



SESSION

Software Development, Digital Business Intelligent,
and Computer Engineering

VOL. 04

NO. 02

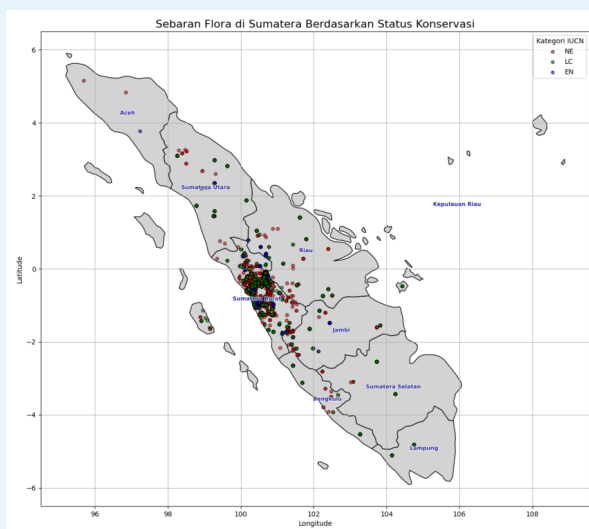
MARET 2026

MARET 2026 / VOL. 04 / NO. 02

DATA DAN MAKNA RUANG

Analisis spasial, platform digital, dan keputusan yang berdampak

5 ARTIKEL / SISTEM DIGITAL



SOROTAN EDISI

FLORA DI SUMATRA

Data spasial, konservasi, dan alur kerja data
lakehouse

DARI ARTIKEL 435

Hadoop / Spark

Analisis spasial

Gambar asli dari edisi ini

DALAM EDISI INI

ARTIKEL PILIHAN

- 01 | Kualitas situs web dan pengalaman pengguna
- 02 | Data lakehouse sebaran flora Sumatera
- 03 | Pendukung keputusan penyaluran beras
- 04 | Fuzzy logic dengan optimasi Taguchi
- 05 | Deployment CI/CD dengan Docker

E-ISSN 2963-9026

JURUSAN BISNIS DAN INFORMATIKA

POLITEKNIK NEGERI BANYUWANGI

VOL. 04 / NO. 02



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](#) — [Kemendikisaintek](#) • [GARUDA](#) • [Google Scholar](#) • [Indonesia OneSearch](#) • [Dimensions](#) • [Portal ISSN](#)

ABSTRAK TERBITAN

Terbitan ini menghimpun lima artikel yang bertumpu pada pemanfaatan data: kualitas layanan web dan pengalaman pengguna, sistem data lakehouse untuk sebaran flora, sistem pendukung keputusan penyaluran beras, optimasi hibrida fuzzy logic-Taguchi, serta otomasi deployment berbasis CI/CD.

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. 02 • MARET 2026 • 5 ARTIKEL

ARTIKEL 01

hal. 01-10

Analisis Pengaruh Kualitas Website Satupersen.net Terhadap Pengalaman Pengguna (UX) Menggunakan Metode Webqual 4.0

Muhammad Muharrom, Muhammad Hafiz Andriansyah

<https://doi.org/10.57203/session.v4i2.2026.01-10>

ARTIKEL 02

hal. 12-20

Analisis Persebaran Flora di Sumatera Melalui Sistem Data Lakehouse Menggunakan Interpolasi Spatial Analysis Berbasis Hadoop dan Apache Spark

Elok Fiola Elok, Dea Mutia Risani, Yohana Manik, Asa Do'a Uyi, Ardika Satria, Luluk Muthoharoh

<https://doi.org/10.57203/session.v4i2.2026.12-20>

ARTIKEL 03

hal. 21-29

Sistem Cerdas Penunjang Keputusan Penyaluran Beras Menggunakan Metode Fuzzy dan Klasifikasi Naïve Bayes

