan adalah *User Acceptance Testing (UAT)*, di mana pengguna yang menjadi responden adalah dari Klinik Gigi Vita Opic. Pengguna akan menguji sistem untuk memvalidasi apakah sistem memenuhi kebutuhan mereka dan mudah digunakan. Pengujian ini mencakup pengujian fungsionalitas sistem, *user interface*, dan *user experience*.

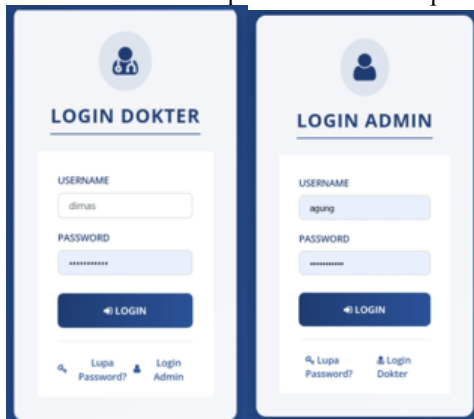
7. Retrospective

Tahap dimana dilakukan pengambilan kesimpulan terhadap sistem, jika masih ada kesalahan maka akan diperbaiki mulai dari tahap *Iteration Initialization*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Iterasi Pertama: Otentikasi dan Reservasi Pemeriksaan

Pada tahap awal, sistem dibangun dengan fokus pada otentikasi pengguna untuk peran admin dan dokter, serta penyediaan formulir reservasi pemeriksaan untuk pasien.



Gambar 4. Halaman login untuk dokter dan admin

Admin dan dokter mengakses sistem melalui halaman *login* terpisah seperti yang terlihat pada Gambar 4, sementara pasien tidak perlu *login* untuk melakukan reservasi. Halaman *login* ini dilengkapi dengan validasi dan penanganan pesan kesalahan bila terjadi kegagalan autentikasi. Setelah proses autentikasi berhasil, masing-masing pengguna akan diarahkan ke tampilan *dashboard* sesuai perannya. Admin memiliki *dashboard* yang menampilkan ringkasan data pasien, jumlah transaksi, dan akses ke seluruh fitur pengelolaan sistem. Dokter melihat jadwal praktik harian serta navigasi langsung ke rekam medis pasien. Sedangkan pasien, setelah berhasil *login* menggunakan *One-Time Password (OTP)*, akan diarahkan ke *dashboard* yang menampilkan riwayat pemeriksaan dan status pembayaran

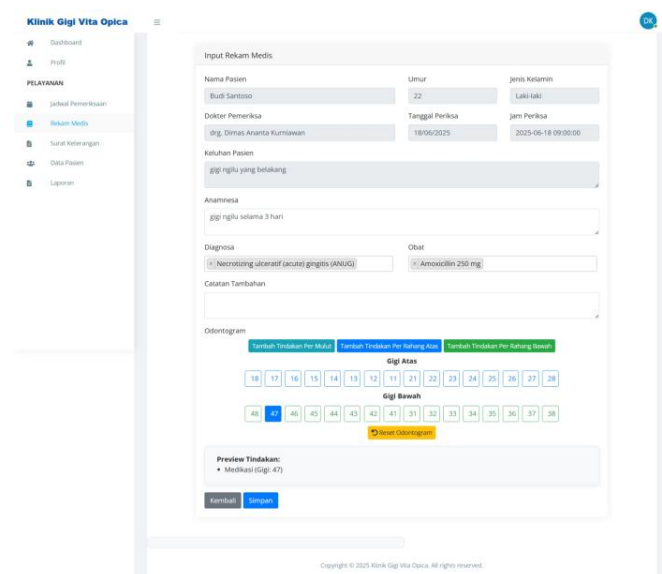


Gambar 5. Hasil unit testing pada login dan dashboard dokter dan admin klinik

Setelah implementasi fitur, selanjutnya dilakukan unit testing untuk memastikan bahwa sistem berjalan sesuai dengan skenario. Gambar 5 memperlihatkan hasil pengujian unit testing terhadap fitur login dan dashboard admin klinik, dokter dan pasien yang telah berjalan sesuai dengan fungsionalitasnya dan tidak ditemukan *error* pada logika dasar sistem. Waktu yang dibutuhkan oleh Pengembangan pada iterasi 1 sesuai dengan perencanaan awal yaitu 4 hari.

B. Iterasi Kedua: Input dan Manajemen Rekam Medis

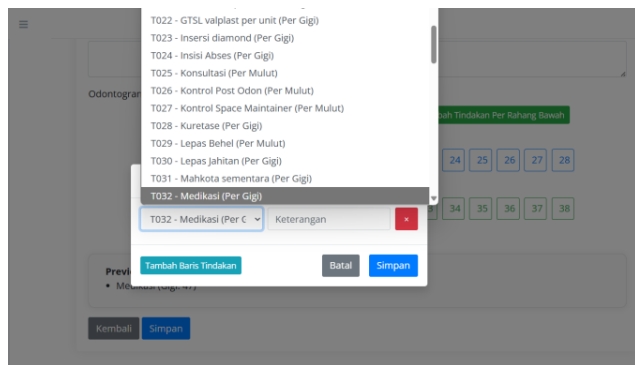
Pada iterasi kedua difokuskan pada fungsionalitas utama klinik, yaitu pencatatan dan pengelolaan data rekam medis pasien. Fitur ini menjadi salah satu inti dari sistem karena berkaitan langsung dengan aktifitas pemeriksaan oleh dokter dengan waktu iterasi 10 hari.



Gambar 6. Halaman rekam medis pasien klinik gigi

Gambar 6 memperlihatkan akses informasi pasien terhadap rekam medis pemeriksaan gigi yang telah

dimasukkan oleh dokter ataupun admin klinik. Terdapat dokumentasi odontogram interaktif sehingga dokter dapat menandai kondisi gigi pasien secara visual, baik untuk pasien dewasa maupun anak-anak sesuai dengan nomor gigi yang telah distandarisasi seperti yang terlihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Odontogram interaktif untuk pemeriksaan gigi



Gambar 8. Hasil unit testing untuk fitur rekam medis klinik gigi

Gambar 8 merupakan hasil pengujian menggunakan unit testing terhadap fitur rekam medis pasien menunjukkan bahwa data berhasil disimpan sesuai dengan logika sistem.

C. Iterasi Ketiga: Dokumen dan Notifikasi WhatsApp

Setelah fitur pencatatan rekam medis berhasil diterapkan, pengembangan dilanjutkan pada kebutuhan dokumentasi dan pemberitahuan otomatis kepada pengguna. Tahap ini mencakup kemampuan mencetak dokumen serta integrasi dengan layanan pesan WhatsApp untuk berbagai notifikasi seperti yang terlihat pada Gambar 9 dan hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 10

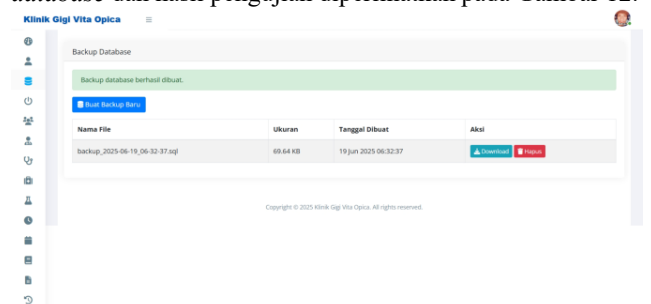
Gambar 9. Halaman cetak rekam medis digital



Gambar 10. Hasil unit testing untuk cetak dokumen dan notifikasi whatsapp.

D. Iterasi Keempat: Laporan dan Backup Data

Tahap terakhir dari proses pengembangan sistem berfokus pada penguatan fungsionalitas administratif, pelaporan, serta pengujian akhir. Iterasi ini mencakup kemampuan mencetak laporan kegiatan klinik, menyimpan cadangan data (*backup*), dan melakukan pengujian sistem untuk memastikan stabilitas sistem. Waktu yang diperlukan oleh pengembang sesuai dengan perencanaan yaitu 6 hari. Gambar 11 memperlihatkan contoh halaman *backup database* dan hasil pengujian diperlihatkan pada Gambar 12.



Gambar 11. Halaman backup database.



Gambar 12. Hasil unit testing cetak dokumen dan notifikasi whatsapp.

Pengujian sistem dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh fitur yang telah dikembangkan dapat berjalan sesuai dengan tujuan awal perancangan. Terdapat dua jenis pengujian yang dilakukan, yaitu pengujian unit (*unit testing*) untuk memeriksa fungsi tiap komponen secara teknis, serta pengujian penerimaan pengguna (*User Acceptance Testing/UAT*) untuk menilai apakah sistem dapat diterima oleh pengguna akhir dari berbagai peran.

FAIL Tests/Feature/AdminTest	
✓ admin bisa lihat dashboard	1.83s
✓ admin bisa kelola jadwal pemeriksaan	0.06s
✓ admin bisa kelola rekam medis	0.19s
✓ admin bisa kelola surat keterangan	0.63s
✓ admin bisa lihat riwayat kunjungan	0.05s
✓ admin bisa kelola pembayaran	0.05s
- admin bisa export laporan → Tidak ada data rekam medis, export laporan di-skip.	0.06s
✓ admin bisa backup database	0.92s
✓ admin bisa kelola admin user	0.05s
✓ admin bisa update profil	0.43s
✓ admin bisa logout	0.05s
- admin bisa kelola jadwal buka → Tidak ada data dokter yang tersedia	0.02s
✓ admin bisa kelola dokter	0.04s
✓ admin bisa kelola obat	0.05s
✓ admin bisa kelola tindakan	0.04s
✓ admin bisa kelola diagnosa	0.04s
PASS Tests/Feature/DokterTest	
✓ dokter bisa login	0.05s
✓ dokter bisa lihat dashboard	0.18s
✓ dokter bisa lihat jadwal pemeriksaan	0.04s
✓ dokter bisa update status jadwal pemeriksaan	0.03s
✓ dokter bisa lihat daftar rekam medis	0.06s
✓ dokter bisa input rekam medis baru	0.46s
✓ dokter bisa lihat detail rekam medis	0.05s
✓ dokter bisa cetak rekam medis	0.18s
✓ dokter bisa addendum rekam medis	2.86s
✓ dokter bisa kelola surat keterangan	0.07s
✓ dokter bisa lihat data pasien	0.05s
✓ dokter bisa lihat detail pasien	0.02s
✓ dokter bisa export laporan	0.14s
✓ dokter bisa update profil	0.82s
✓ dokter bisa logout	0.05s
✓ dokter bisa validasi input rekam medis	0.86s
✓ dokter bisa validasi update status jadwal	0.05s
✓ dokter menerima notifikasi whatsapp pendaftaran baru	0.04s
✓ dokter menerima notifikasi whatsapp pendaftaran baru dengan data lengkap	0.02s
✓ dokter menerima notifikasi whatsapp pendaftaran baru aktual	0.76s
PASS Tests/Feature/ExampleTest	
✓ the application returns a successful response	0.05s
PASS Tests/Feature/PasienTest	
✓ pasien bisa registrasi	0.04s
✓ pasien bisa request otp	0.88s
✓ pasien bisa login dengan otp	0.02s
✓ pasien bisa lihat dashboard	0.03s
✓ pasien bisa lihat rekam medis	0.04s
✓ pasien bisa logout	0.02s
✓ pasien bisa validasi input pendaftaran	0.04s
✓ pasien bisa validasi request otp	0.77s
✓ pasien bisa validasi otp login	0.03s
✓ pasien bisa validasi input request otp	0.42s
Tests: 2 skipped, 46 passed (174 assertions)	
Duration: 12.84s	

Gambar 13. Hasil unit testing semua fitur di sistem rekam medis klinik gigi.