VIVI ASBAR, Nur Amalia Hasma

<https://doi.org/10.57203/session.v4i2.2026.21-29>

ARTIKEL 04

hal. 30-36

Aplikasi Metode Hibrid Fuzzy Logic dan Teknik Taguchi untuk Optimasi Multi-Respons pada Proses Bubut Material ST-60

Mohammad Abdul Wahid Wahid, Moh. Nur Shodiq1, Dian Ridlo Pamuji, Dedy Hidayat Kusuma, Herman Yuliandoko, Nuraini Lusi

<https://doi.org/10.57203/session.v4i2.2026.30-36>

ARTIKEL 05

hal. 38-44

PENERAPAN CI/CD UNTUK OTOMASI DEPLOYMENT APLIKASI BERBASIS WEB MENGGUNAKAN DOCKER DAN GITHUB ACTIONS

Asfin Rizaldy, Haris Yuana, Rizki Dwi Romadhona

<https://doi.org/10.57203/session.v4i2.2026.38-44>

Analisis Pengaruh Kualitas Website Satupersen.net Terhadap Pengalaman Pengguna (UX) Menggunakan Metode Webqual 4.0

Analysis of The Influence of Satupersen.net Website Quality on Users Experience (UX) Using The Webqual 4.0 Method

Muhammad Hafiz Andriansyah¹, dan Muhammad Muharrom²

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

*Penulis korespondensi: cahyagemilang84@gmail.com

Abstract

The rapid development of digital technology has driven an increasing demand for website quality as a medium for providing information and online services. Satu Persen, as an educational and psychological service platform, is required to deliver an optimal user experience. This study aims to evaluate the quality of the Satupersen.net website using the Webqual 4.0 framework, which consists of three dimensions: usability, information quality, and service interaction quality. A quantitative research approach was applied, with data collected through online questionnaires distributed to 100 respondents who had accessed the Satu Persen website. The research model, tested using both T-test and F-test, was able to explain 58.3% of the variance, indicating that the three WebQual dimensions, either partially or simultaneously, have a significant influence. The average user satisfaction with Satu Persen website reached 3.95 across 4 variables. The overall results show that usability and service interaction quality significantly affect user experience, while information quality provides only a slight influence. These findings emphasize that ease of use and the quality of service interaction are the main factors shaping user satisfaction with Satu Persen.

Keywords: Website Quality, Webqual 4.0, Satupersen.net, User Experience

Abstrak

Perkembangan teknologi digital yang pesat mendorong meningkatnya terhadap kualitas website sebagai sarana penyedia informasi dan layanan daring. Satu Persen sebagai platform edukasi dan layanan psikologi, dituntut untuk menghadirkan pengalaman pengguna yang optimal. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi kualitas website satupersen.net dengan menggunakan Webqual 4.0 yang terdiri dari 3 variabel independen, yaitu usability, information quality, service interaction quality, serta 1 variabel dependen yaitu user satisfaction. Pendekatan penelitian kuantitatif digunakan dengan pengumpulan data melalui kuesioner daring yang dibagikan kepada 100 responden yang pernah mengakses website Satu Persen. Model penelitian yang telah diuji T dan uji F mampu menjelaskan 58,3%, menunjukkan bahwa ketiga dimensi Webqual, baik secara parsial maupun simultan terbukti memiliki pengaruh yang signifikan. Lalu rata-rata kepuasan pengguna terhadap website Satu Persen mencapai 3.95 dari 4 variabel. Hasil keseluruhan penelitian menunjukkan bahwa usability dan service interaction quality berpengaruh signifikan terhadap pengalaman pengguna, sedangkan information quality sedikit memberikan pengaruh. Temuan ini menegaskan bahwa kemudahan pengguna serta kualitas interaksi layanan merupakan faktor utama yang membentuk kepuasan pengguna Satu Persen.

kata kunci: Kualitas Website, Webqual 4.0, Satupersen.net, Pengalaman Pengguna

PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi digital telah membawa perubahan besar dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk dalam bidang kesehatan mental. Kini, layanan psikologi tidak lagi hanya tersedia secara tatap muka, melainkan juga dapat diakses secara daring melalui platform berbasis website. Transformasi ini memungkinkan lebih banyak orang, terutama yang memiliki keterbatasan waktu atau akses geografis, untuk memperoleh bantuan psikologis dengan cara yang lebih fleksibel dan praktis.