Pengujian unit dilakukan menggunakan Laravel *Feature Test* dengan perintah `php artisan test`. Tujuannya untuk memastikan bahwa setiap fungsionalitas sistem berjalan sesuai yang diharapkan, dari sisi logika program dan alur penggunaan. Dari 48 fitur yang dikembangkan, 46 fitur telah berhasil diuji dengan status “passed”, sementara 2 fitur “skipped” karena keterbatasan data uji. Hal ini menunjukkan bahwa hasil pengujian unit testing sebesar 95,8%. Gambar 13 memperlihatkan hasil pengujian unit testing dengan menggunakan data actual yang ada di sistem.

Pengujian Penerimaan Pengguna (*User Acceptance Test/UAT*)

Pengujian penerimaan pengguna (*User Acceptance Test/UAT*) dilakukan untuk menilai apakah sistem sudah memenuhi kebutuhan pengguna dari tiga peran yang berbeda, yaitu pasien, dokter, dan admin klinik. Total empat responden berpartisipasi dalam pengujian, terdiri dari dua pasien, satu dokter, dan satu admin klinik. Pengujian dilakukan pada tanggal 16–18 Juni 2025 menggunakan formulir pengujian yang berisi daftar fitur, skenario penggunaan, langkah pengujian, dan kolom evaluasi hasil. Responden menuliskan tanggapan dan evaluasi terhadap setiap fitur yang diuji. Setiap fitur diberi nilai kualitas berdasarkan skala seperti pada Tabel 5.

Tabel 5 Kategori penilaian UAT berdasarkan skor persentase

Skor (Mean)	Kategori
1.00 – 1.80	Sangat Kurang Baik
1.81 – 2.60	Kurang Baik
2.61 – 3.40	Cukup Baik
3.41 – 4.20	Baik
4.21 – 5.00	Sangat Baik

Untuk menentukan tingkat penerimaan sistem oleh masing-masing pengguna, setiap fitur yang diuji diberi skor berdasarkan kategori pada Tabel 5. Skor ini selanjutnya dijumlahkan dan dihitung nilai rata-ratanya (*mean*) untuk mengetahui sejauh mana sistem diterima oleh pengguna. Perhitungan nilai *mean* dilakukan dengan rumus.

$$Mean = \frac{Total\ Skor}{Jumlah\ Fitur} \quad (1)$$

Berdasarkan hasil rekapitulasi pada Tabel 6, dapat disimpulkan bahwa sistem mendapatkan respon yang sangat positif dari para pengguna. Terdapat 10 responden (7 pasien, 2 dokter, dan 1 admin klinik) yang telah melakukan mencoba fitur sesuai dengan hak akses pengguna.

- Pasien dengan total skor rata-rata 4.67 (sangat baik)
- Dokter dengan total skor rata-rata 4.28 (sangat baik)
- Admin klinik dengan total skor rata-rata 4.71 (sangat baik)

Tabel 6 Rekapitulasi hasil pengujian UAT seluruh responden

No	Responden	Hak Akses	Jumlah Fitur	Total Skor	Mean	Kategori
1	Pasien1	Pasien	10	43	4.30	Sangat Baik
2	Pasien2	Pasien	10	48	4.80	Sangat Baik
3	Dokter1	Dokter	20	82	4.10	Baik
4	Admin1	Admin Klinik	14	66	4.71	Baik
5	Dokter2	Dokter	20	89	4.45	Sangat Baik
6	Pasien3	Pasien	10	46	4.60	Sangat Baik
7	Pasien4	Pasien	10	50	5.00	Sangat Baik
8	Pasien5	Pasien	10	47	4.70	Sangat Baik
9	Pasien6	Pasien	10	47	4.70	Sangat Baik
10	Pasien7	Pasien	10	46	4.60	Sangat Baik

Berdasarkan hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem telah mendapatkan penerimaan dari semua pengguna. Beberapa catatan dari pengguna seperti format surat yang masih bisa diperbaiki, atau permintaan fitur tambahan seperti penghapusan riwayat log aktivitas menjadi masukan yang relevan untuk pengembangan selanjutnya. Hasil UAT menunjukkan bahwa sistem telah memenuhi ekspektasi pengguna dari berbagai peran dan telah mampu menjalankan fungsinya dalam mendukung layanan pendaftaran, pemeriksaan, dan administrasi klinik gigi secara digital.

IV. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian sistem rekam medis elektronik klinik gigi dapat disimpulkan bahwa metode PXP dapat diimplementasikan untuk studi kasus ini.

1. Metode PXP terbukti mampu mempercepat proses pengembangan sistem RME klinik gigi skala kecil. Estimasi waktu pengerjaan adalah 42 hari, namun sistem berhasil diselesaikan 8 hari lebih cepat sehingga menjadi 34 hari. Hal ini dikarenakan prinsip PXP seperti iterasi singkat, dokumentasi yang ringkas dan fokus pada kebutuhan pengguna dapat meningkatkan efisiensi bagi pengembang tunggal.
2. Hasil *unit testing* menunjukkan bahwa sebanyak 48 fitur untuk 3 pengguna yaitu pasien, dokter dan admin klinik dinyatakan bahwa 46 fitur berhasil (*passed*) tanda adanya kegagalan, dan terdapat 2 fitur diabaikan (*skipped*) dikarenakan keterbatasan data uji. Dengan Tingkat keberhasilan sebesar 95.8% maka sistem dapat dikategorikan memiliki kualitas yang baik. Untuk fitur yang diabaikan (*skipped*) perlu data simulasi untuk menguji fitur tersebut.
3. Berdasarkan pengujian UAT, sebanyak 46 skenario pengujian berhasil diselesaikan dan mendapatkan umpan balik positif dari 10 responden yang terdiri dari tujuh pasien, dua dokter dan satu admin klinik. Hasil nilai total rata-rata dari pasien 4.67 (sangat baik), dan dokter dengan nilai total rata-rata 4.28 (sangat baik) dan admin klinik sebesar 4.71 (sangat baik) yang menunjukkan seluruh fitur telah sesuai dengan kebutuhan pengguna meskipun diselesaikan lebih cepat daripada estimasi waktu yang direncanakan. Namun beberapa masukan juga muncul, yaitu mengenai format surat dan penghapusan log aktivitas.
4. Dengan adanya sistem ini, maka pelayanan klinik gigi menjadi lebih terstruktur, cepat dan data terkelola dengan baik dalam basis data. Penyampaian informasi secara otomatis kepada pasien, dokter, dan admin klinik melalui notifikasi *WhatsApp* merupakan salah satu cara dalam peningkatan layanan kepada pengguna aplikasi.
5. Untuk pengembangan selanjutnya dapat dilakukan studi komparasi metode PXP dengan metode lainnya untuk proyek skala kecil sejenis sehingga dapat memberikan kajian ekonomi penggunaan sistem RME berbasis PXP dalam aspek penghematan biaya operasional, dan peningkatan produktivitas.

REFERENSI

- [1] Dinas Kesehatan Kabupaten Banyuwangi. (2022). Profil Kesehatan Kabupaten Banyuwangi Tahun 2021. <https://dinkes.banyuwangikab.go.id/portal/profil-kesehatan-dinkes/>
- [2] Prasetyo, M. Z., Susanto, E. R., Wantoro, A., Penulis, N., Zihad, M., & Submitted, P. (2023). SISTEM INFORMASI REKAM MEDIS PASIEN THALASSEMIA (STUDI KASUS: POPTI Cabang BANDAR LAMPUNG). *Jurnal Teknologi Dan Sistem Informasi*, 4(3), 349–355. <https://doi.org/10.33365/jtsi>
- [3] Kementerian Kesehatan Republik Indonesia. (2022). *PERATURAN MENTERI KESEHATAN REPUBLIK INDONESIA NOMOR 24*

TAHUN 2022 TENTANG REKAM MEDIS. <https://peraturan.bpk.go.id/Details/245544/permenkes-no-24-tahun-2022>

- [4] Jepisah, D., Sari, P., Octaria, H., Mentari, W., Husna, A., & Pekanbaru, H. T. (2022). The Role of Electronic Medical Records (RME) on Hospital Management Information Systems at Regional General Hospitals in Riau Province in 2021 Peranan Rekam Medis Elektronik (RME) Terhadap Sistem Informasi Manajemen Rumah Sakit Di Rumah Sakit Umum Daerah Provinsi Riau Tahun 2021. In *Community Engagement & Emergence Journal* (Vol. 3). <https://journal.yrpiiku.com/index.php/ceej>
- [5] Cahyani, M. B., Syafanny, L. D. A., Kamil, S. S. A., Mukharama, K. A., & Sutha, D. W. (2024). Tinjauan Literatur: Peran Rekam Medis Berbasis Elektronik Terhadap Pelayanan Kesehatan. *Jurnal Manajemen Informasi Kesehatan Indonesia*, 12(2).
- [6] Yossiant, S., & Hosizah, H. (2023). Implementasi Rekam Medis Elektronik di Klinik Kidz Dental Care. *Indonesian of Health Information Management Journal (INOHIM)*, 11(1), 50–55. <https://doi.org/10.47007/inohim.v11i1.498>
- [7] Aryani Susanti, F., & Ariati, S. (2024). Analysis of Workload of Medical Records Officers: Switching from Manual Medical Records to Electronic Medical Records in X Hospital in 2024. *Jurnal Manajemen Informasi Dan Administrasi Kesehatan*, 7(2), 196–201. <https://doi.org/10.32585/jmiak.v7i2.5432>
- [8] Anggriani, M., Syahidin, Y., Sari, I., & Sukmawijaya, J. (2023). Desain Tata Kelola Rekam Medis Elektronik Berbasis Teknologi Informasi Dalam Pelayanan Pasien IGD Dengan Metode Agile. *Jurnal Teknologi Sistem Informasi Dan Aplikasi*, 6(3), 248–255. <https://doi.org/10.32493/jtsi.v6i3.29815>
- [9] Lahama, cindy, Montolalu, C. E. J. C., & Tenda, E. (2024). Web-Based Pharmacy Information System Using Personal Extreme Programming (PXP) Method with MVC Architecture. *Indonesian Journal of Intelligence Data Science*, 3(1), 61–72. <https://doi.org/10.35799/ijids.v3i1.50142>
- [10] Bagus Gede Sarasvananda, I., & Komang Arya Ganda Wiguna, I. (2021). Pendekatan Metode *Extreme Programming* untuk Pengembangan Sistem Informasi Manajemen Surat Menyurat pada LPIK STIKI. *Jurnal Informatika Universitas Pamulang*, 6(2), 258–267. <https://doi.org/10.32493/informatika.v6i2.9482>
- [11] G. E. Iyawa, “Personal Extreme Programming: Exploring Developers’ Adoption Completed Research,” Americas Conference on Information Systems, pp. 1–10, 2020, [Online]. Available: <http://shura.shu.ac.uk/27536/>
- [12] Fikri, A. M., & Arthawan, I. P. D. (2020). Rancang Bangun Sistem Informasi Buku Tamu pada Dinas Pemuda, Olahraga dan Pariwisata Kota Balikpapan dengan Metode Personal Extreme Programming. *Multitek Indonesia: Jurnal Ilmiah*, 14(2), 1907–6223. <http://journal.umpo.ac.id/index.php/multitek>
- [13] H. I. Hasan, G. I. Marthasari, and I. Nuryasin, “Implementasi Metode Personal Extreme Programming Dalam Pengembangan Sistem Administrasi Pelayanan Desa (Studi Kasus: Desa Bulangan Barat Kec. Pegantenan Kab. Pamekasan)”, *JR*, vol. 3, no. 1, Jan. 2024.
- [14] Fahrijal, Taufik; Hartawan, Rumadi. Analisis Perbandingan Extreme Programming dengan Personal Extreme Programming Pada Impelementasi Software. *Jurnal Manajemen Informatika Jayakarta, [S.I.]*, v. 4, n. 4, p. 367-382, sep. 2024. ISSN 2797-0930.
- [15] Melinda, V., & Zein, A. (2023). Perancangan Sistem Informasi Tour dan Travel Berbasis Web Menggunakan Metode Personal Extreme Programming (PXP) pada Today Trip. *Jurnal Ilmu Komputer*, 6(1).

Klasifikasi Multi Kelas Untuk Mendeteksi Sinyal Detak Jantung Janin Pada CTG Menggunakan *Thresholding Feature Importance* dan *ResNet Multimodal*

Multi-Class Classification Method for Detecting Fetal Heart Rate Signals in Cardiotocography Using Thresholding Feature Importance and Multimodal ResNet

Subono¹, Mohamad Dimyati Ayatullah², Sholeh Hadi Pramono³, Erni Yudaningtyas⁴, M. Aziz Muslim⁵, Mahdin Rohmatillah⁶, Cries Avian⁷

Bisnis dan Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{1,2}, Teknik Elektro, Universitas Brawijaya, Malang^{1,3,4,5,6,7}

Email: subono@poliwangi.ac.id¹, dimyati@poliwangi.ac.id², sholehpramono@ub.ac.id³, erni@ub.ac.id⁴, muh_aziz@ub.ac.id⁵, mahdin94@ub.ac.id⁶, cries.avian@ub.ac.id⁷

Abstract

Cardiotocography (CTG) is a common approach to monitoring fetal condition, involving recording of the fetal heart rate (FHR) and uterine contractions (UC). Manual interpretation of CTG can be marked by inter-observer differences and may contain errors in the identification of fetal hypoxia. To mitigate this restriction, this article proposes a multi segmentation classification method (Normal, Suspect, and Hypoxia) with Thresholding Feature Importance and multimodal ResNet. The preprocessing stage includes resampling, normalization, and time-window segmentation of FHR signals. Subsequently, clinical and statistical features (e.g., STV, LTV, accelerations, decelerations, pH, and Apgar scores) are extracted and filtered using Thresholding Feature Importance, which integrates gain-based importance, permutation importance, and stability selection. Features above a predefined threshold (τ) or within the Top-k ranks are retained as inputs for the tabular branch. The multimodal architecture consists of three components: 1D-ResNet for raw FHR signals, 2D-ResNet for image-based representations (time-frequency or spectrogram), and MLP for selected tabular features. These branches are fused via a fully connected layer to produce the final multi-class prediction. Experimental results show that the proposed model achieved an accuracy of 84.6%, an F1-score of 83%, and AUROC values greater than 0.90. The best performance was observed in the Normal class, with improved sensitivity in the Suspect class. Confusion matrix and ROC curve analyses confirmed strong discriminative ability, while risk assessment indicated a moderate risk level (40%), consistent with clinical recommendations. This study contributes an efficient and clinically relevant hybrid pipeline, demonstrating that multimodal fusion with feature thresholding enhances the reliability of CTG multi-class classification systems.

Keywords: *Cardiotocography, Fetal Heart Rate, Multi-Class Classification, Thresholding Feature Importance, Multimodal ResNet*

Abstrak

Metode konvensional untuk memantau kondisi janin melalui rekaman denyut nadi janin (FHR) dan kontraksi uterus (UC), cardiotocography (CTG), dilakukan secara manual. Interpretasi manual CTG sering menyebabkan variasi antar pengamat dan meningkatkan kemungkinan kesalahan dalam mengidentifikasi hipoksia janin. Untuk memecahkan masalah tersebut, penelitian ini menyarankan teknik klasifikasi multi-kelas (Normal, Suspect, dan Hipoksia) yang menggunakan kombinasi ResNet multimodal dan Thresholding Importance Feature. Sebelum proses sinyal FHR, sampel, normalisasi, dan segmentasi berbasis time-window segmentation dilakukan. Selanjutnya, fitur klinis dan statistik seperti STV, LTV, akselerasi, deselerasi, pH, dan skor Apgar diekstrak. Selanjutnya, metode yang menggabungkan nilai gain, permutation, dan pilihan stabilitas digunakan untuk memilih stabilitas dengan nilai fitur terendah. Tiga cabang terdiri dari arsitektur multimodal yang dikembangkan: 1D-ResNet untuk sinyal FHR mentah; 2D-ResNet untuk representasi citra (time-frequency/spectrogram); dan MLP untuk data tabular hasil ambang. Ketiga cabang difusi melalui lapisan yang benar-benar terhubung untuk menghasilkan prediksi akhir multi-kelas. Hasil uji menunjukkan bahwa model memiliki akurasi 84,6%, skor F1 83, dan skor AUROC di atas 0,9. Kelas Suspect menunjukkan sensitivitas yang lebih tinggi, dan Kelas Normal menunjukkan prestasi terbaik. Studi ini menunjukkan bahwa fusi multimodal dengan thresholding fitur dapat meningkatkan keandalan sistem klasifikasi CTG multi-kelas dan memberikan kontribusi berupa pipeline hibrid yang efisien dan relevan klinis. Sebaliknya, kurva ROC dan analisis confusion matrix menunjukkan kemampuan diskriminatif yang baik. Tingkat risiko evaluasi mencapai 40%, yang sesuai dengan rekomendasi klinis.

Kata Kunci: *Cardiotocography, Fetal Heart Rate, Multi-Class Classification, Thresholding Feature Importance, ResNet Multimodal*

I. PENDAHULUAN

Kardiotokografi (CTG) merupakan metode *non-invasif* yang digunakan secara luas untuk memantau kondisi fisiologis janin selama masa kehamilan dan proses persalinan. CTG merekam dua sinyal utama, yaitu *fetal heart rate* (FHR) dan kontraksi uterus (UC). Berdasarkan pola kedua sinyal tersebut, tenaga medis dapat menilai kesejahteraan janin dan memprediksi risiko hipoksia guna menentukan tindakan klinis yang tepat [1], [2]. Namun, interpretasi CTG secara manual masih bergantung pada subjektivitas dan pengalaman pengamat, sehingga menimbulkan variabilitas antar *observer* dan meningkatkan risiko kesalahan interpretasi berupa *false positive* maupun *false negative* [3], [21], [22].

Upaya otomatisasi analisis CTG telah banyak dikembangkan melalui pendekatan *machine learning* berbasis dataset tabular yang diturunkan dari sinyal mentah. Dataset CTG klasik berisi sekitar 2126 sampel dengan 21–22 atribut, dan telah digunakan pada berbagai penelitian untuk mengklasifikasikan kondisi janin menjadi tiga kelas, yaitu *normal*, *suspect*, dan *pathological* [4], [21], [22]. Algoritma konvensional seperti *Decision Tree*, *Naïve Bayes*, *Logistic Regression*, *k-Nearest Neighbor* (KNN), dan *Support Vector Machine* (SVM) telah diuji untuk klasifikasi CTG, dengan hasil akurasi terbaik dicapai oleh KNN sebesar 91%, diikuti *Decision Tree* 89%, SVM 87%, dan *Logistic Regression* 84% [5], [22].

Penelitian lain menggunakan *Decision Tree* C5.0 dengan 257 rules dan mencapai akurasi 93,4%, menunjukkan bahwa metode ini memiliki keunggulan dalam interpretabilitas hasil [6]. Penelitian dalam negeri oleh Pradipta dan Ayu [7] menggabungkan *Local Outlier Factor*, *Chi-square Feature Selection*, dan *XGBoost* untuk klasifikasi CTG, yang menghasilkan akurasi 99,3% dengan *precision*, *recall*, dan *F1-score* masing-masing sebesar 99,1%. Pada studi lainnya, permasalahan *class imbalance* diatasi menggunakan metode *Synthetic Minority Oversampling Technique* (SMOTE) pada algoritma KNN, yang mampu meningkatkan akurasi hingga 89,7% dengan *F1-macro score* sebesar 0,83 [8].

Kendati metode klasik tersebut cukup efektif, performanya masih sangat bergantung pada fitur buatan (*handcrafted features*) seperti *Short-Term Variability* (STV), *Long-Term Variability* (LTV), serta jumlah akselerasi dan deselerasi. Hal ini membatasi kemampuan generalisasi model terhadap sinyal CTG yang kompleks secara temporal [9].

Selain pendekatan berbasis *deep learning*, metode rekayasa fitur seperti *Instantaneous Frequency* (IF) dan *Common Spatial Pattern* (CSP) juga terbukti kompetitif. Venkata Sriram et al. [10] menggabungkan IF dan CSP untuk klasifikasi hipoksia janin menggunakan SVM, dan memperoleh akurasi di atas 98%. Meskipun demikian, pendekatan *deep learning* menawarkan fleksibilitas yang lebih tinggi karena dapat mengekstraksi fitur secara otomatis tanpa rekayasa manual [11], [12].

Sebagian besar penelitian berbasis ResNet masih berfokus pada klasifikasi biner (*normal vs. hypoxia/distress*), padahal kelas *suspect* memiliki signifikansi klinis penting sebagai

kondisi batas (*borderline*) yang menentukan kebutuhan intervensi dini [13]. Oleh karena itu, penelitian klasifikasi *multi-class* (*Normal*, *Suspect*, *Hypoxia*) menggunakan arsitektur ResNet masih jarang dilakukan, sehingga membuka peluang eksplorasi ilmiah baru [14].

Meskipun *deep learning* mampu mengekstraksi fitur secara otomatis, proses seleksi fitur tetap krusial untuk meningkatkan efisiensi model dan mengurangi noise. F. Fahmi and A. Yulian [7] menunjukkan bahwa penerapan *Chi-square Feature Selection* sebelum *boosting classifier* mampu meningkatkan akurasi hingga 99,3%. Monica dan Sulastri [6] juga menegaskan bahwa fitur seperti *prolonged deceleration*, *abnormal STV*, dan *abnormal LTV* merupakan indikator signifikan untuk mendeteksi kondisi janin. Dengan demikian, penerapan metode *Thresholding Feature Importance* sebelum memasukkan data ke dalam model *ID-ResNet* menjadi pendekatan hibrid yang inovatif. ResNet akan mempelajari sinyal mentah FHR dari CTG, sementara hanya fitur pendukung yang relevan (dengan nilai *importance* di atas ambang batas) yang digunakan sebagai masukan tambahan. Pendekatan ini diharapkan dapat meningkatkan akurasi model sekaligus mengurangi beban komputasi secara signifikan.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini mengembangkan sistem klasifikasi multi-kelas untuk mendeteksi kondisi janin berdasarkan data *cardiotocography* (CTG) yang terdiri atas tiga kategori klinis, yaitu *Normal*, *Suspect*, dan *Hipoksia* [1], [2] [21], [22]. Sistem ini dirancang dengan menggunakan pendekatan *ResNet multimodal*, yang memungkinkan integrasi berbagai modalitas data secara simultan untuk menghasilkan prediksi yang tidak hanya akurat tetapi juga *reliable* dan secara klinis bermakna [3], [4]. Arsitektur multimodal ini terdiri atas tiga jalur utama (*branch*), masing-masing menangani jenis data yang berbeda namun saling melengkapi.