Dalam konteks layanan psikologi berbasis digital, kualitas website memiliki peranan penting dalam membentuk pengalaman pengguna (*User Experience*) [2]. Selain menyajikan informasi secara akurat, website yang baik harus dirancang secara *user-friendly*, mudah dinavigasi, serta mendukung interaksi layanan yang lancar dan responsif [3].

Satupersen.net, sebuah platform digital yang dikelola



Gambar 1. Tampilan Depan Website

oleh Satu Persen – Indonesian Life School, merupakan salah satu penyedia layanan pengembangan pribadi dan kesejahteraan mental. Platform ini hadir dengan misi meningkatkan kualitas hidup, terutama bagi generasi muda, melalui beragam layanan seperti webinar, mentoring, konseling, hingga kelas online.

Salah satu kerangka yang banyak digunakan untuk mengevaluasi aspek ini adalah model Webqual 4.0, yang mencakup tiga variabel independen, yaitu kemudahan penggunaan, kualitas informasi yang disajikan, serta kualitas interaksi dengan layanan, serta satu variabel dependen yaitu kepuasan pengguna. Keempat aspek ini menjadi fondasi penting dalam menciptakan pengalaman digital yang efektif, nyaman, dan memuaskan bagi pengguna.

Hingga saat ini, belum terdapat studi yang secara khusus mengkaji kualitas website Satupersen.net berdasarkan persepsi langsung dari para penggunanya. Kesenjangan dalam literatur ini menjadi penting untuk diisi, agar dapat dipahami seberapa efektif situs tersebut dalam mendukung pengalaman pengguna secara menyeluruh dan optimal. Evaluasi berbasis persepsi pengguna akan memberikan wawasan berharga guna meningkatkan kualitas layanan digital yang lebih responsif dan berfokus pada kebutuhan pengguna.

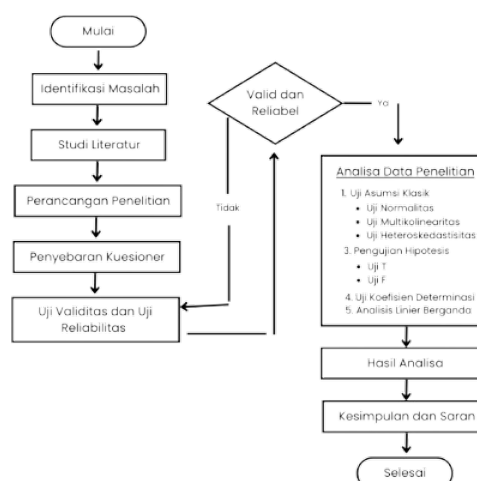
Penelitian ini menggunakan metode Webqual 4.0 sebagai instrumen untuk mengukur kualitas pengalaman pengguna di Satupersen.net. Dalam pengolahan data, diterapkan berbagai analisis statistik, termasuk uji validitas dan reliabilitas, pemeriksaan asumsi klasik, hingga regresi linier berganda. Tujuannya adalah untuk memperoleh gambaran yang akurat dan mendalam mengenai sejauh mana masing-masing dimensi dalam model Webqual seperti kemudahan penggunaan, kualitas informasi, dan kualitas interaksi layanan, berkontribusi terhadap keseluruhan pengalaman pengguna pada platform tersebut.

Penelitian ini berfokus pada evaluasi kualitas situs web berbasis kesehatan mental di Indonesia, dengan menggunakan kerangka Webqual 4.0 sebagai pendekatan analisis pengalaman pengguna (UX). Hasil yang diperoleh diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap kajian akademik mengenai kualitas situs web dalam konteks layanan digital kesehatan mental. Selain itu, temuan penelitian ini juga ditujukan untuk memberikan rekomendasi praktis bagi pengelola Satupersen.net guna meningkatkan kualitas platform mereka, sehingga layanan yang diberikan lebih efektif, mudah diakses, dan mampu menjangkau masyarakat yang lebih luas dalam mendukung pemeliharaan kesehatan mental.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan mengadopsi model Webqual 4.0 untuk menganalisis kualitas website Satupersen.net berdasarkan persepsi pengguna [8]. Pemilihan metode kuantitatif bertujuan untuk memperoleh gambaran yang objektif dan terukur, dengan mengandalkan data numerik yang dapat diolah dan dianalisis secara statistik. Pendekatan ini memungkinkan penulis untuk mengidentifikasi hubungan antar variabel serta memberikan hasil yang dapat digeneralisasi dalam konteks pengalaman pengguna terhadap platform layanan kesehatan mental tersebut.

Dalam penelitian ini, teknik *purposive sampling* digunakan sebagai metode *non-probability sampling* untuk memilih responden berdasarkan kriteria tertentu yang dite-



Gambar 2. Tahapan penelitian

tapkan oleh peneliti. Salah satu kriteria utama adalah responden pernah mengunjungi website Satupersen.net. Pemilihan responden secara sengaja dengan pertimbangan spesifik ini bertujuan untuk memastikan bahwa data yang diperoleh berasal dari individu yang memiliki pengalaman langsung dalam menggunakan platform tersebut, sehingga hasil penelitian lebih relevan dan mendukung analisis yang akurat terhadap kualitas pengalaman pengguna.

Untuk memperoleh hasil yang akurat dan dapat dipercaya, penelitian ini dilaksanakan melalui serangkaian tahapan yang sistematis dan terstruktur. Setiap tahap dirancang dengan tujuan serta aktivitas spesifik yang saling mendukung guna mencapai objektivitas dan kualitas analisis yang tinggi. Untuk memperjelas tahapan penelitian pada Gambar 2, penelitian ini terdiri dari beberapa tahap berikut:

1. **Identifikasi Masalah.** Tahapan pertama adalah mengkaji secara mendalam berbagai permasalahan yang terdapat pada tampilan, struktur konten, serta fungsionalitas website Satupersen.net. Kemudian hasil identifikasi ini menjadi dasar penyusunan fokus penelitian dan penentuan indikator Webqual 4.0 yang relevan.
2. **Studi Literatur.** Memperoleh pemahaman yang lebih komprehensif mengenai berbagai teori, konsep, teknik, serta aspek-aspek terkait pengalaman pengguna (*user experience/UX*) untuk membentuk kerangka berpikir agar penelitian ini tersusun dengan logis dan terarah.
3. **Perancangan Penelitian.** Menyusun kerangka penelitian secara komprehensif yang mencakup pemilihan metode penelitian, identifikasi variabel-variabel kunci, penentuan teknik pengambilan sampel, serta penyusunan instrumen pengumpulan data. Instrumen utama yang digunakan adalah kuesioner, lalu teknik pengambilan sampel yang digunakan adalah *purposive*

sampling untuk memastikan relevansi data.

4. **Penyebaran Kuesioner.** Pertanyaan yang menggambarkan indikator Webqual 4.0 dibuat menggunakan Google Form dan dibagikan kepada pengguna Satupersen.net. Tujuannya adalah untuk mendapatkan data yang representatif tentang pengalaman dan persepsi pengguna.
5. **Uji Instrumen.** Uji reliabilitas dan validitas dilakukan untuk menilai konsistensi instrumen. Hal ini memastikan bahwa data yang dikumpulkan tidak hanya akurat tetapi juga dapat diandalkan.
6. **Hasil Analisa.** Tahapan ini merupakan tahap interpretasi data pasca-pengujian instrumen. Hasilnya akan digunakan sebagai dasar untuk menentukan kesimpulan akhir pengujian, menggunakan rumus dan aturan penilaian instrumen yang berlaku.
7. **Kesimpulan dan Saran.** Menyusun kesimpulan berdasarkan hasil analisis dan memberikan saran yang objektif kepada pengelola Satupersen.net tentang cara meningkatkan kualitas website penelitian.