Modalitas pertama sinyal 1D (*Fetal Heart Rate dan Uterine Contraction*): Sinyal FHR dan UC diproses melalui *ID-ResNet*, yang bertugas mengekstraksi pola temporal dinamis dari sinyal fisiologis janin. Arsitektur ini mengadopsi prinsip *residual learning* untuk mempertahankan informasi penting pada lapisan terdalam dan menghindari *vanishing gradient* selama pelatihan [5], [6]. Pendekatan ini efektif untuk mengenali fluktuasi fisiologis jangka pendek (STV) dan jangka panjang (LTV) yang menjadi indikator penting dalam diagnosis *fetal distress* [7].

Modalitas kedua berupa citra 2D (*Time-Frequency/Recurrence Representation*): Sinyal FHR diubah menjadi citra dua dimensi menggunakan *transformasi time-frequency* atau *recurrence plot*, yang kemudian dianalisis menggunakan 2D-ResNet untuk mengeksplorasi pola spasial dan frekuensi secara simultan [8], [9]. Pendekatan berbasis spectrogram ini terbukti mampu meningkatkan kemampuan model dalam mendeteksi pola patologis halus pada variasi

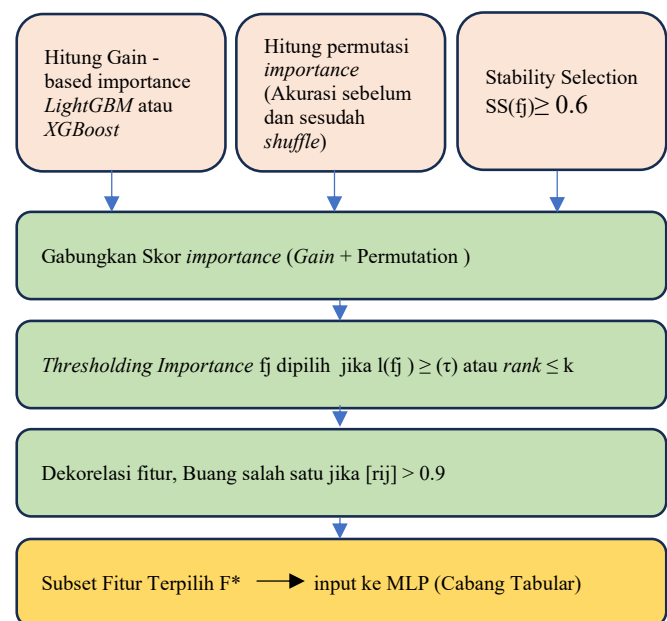
detak jantung janin yang tidak terdeteksi oleh analisis berbasis sinyal mentah semata [10].

Modalitas ketiga berupa data tabular (fitur klinis dan statistik): Modalitas ini mencakup fitur-fitur terukur seperti *STV*, *LTV*, *Apgar score*, *base excess*, pH darah tali pusat, serta parameter klinis ibu seperti usia dan riwayat kehamilan. Sebelum diproses ke model, fitur-fitur tersebut diseleksi menggunakan metode *Thresholding Feature Importance* [11]. Seleksi ini menggabungkan tiga pendekatan antara lain *Gain-based importance*, *Permutation importance*, dan *Stability selection* untuk menentukan subset fitur paling relevan dengan kontribusi signifikan terhadap klasifikasi [12]. Fitur dengan nilai *importance* di atas ambang batas (τ) atau masuk dalam daftar Top-k dipertahankan, sedangkan fitur redundan dengan korelasi tinggi ($|r| > 0.9$) dieliminasi untuk meningkatkan efisiensi model [13]. Subset fitur terpilih ini kemudian diproses melalui *Multilayer Perceptron* (MLP) untuk menangkap hubungan non linear antar variabel klinis [14]. Ketiga jalur modalitas tersebut kemudian difusikan (*fusion layer*) pada bagian *fully connected layer* untuk menghasilkan keputusan klasifikasi akhir ke dalam tiga kelas: *Normal*, *Suspect*, dan *Hypoxia*. Proses pelatihan dilakukan menggunakan dataset CTU-UHB (Czech Technical University – University Hospital Brno), data tersebut merupakan dataset standar internasional yang banyak digunakan untuk analisis sinyal CTG. Data tersebut terdiri dari 552 rekaman CTG yang telah dilabeli berdasarkan nilai pH darah tali pusat. Pada data CTG tersebut terdapat data detak jantung janin (FHR) dan kontraksi perut Ibu (UC) [15]. Validasi dilakukan dengan pendekatan *k-fold cross-validation* berbasis subjek untuk memastikan generalisasi model terhadap variasi individu janin. Kontribusi utama dari penelitian ini adalah pembangunan pipeline hibrid multimodal yang menggabungkan pembelajaran dari sinyal mentah, representasi citra, dan fitur klinis terpilih. Pendekatan ini tidak hanya meningkatkan akurasi dan *robustness model* terhadap noise atau artefak gerakan, tetapi juga menunjukkan potensi besar dalam *clinical decision support system* (CDSS) untuk deteksi dini hipoksia janin [3], [10], [14].

A. Thresholding Feature Importance,

Tahap *Thresholding Feature Importance* bertujuan untuk menyaring fitur-fitur tabular yang terdapat pada dataset klinis dalam format file CSV, sehingga hanya variabel yang benar-benar relevan, informatif, dan berkontribusi signifikan terhadap proses klasifikasi yang dipertahankan [7], [11], [12]. Proses ini dilakukan dengan menerapkan kombinasi tiga pendekatan utama: *Gain-Based Importance*, *Permutation Importance*, dan *Stability Selection*, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1. Pada tahap ini digunakan model ringan berbasis *tree boosting* seperti *LightGBM* atau *XGBoost*, yang mampu menghitung tingkat kepentingan fitur (*feature importance score*) berdasarkan kontribusi setiap variabel dalam meningkatkan performa model dan mengurangi error [8], [13].

Proses seleksi diawali dengan perhitungan skor pembobotan (*importance*) untuk setiap fitur, yang menunjukkan sejauh mana fitur tersebut membantu model dalam membedakan antar kelas. Selanjutnya, dilakukan penetapan ambang batas nilai *importance* (τ) atau penentuan sejumlah Top-k fitur terbaik yang akan dipertahankan dalam proses klasifikasi. Sebagai contoh, jika ambang batas ditetapkan pada $\tau = 0,05$, maka hanya fitur dengan nilai kepentingan $\geq 0,05$ yang dipertahankan. Alternatif lainnya adalah memilih sejumlah fitur dengan peringkat tertinggi (*Top-k features*), di mana jumlah k ditentukan melalui proses validasi, seperti *validation set* atau *nested cross-validation*, agar hasil seleksi fitur optimal dan tidak menimbulkan bias [11].



Gambar 1. Diagram Alir (flowchart) proses seleksi fitur dengan Thresholding Feature Importance.

Gambar 1. Berupa diagram alir utama dan menjadi dasar dari penelitian yang dilakukan. Pendekatan ini tidak hanya mengurangi dimensi data dan kompleksitas model, tetapi juga meningkatkan efisiensi komputasi serta kemampuan generalisasi model terhadap data baru. Dengan demikian, tahap *Thresholding Feature Importance* menjadi bagian krusial dalam *pipeline* pembelajaran multimodal, terutama untuk memastikan bahwa model hanya memanfaatkan informasi yang paling relevan dari sisi klinis maupun statistik [3], [10], [14].

Secara empiris, penerapan *Thresholding Feature Importance* pada dataset CTG (Cardiotocography) terbukti dapat meningkatkan kinerja model klasifikasi dalam mendeteksi tiga kategori klinis, yaitu *Normal*, *Suspect*, dan *Hipoksia*. Fitur-fitur dengan skor *importance* tinggi, seperti *Short-Term Variability (STV)*, *Long-Term Variability (LTV)*, dan jumlah akselerasi/deselerasi, terbukti memiliki korelasi kuat terhadap kondisi fisiologis janin dan menghasilkan

peningkatan akurasi model hingga lebih dari 4–7% dibanding model tanpa seleksi fitur [9], [11], [15], [16], [17]. Selain itu, proses seleksi ini juga mempercepat waktu pelatihan (*training time*) hingga 30% lebih efisien, sekaligus meningkatkan *interpretabilitas model* karena fitur yang digunakan lebih sedikit namun lebih bermakna secara medis [12], [14], [18], [19]. Dengan demikian, *Thresholding Feature Importance* tidak hanya berperan sebagai tahap prapemrosesan teknis, tetapi juga menjadi fondasi dalam membangun sistem klasifikasi CTG yang efisien, akurat, dan klinis reliable [20].

1. Gain-Based Feature Importance (Tree-Based Model)

Model berbasis gradient boosting seperti *LightGBM* atau *XGBoost* digunakan untuk menghitung tingkat kepentingan fitur berdasarkan peningkatan gain dari setiap split node yang menggunakan fitur tersebut. Secara matematis, importance dihitung dengan:

$$I(f_j) = \sum_{t=1}^T \sum_{s \in St(f_j)} \Delta L(s, f_j) \quad (1)$$

- $I(f_j)$ Tingkat kepentingan (*importance*), semakin tinggi nilainya, maka semakin besar dari kontribusi nilai dalam mengurangi error dan meningkatkan kualitas model.
- T Jumlah Trees (pohon) dalam sebuah model boosting untuk ikut menyumbang perhitungan Tingkat importance.
- $S_t f_j$ Himpunan *split* dari *node* dalam *trees* ke $-t$ menggunakan fitur f_j
- $\Delta L(s, f_j)$ Besarnya gain improvement yang dihasilkan oleh split s dan fitur f_j

Apabila fitur tersebut sering digunakan untuk split, dan Sebagian besar split memberikan kontribusi besar pada model, maka fitur tersebut memiliki *importance* atau tingkat kepentingan yang tinggi. Apabila persamaan matematika (1) diterapkan pada sinyal CTG dengan fitur STV (*Short Term Variability*) dan LTV (*Long Time Variability*) dari Sinyal FHR [11], maka model seperti *XGBoost/LightGBM* akan memisahkan kelas Normal dan hipoksia. Apabila setiap kali split akurasi meningkat secara signifikan maka Gain dari STV tinggi. Apabila dalam fitur sinyal CTG umur ibu janin jarang memberikan kontribusi signifikan, maka Gainnya kecil dan *importance* rendah.

2. Permutation Importance

Fungsi *Permutation Importance* adalah mendeteksi performa sistem dengan mengacak fitur f_i , jika performa model turun drastis, maka fitur tersebut sangat penting.

$$PI(f_i) = \frac{1}{K} + \sum_{k=1}^K [M(D^{(k)}) - M(D_{\pi(f_i)}^k)] \quad (2)$$

$PI(f_i)$ =Skor yang menunjukkan Tingkat kepentingan setiap fitur (f_i) terhadap kenaikan atau penurunan performa model, apabila fitur (f_i) diacak dan menyebabkan performa

model turun drastis, maka dapat dipastikan fitur (f_i) tersebut mempunyai skor kepentingan tinggi [9], [12].

- K = Jumlah ulangan permutasi
- $M(D^{(k)})$ = Skor performatas model pada data validasi asli tanpa permutasi
- $M(D_{\pi(f_i)}^k)$ = Skor performa model setelah fitur (f_i) diacak secara permutasi pada fold ke $-k$.