INSTRUMEN PENELITIAN

Instrumen pada penelitian ini berupa kuesioner yang disusun dengan total 23 butir pertanyaan terdiri dari 3 dimensi Webqual 4.0, yang akan disebarluaskan kepada pengguna website Satupersen.net sebagai responden untuk memperoleh data mengenai persepsi serta pengalaman mereka dalam menggunakan website tersebut. Rincian instrumen disajikan pada Tabel 1.

Instrumen penelitian memastikan data yang dikumpulkan dapat digunakan untuk menguji hipotesis dan menjawab rumusan masalah.

PENELITIAN TERKAIT

Bagian ini menyajikan tinjauan komprehensif terhadap berbagai temuan empiris dan konseptual dari penelitian terdahulu yang relevan, khususnya yang berfokus pada evaluasi kualitas website dengan kerangka Webqual 4.0 pada platform layanan pengguna. Ringkasan penelitian terkait disajikan pada Tabel 2.

Dengan demikian, hasil analisis dari penelitian sebelumnya berfungsi sebagai pembandingan dan pijakan teoritis untuk menginterpretasikan pengaruh dimensi Webqual 4.0 terhadap kepuasan pengguna website.

METODE PENGUMPULAN DATA

Dalam penelitian ini, ada 3 metode utama yang digunakan untuk mengumpulkan data, yang berfokus pada pengalaman pengguna (*user experience/UX*). Metode-metode ini bertujuan untuk memberikan tinjauan teori, pengamatan langsung, dan metode pengumpulan data.

1. **Observasi.** Penulis melakukan observasi langsung terhadap struktur, tampilan visual, serta fitur-fitur yang tersedia pada website Satupersen.net. Observasi ini bertujuan untuk memberikan gambaran kontekstual tentang pengalaman yang dialami pengguna saat mengun-

jungi situs web tersebut.

2. **Studi Literatur.** Penulis menelaah berbagai sumber referensi akademik seperti jurnal nasional, buku, serta hasil penelitian terdahulu yang membahas topik kualitas website dan penerapan metode WebQual 4.0.
3. **Kuesioner.** Untuk mengumpulkan data mengenai kualitas website Satupersen.net, penelitian ini menggunakan kuesioner tertutup sebagai instrumen utama. Kuesioner ini dirancang berdasarkan indikator-indikator dari empat variabel dalam model Webqual 4.0.

Kuesioner dirancang menggunakan Google Forms dan disebarluaskan secara online melalui media sosial serta grup internal di satu kampus untuk menjangkau responden yang relevan. Instrumen ini bertujuan mengukur persepsi pengguna terhadap empat variabel dalam model Webqual 4.0, ada 3 variabel independen yaitu kegunaan, kualitas informasi, kualitas interaksi layanan, dan 1 variabel dependen yaitu kepuasan pengguna. Setiap pernyataan dalam kuesioner menggunakan skala Likert dengan beberapa tingkatan jawaban, memungkinkan responden menyatakan tingkat persetujuan mereka secara proporsional. Kategori skala Likert yang digunakan disajikan pada Tabel 3.

Peneliti menerapkan teknik *purposive sampling* yang merupakan bagian dari metode *non-probability sampling*, dengan tujuan memilih responden berdasarkan kriteria spesifik. Sampel penelitian tetap representatif terhadap populasi yang dituju, yakni individu yang memiliki pengalaman langsung saat mengakses website Satupersen.net. Dengan pendekatan ini, data yang dikumpulkan diharapkan lebih relevan dan mendukung analisis yang fokus pada persepsi pengguna mengenai kualitas website.

Selain itu, jumlah sampel yang ideal ditentukan dengan menggunakan rumus Slovin, dengan pertimbangan tingkat kesalahan atau *margin kesalahan*, yang ditetapkan pada 10%. Perhitungan ukuran sampel dilakukan dengan rumus berikut:

$$n = \frac{N}{1 + Ne^2} \quad (1)$$

Keterangan:

n = jumlah sampel minimum

N = jumlah populasi

e = tingkat kesalahan (*margin of error*)

Website Satupersen.net mengalami penurunan jumlah kunjungan sebesar 22,14% dibandingkan bulan sebelumnya, dengan total sekitar 304.700 pengunjung dalam sebulan terakhir, berdasarkan data terbaru dari Similarweb.com. Maka jumlah minimum sampel yang dibutuhkan adalah:

$$n = \frac{304.700}{1 + 304.700 \times (0,1)^2} \approx 99,97 \quad (2)$$

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa jumlah sampel yang diperlukan untuk memenuhi syarat validitas penelitian adalah setidaknya 100 responden.

Tabel 1. Instrumen penelitian

Variabel	Kode	Pertanyaan
Usability Quality (Kegunaan)	UQ1	Website Satupersen.net mudah digunakan dan dioperasikan
Usability Quality (Kegunaan)	UQ2	Navigasi pada website Satupersen.net untuk menjelajah antar halaman mudah dan jelas
Usability Quality (Kegunaan)	UQ3	Desain visual website Satupersen.net menarik dan nyaman dilihat
Usability Quality (Kegunaan)	UQ4	Website Satupersen.net memiliki waktu loading yang cepat dan dapat diakses tanpa mengalami kendala teknis
Usability Quality (Kegunaan)	UQ5	Website dapat diakses dan berfungsi dengan baik di berbagai jenis perangkat (komputer, tablet, dan ponsel)
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ1	Informasi yang disajikan di website Satupersen.net akurat
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ2	Website Satupersen.net memberikan informasi yang dapat dipercaya
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ3	Website Satupersen.net memberikan informasi dalam format yang sesuai
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ4	Website Satupersen.net menyajikan informasi secara jelas, lengkap, dan mudah dipahami
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ5	Website Satupersen.net menyediakan informasi secara lengkap tentang layanan atau kontennya
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ6	Website secara rutin memperbarui informasi agar tetap <i>up to date</i>
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ7	Website Satupersen.net menyediakan informasi yang relevan
Information Quality (Kualitas Informasi)	IQ8	Informasi yang disajikan dalam website Satupersen.net sangat terperinci
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ1	Saya merasa aman saat mengakses dan menggunakan layanan di website Satupersen.net
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ2	Website Satupersen.net responsif terhadap kebutuhan atau permintaan pengguna
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ3	Website Satupersen.net ini mampu menarik perhatian dan meningkatkan minat saya
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ4	Website Satupersen.net mampu membangun kepercayaan saya sebagai pengguna
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ5	Saya merasa bahwa website Satupersen.net memudahkan proses komunikasi dengan <i>costumer service</i>
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ6	Saya merasa nyaman dan puas saat menggunakan website Satupersen.net
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ7	Saya merasa website Satupersen.net mampu melindungi informasi pribadi saya dengan baik
Service Interaction Quality (Interaksi Layanan)	SIQ8	Website Satupersen.net memiliki reputasi yang baik
User Satisfaction (Kepuasan Pengguna)	US1	Website Satupersen.net telah berfungsi sebagaimana mestinya
User Satisfaction (Kepuasan Pengguna)	US2	Website Satupersen.net memenuhi harapan saya sebagai pengguna

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

HASIL DAN PEMBAHASAN

ANALISIS DESKRIPTIF

Hasil pengumpulan data yang dilakukan melalui penyebaran kuesioner melalui Google Form menunjukkan bahwa jumlah responden yang berhasil dikumpulkan adalah 100 orang.