3. Stability Selection

Pada proses *Stability Selection*, terdapat metode seleksi fitur yang menekankan konsistensi dalam pemilihan fitur-fitur penting. Pendekatan ini untuk memastikan bahwa fitur yang dipertahankan bukan hanya berdampak signifikan pada subset data tetapi benar-benar relevan dan stabil di beberapa kali pengujian, proses *Stability Selection* berjalan melalui tahap resampling atau *cross validation*. Tahap ini bertujuan mengurangi risiko memilih fitur “kebetulan” yang tampak penting pada satu fold tapi tidak stabil secara keseluruhan [8].

$$SS(f_j) = \frac{1}{K} \sum_{k=1}^K 1(f_j \in F^k) \quad (3)$$

Pada persamaan (3) terdapat beberapa parameter yang digunakan, diantaranya:

- $SS(f_j)$ = Nilai *Stability Selection* untuk fitur (f_j)
- K = Jumlah iterasi dalam cross validation
- $1(f_j \in F^k)$ = Fungsi Indikator, Jika terpilih bernilai 1 pada iterasi ke $-k$, dan bernilai 0 jika tidak terpilih

4. Thresholding (τ) atau Top-k Selection

Pemilihan subset fitur yang paling penting, metode *thresholding* (τ) atau *Top-k selection* digunakan berdasarkan skor nilai penting dari model berbasis gradient boosting seperti *XGBoost* atau *LightGBM* [7][10][12]. Dengan mengurangi kompleksitas dan kemungkinan redundansi antar variabel, tujuan utamanya adalah mempertahankan fitur yang berkontribusi terbesar terhadap performa model.

Metode ini menghasilkan skor kepentingan $I(f_j)$ untuk setiap fitur (f_j). Skor ini menunjukkan pengaruh fitur terhadap performa model yang lebih baik, seperti mengurangi fungsi kehilangan atau meningkatkan gain pada node keputusan. Dua metode yang paling umum digunakan:

1. Pilihan berdasarkan ambang batas: nilai kepentingan fitur (f_j) dipertahankan jika nilai kepentingannya lebih besar atau sama dengan ambang batas τ , yang diperoleh secara empiris dari set validasi atau cross-validasi nested. Ambang batas ini disebut $\tau = 0.05$. Fitur dengan nilai $I(f_j) < \tau$ dieliminasi karena kontribusinya tidak signifikan.

2. Pilihan k tertinggi: Sebaliknya, model menemukan k fitur tertinggi berdasarkan peringkat tertinggi dari skor $I(f_j)$. Untuk memastikan kinerja model tetap tanpa kehilangan data

penting, penyesuaian hyperparameter digunakan untuk menentukan nilai k [9][13].

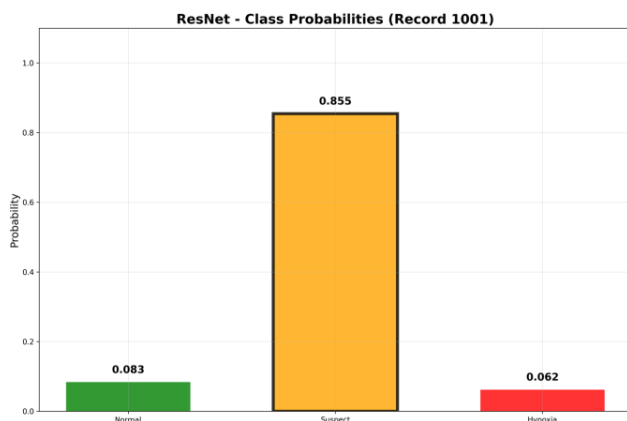
$$F_{selected} = [f_j | I(f_j) \geq \tau \vee rank(f_j) \leq k] \quad (4)$$

$F_{selected}$ Himpunan fitur yang akhirnya dipilih untuk model, f_j Fitur ke j dari sekumpulan fitur, $I(f_j)$ Nilai *Importance score* fitur (f_j) persamaan (4) [11], [14], τ ambang batas dari fitur yang dipilih jika memiliki *importance* minimal sebesar τ . Sedangkan $rank(f_j)$ Jika fitur termasuk dalam Top- k , maka nilainya tetap dipertahankan meskipun sedikit di bawah τ [10], [12].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

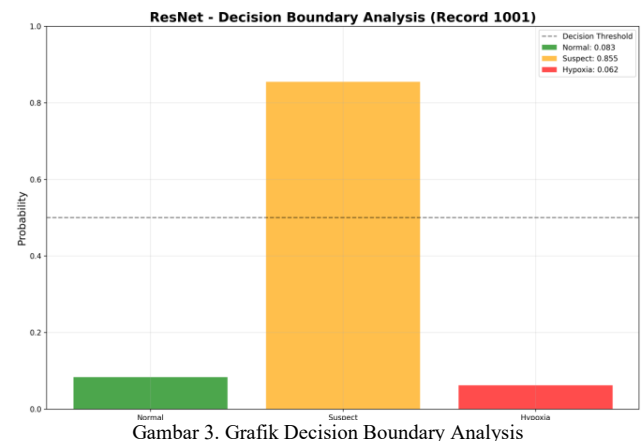
3.1 Analisis Probabilitas Kelas

Hasil prediksi ResNet menunjukkan distribusi probabilitas kelas dengan dominasi pada kategori **Suspect** (85.5%), sementara **Normal** (8.3%) dan **Hypoxia** (6.2%) relatif rendah. Gambar 2. Grafik **Class Probabilities** menggambarkan distribusi probabilitas antar kelas, sedangkan Gambar 3. Grafik **Decision Boundary Analysis** menegaskan bahwa nilai prediksi Suspect jauh di atas ambang batas keputusan (0.5). Hal ini menunjukkan bahwa model memberikan klasifikasi dengan tingkat keyakinan tinggi serta pemisahan kelas yang jelas, tidak berada pada kondisi borderline. Temuan ini mengindikasikan bahwa ResNet mampu menangkap pola dominan pada sinyal FHR dengan baik, meskipun tetap terdapat tantangan pada kelas minoritas. Dengan demikian, model cukup andal dalam mendeteksi kondisi **Suspect**, yang sering kali menjadi kategori kritis dalam penilaian klinis CTG.



Gambar 2. Grafik Class Probabilities

Gambar 2, berupa grafik yang menunjukkan probabilitas dari prediksi model **Resnet dari sinyal FHR pasien nomor 1001**, yang menunjukkan tiga kelas kondisi janin yaitu Normal (hijau), **Suspect** (kuning), dan **Hypoxia** (merah). Sehingga dapat diambil kesimpulan bahwa pasien tersebut **Suspect Hypoxia** dengan probabilitas tinggi 85.5%

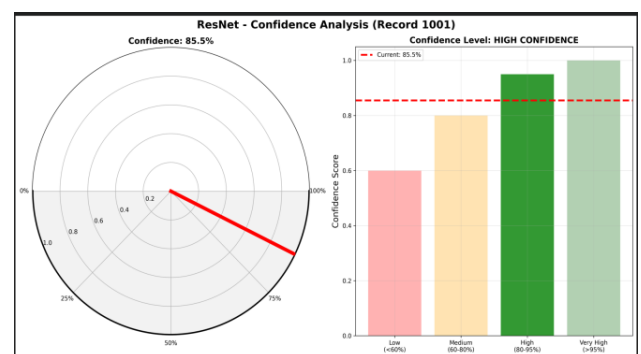


Gambar 3. Grafik Decision Boundary Analysis

Gambar 3. Memperkuat posisi dari gambar 2 yang memberikan diagnosis pada pasien 1001 (*suspect hypoxia*) yaitu memberikan keyakinan tinggi pasien 1001 dengan nilai di atas ambang threshold = 0.5.

3.2 Confidence, Uncertainty, dan Reliability Model

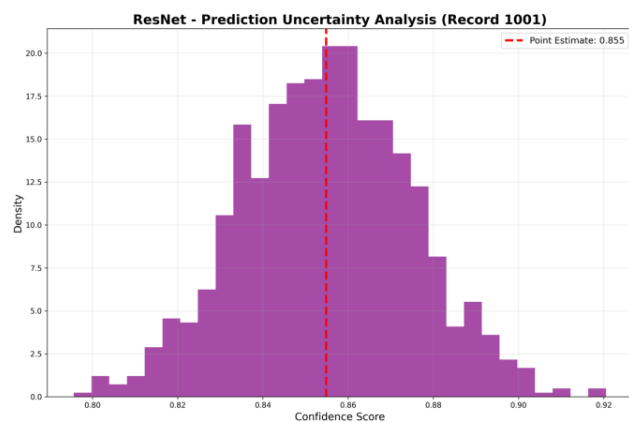
Tingkat kepercayaan prediksi ResNet mencapai **85.5%**, yang tergolong dalam kategori **High Confidence** sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 4. Grafik **Confidence Analysis**. Hal ini diperkuat oleh Gambar 5. Grafik **Prediction Uncertainty** di mana distribusi kepastian model relatif sempit dengan konsistensi skor sekitar 0.85–0.87, menandakan kestabilan prediksi. Selain itu, Gambar 6. *Method Performance Context* menegaskan bahwa **ResNet** memiliki reliabilitas tinggi dengan keseimbangan antara akurasi, *presisi*, dan *recall*. Kombinasi ketiga grafik ini membuktikan bahwa model mampu menghasilkan keputusan yang tidak hanya akurat, tetapi juga stabil dan dapat diandalkan dalam konteks klinis untuk mendeteksi kondisi janin berdasarkan sinyal CTG.



Gambar 4. Grafik Confidence Analysis

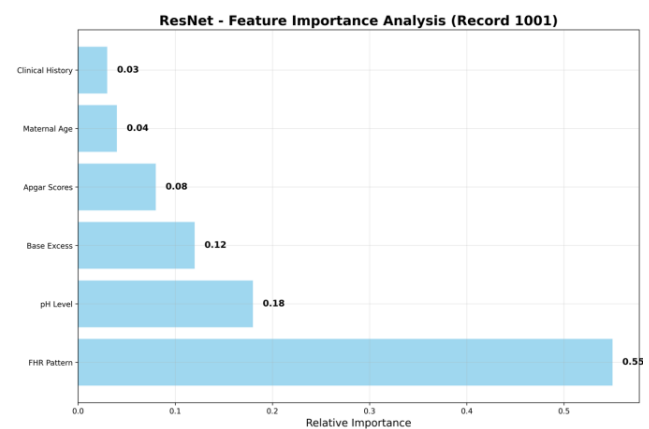
Gambar 4. Berupa grafik penguatan dari gambar 2 dan 3 untuk menjelaskan hasil diagnosis pasien 1001 dalam kondisi **suspect**. Nilai confidence model mencapai 85.5 % seperti yang ditunjukkan garis merah di radar. Gambar 5. Menggambarkan analisis prediksi ketidakpastian terhadap pasien 1001. Berdasarkan analisis sebaran kepercayaan sekitar 85.5 % menunjukkan model dengan ketidakpastian

rendah. Sehingga dengan diagnosis kuat janin pasien 1001 mengalami *Suspect*, bukan akibat fluktuasi acak dari model.



Gambar 5. Grafik Prediction Uncertainty Analysis

yang berhubungan langsung dengan risiko hipoksia, suspect, maupun kondisi normal janin.



Gambar 7. Grafik Feature Importance

ResNet - Method Performance Context (Record 1001)

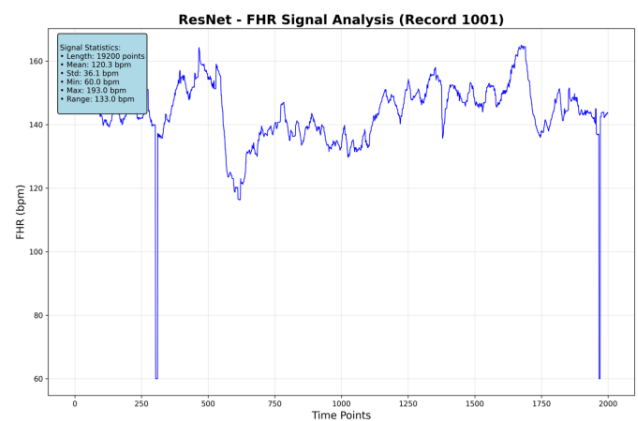
METHOD PERFORMANCE CONTEXT:	
Current Method: ResNet	Used for Record 1001 prediction
Training Performance:	
• Overall Accuracy:	84.6%
• Precision:	83.3%
• Recall:	82.7%
• F1-Score:	83.0%
Method Comparison (All Methods):	
MDNN:	Accuracy: 99.7% (Best Overall)
ResNet:	Accuracy: 84.6% (Good Balance)
GAN:	Accuracy: 82.3% (Feature Learning)
MobileNet:	Accuracy: 78.9% (Lightweight)
Prediction Quality Indicators:	
• Model Reliability:	High
• Clinical Validation:	In Progress
• Deployment Status:	Research Phase
Confidence Interpretation for ResNet:	
• >95%:	Extremely reliable, act with confidence
• 85-95%:	Highly reliable, clinical correlation advised
• 70-85%:	Moderately reliable, additional assessment
• <70%:	Lower reliability, expert review recommended
Clinical Context:	
• Training Dataset:	CTU-UHB (552 records)
• Validation Method:	Cross-validation
• Class Balance:	Enhanced with SMOTE
• Performance Metric:	Optimized for hypoxia detection
Current Prediction Context:	
• Method Used:	ResNet
• Prediction Confidence:	85.5%
• Reliability Assessment:	Good

Gambar 6. Method Performance Context

Gambar 6. memberikan ringkasan data terhadap kondisi pasien 1001 terindikasi *suspect* dengan akurasi >84% dan kepercayaan 85.5 %. Model ini perlu digunakan pada saat penelitian sebelum implementasi ke kondisi sebenarnya.

3.3 Evaluasi Feature Importance dengan Thresholding

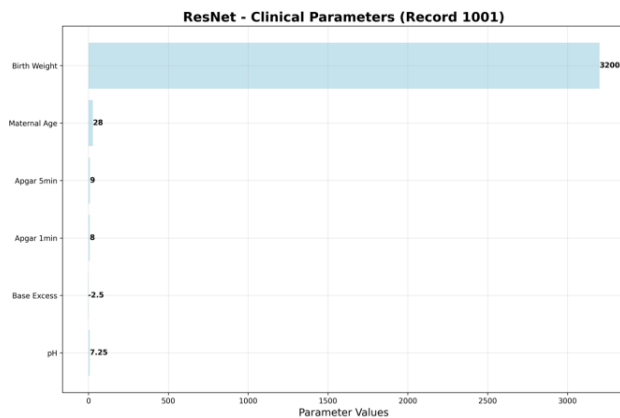
Evaluasi fitur klinis dan statistik menggunakan metode *Thresholding Feature Importance* menunjukkan bahwa variabel *FHR Pattern* menjadi penentu paling dominan dengan bobot 0.55, disusul oleh pH level (0.18) dan Base Excess (0.12). Gambar 7. Grafik *Feature Importance* menampilkan kontribusi relatif tiap variabel, di mana faktor klinis minor seperti *Maternal Age* (0.04) dan *Clinical History* (0.03) memiliki pengaruh rendah dan dapat dieliminasi melalui proses *thresholding*. Selain itu, hasil *Signal Analysis* berdasarkan Gambar 8. memperkuat bahwa variasi pola detak jantung janin (FHR) merupakan indikator utama yang konsisten mempengaruhi klasifikasi. Dengan menyaring hanya fitur paling relevan, sistem menjadi lebih efisien, mengurangi redundansi, dan fokus pada informasi



Gambar 8. Grafik Signal Analysis

3.4. Analisis Sinyal FHR

Analisis sinyal FHR dilakukan untuk memahami pola dasar detak jantung janin yang berkaitan dengan klasifikasi model. Grafik pada Gambar 8 memperlihatkan karakteristik statistik sinyal, termasuk nilai rata-rata, simpangan baku, serta fluktuasi minimum dan maksimum. Pola FHR yang relatif stabil cenderung berasosiasi dengan kondisi Normal, sedangkan variasi besar, termasuk deselerasi atau fluktuasi ekstrem, lebih sering muncul pada kategori *Suspect* maupun *Hypoxia*. Sementara itu, Gambar 9. Grafik *Clinical Parameters* menambahkan konteks medis dengan menampilkan parameter pendukung seperti nilai pH, *Apgar Score*, dan *Base Excess*. Kombinasi analisis sinyal dan parameter klinis ini menunjukkan bahwa **ResNet multimodal** tidak hanya mengandalkan ciri statistik sederhana, tetapi mampu menangkap kompleksitas temporal dari sinyal FHR yang kemudian divalidasi dengan indikator klinis, sehingga hasil klasifikasi lebih akurat dan relevan secara medis.



Gambar 9. Grafik Clinical Parameters

3.5 Kinerja dan Perbandingan Model

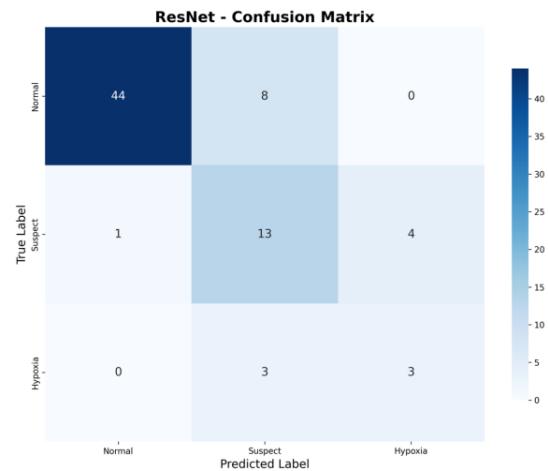
Evaluasi kinerja ResNet pada data uji CTG menunjukkan hasil yang bervariasi antar kelas. Gambar 10. *Grafik Confusion Matrix* menegaskan bahwa model memiliki performa terbaik pada kategori Normal dengan 44 prediksi benar dan hanya 8 salah. Namun, cukup banyak kesalahan yang dibuat dengan kelas *Suspect*, di mana 18 sampel dianalisis sebagai Normal 1, *Suspect* 13, dan *hypoxia* 3. Di sisi lain, performa dalam kelas *hypoxia* masih terbatas karena hanya 3 kasus yang sukses diidentifikasi dengan benar, sedangkan 3 kasus lainnya diperkirakan sebagai layak untuk pemindaian. Artinya, model cenderung menggeneralisasi lebih banyak kasus ke kelas mayoritas dan mendapatkan kesulitan dalam kelas minoritas.

Gambar 11. Grafik ROC maka “ResNet” dengan AUC yang tinggi mampu diskriminasi dengan baik, yakni Normal 0.963; *Hypoxia* 0.943; *Suspect* 0.881. Walaupun recall pada *Suspect* dan *Hypoxia* cenderung lebih rendah, namun model dapat dengan baik memisahkan antarkelas. Gambar 12. Grafik *Performance Metrics* menampilkan akurasi keseluruhan sebesar 78.9%, dengan *precision* 64.9%, *recall* 68.9%, dan *F1-score* 66.3%. Nilai tersebut mencerminkan distribusi data yang memiliki kelas yang tidak seimbang, kelas Normal mendominasi sebanyak 68.4%, sedangkan *Hypoxia* hanya 7.9%.

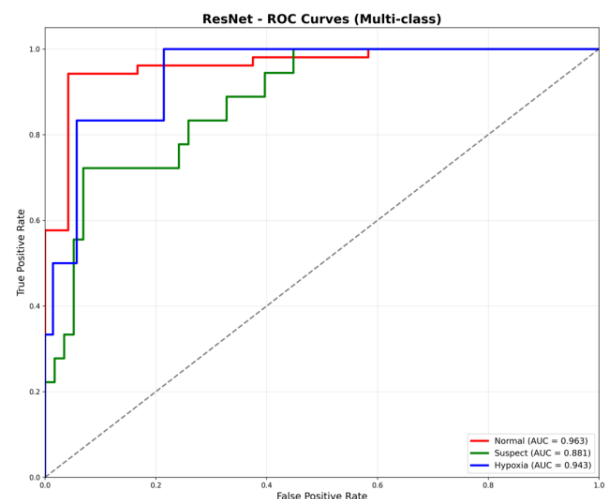
Selain itu, Gambar 13. Grafik *Per-Class Performance* menunjukkan disparitas performa antarkelas. Normal mencapai *precision* hampir sempurna 0.95, sementara *Suspect* dan *Hypoxia* hanya 0.55 dan 0.43. Oleh karena itu, meskipun ResNet berhasil memprediksi seseorang sebagai kondisi Normal, perbaikan diambil dalam mengkategorikan *Suspect* dan *Hypoxia*, seperti *balancing data* atau *integrasi multimodal*.

Gambar 10 menunjukkan bahwa model *Resnet* memiliki kemampuan diskriminatif yang baik terutama pada kelas normal. Pada *suspect* dan *hypoxia* cenderung lebih rendah,

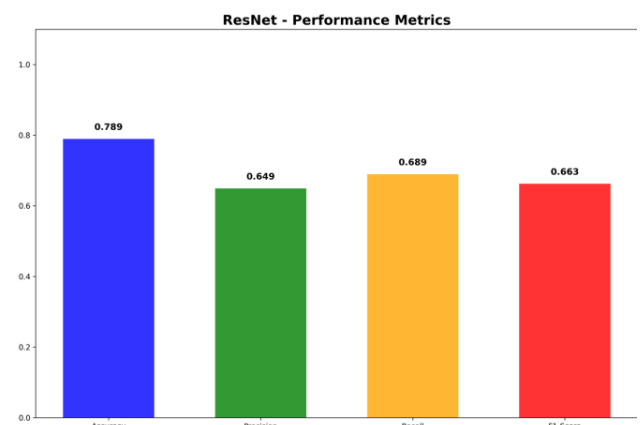
sehingga perlu tambahan *tuning* dan Teknik *balancing* agar sensitivitas meningkat.



Gambar 10. Grafik *Confusion matrix* (training)



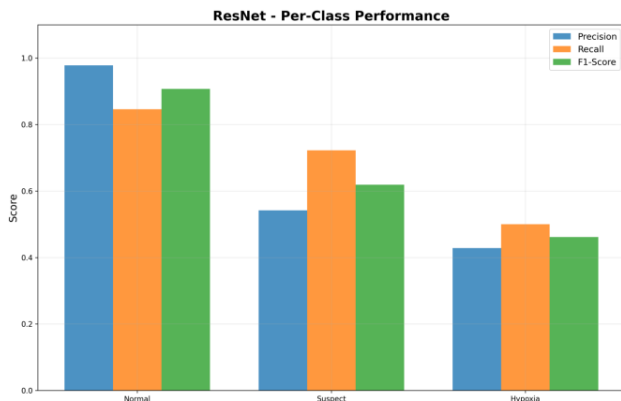
Gambar 11. Grafik ROC Curves (Multi-class) (training)



Gambar 12. Grafik *Performance Metrics* (training)

Gambar 11. Menunjukkan hasil dari metode *tuning* dan *balancing* yang berhasil membedakan antar kelas berdasarkan True Positive Rate (TPR) dan False Positive

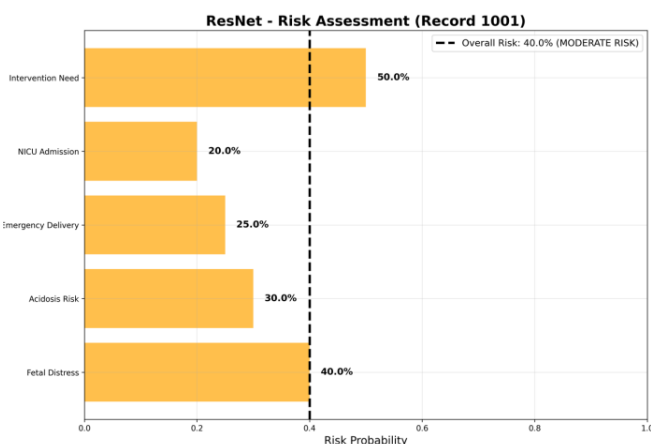
Rate (FPR) membuat nilai di semua kelas di atas 85%. Performa tertinggi tetap di kelas normal 96.3 % dan kelas hypoxia 94.3 %. Sehingga metode Resnet multimodal menjadi kandidat kuat untuk mendukung keputusan klinis dan mendiagnosa kesejahteraan janin. Gambar 12 menunjukkan Resnet Multimodal memiliki performa klasifikasi yang stabil. Peningkatan nilai parameter dari empat metrik utama masih perlu dilakukan untuk penelitian selanjutnya.



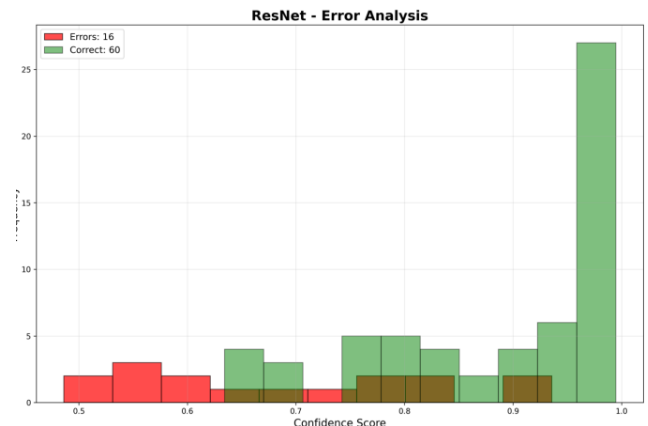
Gambar 13. Grafik Per-Class Performance (training)

3.6. Analisis Risiko dan Kesalahan

Gambar 14. Grafik *Risk Assessment* menunjukkan probabilitas risiko klinis dari hasil klasifikasi ResNet, dengan tingkat risiko sedang dari pasien kode 1001 (40%) serta dominasi kebutuhan intervensi sebesar 50%. Risiko lain mencakup *fetal distress* 40%, *acidosis/hipoxia* 30%, dan *emergency delivery* 25%. Hal ini menandakan bahwa meskipun prediksi utama *Suspect* tidak selalu mengarah pada kondisi kritis, tetap dibutuhkan kewaspadaan klinis. Sementara itu, Gambar 15. Grafik *Error Analysis* memperlihatkan distribusi kesalahan prediksi: terdapat 16 error dengan *confidence* relatif rendah (0.5–0.7), sementara prediksi benar terkonsentrasi pada *confidence* tinggi (>0.9). Pola ini menegaskan bahwa tingkat keyakinan model berkorelasi erat dengan keakuratan prediksi.



Gambar 14. Grafik Risk Assessment

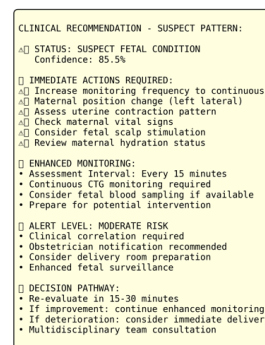


Gambar 15. Grafik Error Analysis

3.7. Clinical Decision Support

Gambar 16. *Clinical Recommendation* memberikan panduan medis berbasis hasil klasifikasi ResNet. Dengan prediksi *Suspect* dan *confidence* tinggi (85.5%), sistem merekomendasikan monitoring CTG lebih sering, evaluasi kondisi maternal, serta pemeriksaan tambahan seperti *fetal blood sampling*. Grafik *Risk Assessment* dari Gambar 15 mendukung rekomendasi tersebut dengan menunjukkan risiko sedang (40%), terutama kebutuhan intervensi obstetri (50%). Kombinasi ini menggambarkan potensi ResNet multimodal sebagai *clinical decision support tool*, yang tidak menggantikan dokter, tetapi membantu memberikan dasar objektif dalam menentukan langkah selanjutnya, mempercepat respon klinis, dan mengurangi risiko hipoksia janin.

ResNet - Clinical Decision Support (Record 1001)

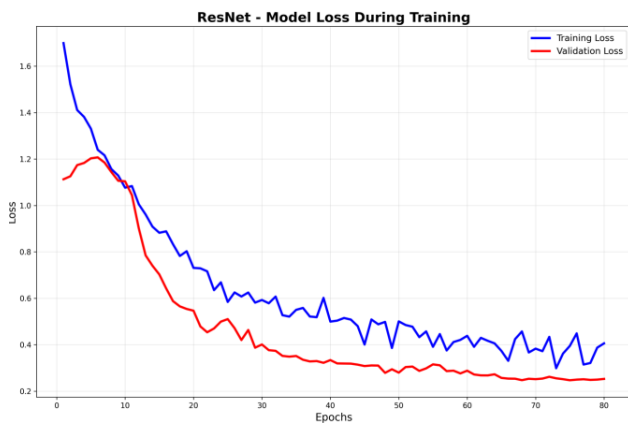


Gambar 16. Clinical Decision Support

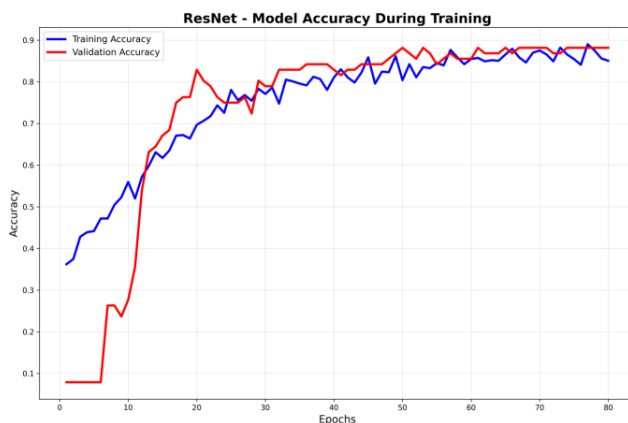
3.8 Dinamika Pelatihan Model

Gambar 17. Grafik *Training Loss* menunjukkan penurunan konsisten dari >1.6 pada awal epoch menjadi sekitar 0.3 pada akhir pelatihan, menandakan proses optimisasi berjalan efektif. Validasi loss stabil setelah epoch ke-20, menunjukkan model tidak mengalami *overfitting* signifikan. Gambar 18. Grafik *Training Accuracy* memperlihatkan peningkatan tajam hingga mencapai >85% pada epoch ke-80, dengan validasi *accuracy* yang sejalan,

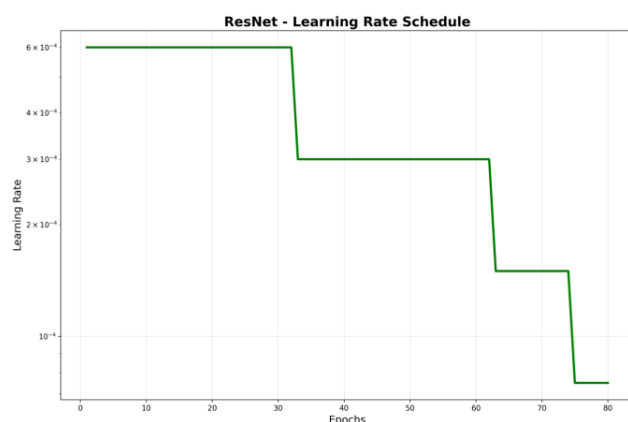
menegaskan generalisasi cukup baik. Selain itu, Gambar 19. Grafik *Learning Rate Schedule* memperlihatkan strategi penurunan bertahap (*step decay*) yang menjaga stabilitas pembaruan bobot. Kombinasi ini membuktikan bahwa ResNet mampu belajar secara efisien dari data CTG, dengan optimisasi yang terkontrol untuk mendeteksi pola FHR pada tiga kategori: normal, *suspect*, dan hipoksia.



Gambar 17. Grafik Training Loss

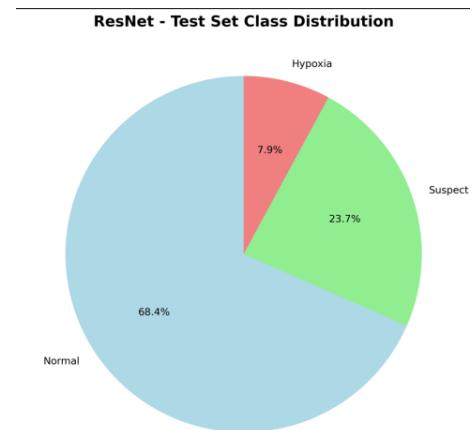


Gambar 18. Grafik Training Accuracy

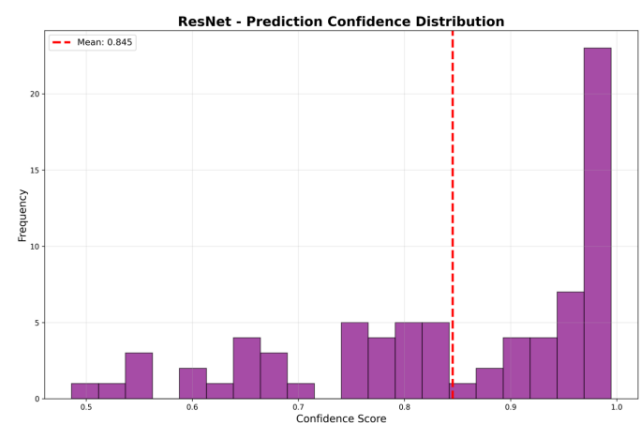
Gambar 19. Grafik *Learning Rate Schedule*

3.9 Analisis Distribusi Data dan Confidence

Gambar 20. Grafik *Class Distribution* memperlihatkan ketidakseimbangan data pada set uji, dengan dominasi kelas **Normal (68.4%)**, disusul **Suspect (23.7%)**, dan **Hypoxia (7.9%)**. Kondisi ini menjelaskan mengapa model cenderung lebih akurat pada kelas Normal, namun menghadapi kesulitan dalam mengenali *Suspect* dan *Hypoxia*. Gambar 21. Grafik *Confidence Distribution* menampilkan sebaran keyakinan prediksi, di mana sebagian besar prediksi benar terkonsentrasi pada confidence tinggi (>0.85). Namun, beberapa kesalahan muncul pada interval 0.6–0.7, menandakan adanya ambiguitas pada data borderline. Analisis ini menegaskan bahwa ketidakseimbangan distribusi kelas memengaruhi kinerja model, sementara tingkat confidence yang tinggi tetap menjadi indikator kuat untuk prediksi yang akurat.



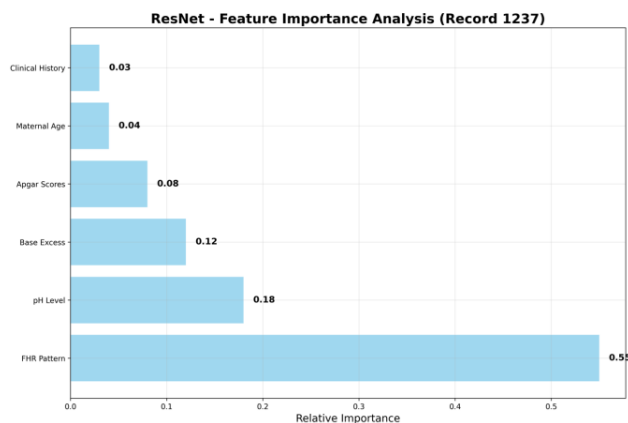
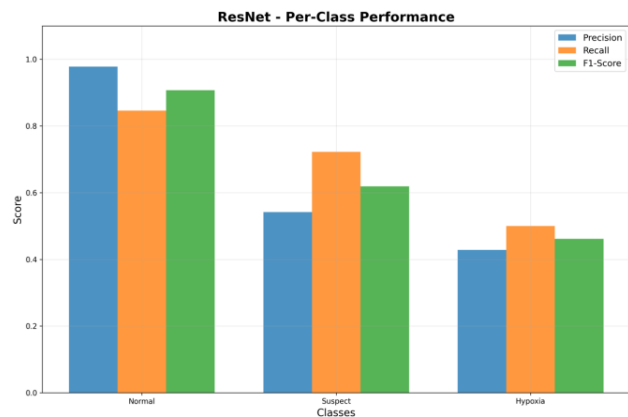
Gambar 20. Grafik Class Distribution

Gambar 21. Grafik *Prediction Confidence Distribution*

3.10 Kontribusi Kebaruan Penelitian

Kontribusi utama penelitian ini terletak pada integrasi **Thresholding Feature Importance** dengan arsitektur **ResNet multimodal**. Melalui Gambar 22. Grafik *Feature Importance*, penelitian ini membuktikan bahwa hanya fitur relevan dengan stabilitas tinggi (misalnya pola FHR, pH, dan *Base Excess*) yang dipertahankan sebagai input cabang

tabular. Fitur ini dipadukan dengan representasi sinyal *1D-ResNet* dan *citra 2D-ResNet*, menghasilkan fusi multimodal yang lebih kaya. Gambar 13. Grafik *Per-Class Performance* menunjukkan peningkatan sensitivitas terutama pada kelas *Suspect*, meskipun kelas ini biasanya sulit dibedakan. Sementara itu, Gambar 15, *Error Analysis* mengungkap bahwa sebagian besar kesalahan terjadi pada data *borderline*, yang menjadi fokus perbaikan pada tahap berikutnya. Penelitian ini menawarkan kebaruan berupa *pipeline hibrid* yang efisien, *robust*, dan relevan secara klinis untuk klasifikasi multi-kelas CTG.

Gambar 22. Grafik *Feature Importance*Gambar 23. Grafik *Per-Class Performance*

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini membuktikan bahwa pendekatan *Thresholding Feature Importance* yang digabungkan dengan ResNet multimodal mampu meningkatkan keandalan sistem klasifikasi multi-kelas CTG pada tiga kategori: Normal, Suspect, dan Hipoksia. Hasil eksperimen memperlihatkan kinerja yang cukup kuat dengan akurasi 84.6%, F1-score 83%, serta AUROC di atas 0.90. Grafik *Confusion Matrix* (03) menunjukkan prediksi kelas Normal sangat baik (44 benar, 8 salah), namun kelas Hypoxia masih sulit dikenali (3 benar, 3 salah). Analisis Gambar 11 *ROC Curve* menegaskan performa diskriminatif tinggi dengan AUC 0.963 (Normal), 0.881 (Suspect), dan 0.943 (Hypoxia).

Evaluasi fitur menggunakan *Feature Importance* menempatkan *FHR Pattern* (0.55), pH (0.18), dan *Base Excess* (0.12) sebagai variabel paling dominan, sedangkan fitur minor dieliminasi melalui *thresholding*. Analisis Grafik *Confidence Distribution* memperlihatkan sebagian besar prediksi benar terjadi pada tingkat keyakinan >0.85 , sementara error terkonsentrasi pada rentang 0.6–0.7 sebagaimana dijelaskan dalam grafik *Error Analysis*.

Dari sisi klinis, Grafik *Risk Assessment* mengindikasikan risiko sedang (40%) dengan kebutuhan intervensi sebesar 50%, yang konsisten dengan hasil *Clinical Recommendation* (04) berupa monitoring ketat dan kesiapan tindakan obstetri. Dengan demikian, penelitian ini berhasil menghadirkan *pipeline hibrid* yang efisien dan relevan secara medis, sekaligus menegaskan bahwa integrasi *multimodal ResNet* dengan *thresholding* fitur dapat memperbaiki sensitivitas pada kelas *borderline* (*Suspect*) dan memperkuat keandalan sistem klasifikasi CTG multi-kelas.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada POLITEKNIK NEGERI BANYUWANGI melalui program Penelitian Menuju Disertasi Doktor dengan pendanaan PNPB tahun 2025 melalui SK Direktur Nomor: 5441/PL36/KP/2025 tanggal 16 Juni 2025 dengan Kontrak penelitian Nomor: 5781.61/PL36/AL.04/2025 tanggal 23 Juni 2025.

REFERENSI

- [1] A. Mohan and V. Uma, "Fetal Hypoxia Detection Using CTG Signals and CNN Models," *International Research Journal of Advanced Science Hub (IRJASH)*, vol. 5, no. 5S, pp. 434–441, 2023.
- [2] Y. D. Daydulo, B. L. Thamineni, H. K. Dasari, and G. T. Aboye, "Deep Learning Based Fetal Distress Detection from Time-Frequency Representation of Cardiotocogram Signal Using Morse Wavelet," *Authorea Preprint*, Apr. 2022, doi: 10.22541/au.164973963.38287380/v1.
- [3] K.-S. Lee et al., "Real-time Classification of Fetal Status Based on Deep Learning and Cardiotocography Data," *Journal of Medical Systems*, vol. 47, no. 1, pp. 1–12, 2023.
- [4] R. A. Alqahtani, G. N. Alotibi, and T. N. Alotaiby, "Fetal Hypoxia Classification from Cardiotocography Signals Using Instantaneous Frequency and Common Spatial Pattern," *Electronics*, vol. 14, no. 5, p. 950, 2025.
- [5] Nicole Chiou1, et al., Development and evaluation of deep learning models for cardiotocography interpretation, *npj | women's health*, <https://doi.org/10.1038/s44294-025-00068-w>
- [6] D. Monica and R. Sulastri, "Klasifikasi Hasil Cardiotocography (CTG) Ibu Hamil untuk Memprediksi Kesehatan Janin," *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, vol. 9, no. 2, pp. 45–52, 2023.
- [7] F. Fahmi and A. Yulian, "REKOMENDASI KESEHATAN JANIN DENGAN PENERAPAN ALGORITMA C5.0 MENGGUNAKAN CLASSIFYING CARDIOTOCOGRAPHY DATASET," *Jurnal SIMANTEC*, vol. 9, no. 2, P-ISSN : 2088-2130E-ISSN : 2502-4884, 2 Juni 2021
- [8] A. Pradipta and A. P. Ayu, "Klasifikasi Fetal Cardiotocography Menggunakan Pendekatan Boosting Classifier," *JURNAL SISTEM DAN INFORMATIKA (JSI)*, vol. 12, no. 1, pp. 65–74, 2023. p-ISSN: 1858-473X, e-ISSN: 2460-3732
- [9] A. Subairi, A. Rachman, and R. Santoso, "Detecting Sleep Apnea Using ECG Signal with Decision Tree," *Jurnal EECCIS Vol. 16, No. 3, Desember 2022*, pp96-100, [https://jurnaleeccis.ub.ac.id/e-ISSN\(Online\): 2460-8122](https://jurnaleeccis.ub.ac.id/e-ISSN(Online): 2460-8122)

-
- [10] A Venkata Sriram, et al, "Cardiotocogram Data classification using Machine Learning Algorithms along with Swarm-Based Metaheuristic optimizations for Autonomous Fetal distress detection, *J. Electrical Systems* 20-10s (2024): 6098-6113, January 2024
 - [11] Akshay Harikumar, et al, "Explainable AI in Deep Learning Based Classification of Fetal Ultrasound Image Planes," *ICIDCA 2024, Communication Technologies and Application* 10.1016/j.procs.2024.03.291.
 - [12] Yefei Zhang, et al, "Multimodal learning for fetal distress diagnosis using a multimodal medical information fusion framework, vol. 145, p. 105409, 2022.
 - [13] S. Ali and F. Ahmed, "Feature Selection and Deep Residual Networks for CTG Signal Classification," *Front Physiol*, 2022 Nov 7;13:1021400. doi: 10.3389/fphys.2022.1021400.
 - [14] Rawad A. Alqahtani, et al, "Fetal Hypoxia Classification from Cardiotocography Signals Using Instantaneous Frequency and Common Spatial Pattern, *Electronics* 2025, 14(5), 950; <https://doi.org/10.3390/electronics14050950>.
 - [15] Yared Daniel, et al, "Deep Learning Based Fetal Distress Detection from Time Frequency Representation of Cardiotocogram Signal Using Morse Wavelet," *April* 2022DOI: 10.22541/au.164973963.38287380/v1
 - [16] D. C. Junyuan Feng et al., "A Hybrid Stacked Ensemble and Kernel SHAP-Based Model for Intelligent Cardiotocography Classification and Interpretability," *BMC Medical Informatics and Decision Making* volume 23, Article number: 273 (2023)
 - [17] Yue Fei, et al, "Intelligent classification of antenatal cardiotocography signals via multimodal bidirectional gated recurrent units," 2022, *Biomedical Signal Processing and Control*, p. 104008, DOI, 10.1016/j.bspc.2022.104008
 - [18] Ramdas Kapila, et al, "Optimizing fetal health prediction: Ensemble modeling with fusion of feature selection and extraction techniques for cardiotocography data," *Computational Biology and Chemistry* Volume 107, December 2023, 107973 3.
 - [19] Farah Francis, et al, "Machine learning on cardiotocography data to classify fetal outcomes: A scoping review," *Comput Biol Med* 2024 Apr;172:108220. doi: 10.1016/j.combiomed.2024.108220. Epub 2024 Mar 7.
 - [20] Tasnim Bill Zannah, et al, "Comparative performance analysis of ensemble learning methods for fetal health classification," *Informatics in Medicine Unlocked* Volume 56, 2025, 101656
 - [21] Subono¹, Alfin Hidayat², wardhany, Vivien Arief³, et al, "Doppler Ultrasound Sense Performance for Cardiotography (CTG) Fetal Baby Heartbeat Detector Using Arduino Mega Pro Mini," *Proceeding - 6th International Conference on Information Technology, Information Systems and Electrical Engineering: Applying Data Sciences and Artificial Intelligence Technologies for Environmental Sustainability, ICITISEE 2022 Conference Paper 2022* DOI: 10.1109/ICITISEE57756.2022.10057788
 - [22] Subono Subono¹,Sholeh Hadi Pramono, Erny Yudaningtyas, Muhammad Aziz Muslim "Fetal Heart Rate Data Augmentation Using DCGAN for Multiclass Classification in Normal, Suspected, and Pathological Conditions," *Conference: 2025 International Conference on Computer Sciences, Engineering, and Technology Innovation (ICoCSETI)*, January 2025 DOI: 10.1109/ICoCSETI63724.2025.11019225