Jenis Kelamin

Untuk memberikan konteks terhadap komposisi responden penelitian, distribusi jenis kelamin dianalisis terlebih dahulu. Data mengenai jumlah serta persentase responden laki-laki dan perempuan tersaji pada Tabel 4.

Dari total responden penelitian, 57 (57%) adalah laki-laki dan 43 (43%) adalah perempuan, menunjukkan bahwa mayoritas responden dalam penelitian adalah laki-laki, dengan perbedaan 20% dibandingkan perempuan.

Usia

Selain jenis kelamin, karakteristik usia responden turut dianalisis untuk memberikan gambaran mengenai rentang umur partisipan yang terlibat dalam penelitian. Informasi mengenai usia responden dapat dilihat pada Tabel 5.

Berdasarkan data yang diperoleh dari kuesioner, mayoritas responden berusia 18 hingga 24 tahun. Sebagian kecil responden berusia 18 tahun ke bawah, sedangkan kelompok usia tertua berada pada rentang 25 hingga 30 tahun.

Pendidikan Terakhir

Analisis latar belakang pendidikan dilakukan untuk memahami tingkat pendidikan terakhir responden. Data mengenai jumlah responden pada tiap jenjang pendidikan disajikan pada Tabel 6.

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa sebagian besar pengguna Satupersen.net berasal dari kalangan siswa SMA/SMK. Selain itu, terdapat 48 responden yang telah

Tabel 2. Penelitian terkait

Penulis	Judul	Kesimpulan
Indah Purwandani dan Nurfa Oktaviani Syamsiah (2021)	Analisis Kualitas Website Menggunakan Metode Webqual 4.0 Studi Kasus: MyBest E-Learning System UBSI	Penelitian menunjukkan kualitas website e-learning dan kepuasan pengguna sudah baik, sehingga disarankan agar universitas mempertahankan layanan yang ada
Muhammad Abigail Athallah dan K. Kraugusteeliana (2022)	Analisis Kualitas Website Telkomsel Menggunakan Metode Webqual 4.0 dan Importance Performance Analysis (IPA)	Kualitas website Telkomsel belum memenuhi ekspektasi pengguna, ditandai gap negatif $-0,226$ meskipun kesesuaiannya $94,73\%$. Oleh karena itu, fitur penting dengan kinerja rendah menjadi prioritas perbaikan utama
Mory Syamonis (2024)	Analisis Pengukuran Kualitas Website Codashop Terhadap Kepuasan Pengguna Menggunakan Metode Webqual 4.0	Melalui pendekatan SPSS, ketiga variabel yaitu usability, information quality, service interaction quality dinyatakan valid. Hal ini dikarenakan nilai ketiga variabel tersebut melampaui R_{tabel} sebesar $0,1966$

Tabel 3. Skala Likert

Keterangan	Kriteria	Skor
Sangat Setuju	SS	5
Setuju	S	4
Netral	N	3
Tidak Setuju	TS	2
Sangat Tidak Setuju	STS	1

Sumber: Abadi & Ramanda (2024).

Tabel 4. Jenis kelamin

Jenis Kelamin	Jumlah	Persentase
Laki-Laki	57	57%
Perempuan	43	43%

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 5. Usia responden

Usia	Jumlah	Persentase
< 18	11	11%
18–24	76	76%
25–30	13	13%

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 6. Latar belakang pendidikan

Pendidikan	Jumlah	Persentase
SMA/SMK	52	52%
Diploma	16	16%
Sarjana	32	32%

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

menempuh pendidikan lebih tinggi, yaitu mereka yang memiliki latar belakang diploma maupun sarjana.

Frekuensi Kunjungan Website

Untuk mengetahui seberapa sering pengguna mengakses website yang diteliti, berikut disajikan data frekuensi kunjungan website berdasarkan hasil kuesioner pada Tabel 7.

Hasil kuesioner menunjukkan bahwa mayoritas pengguna hanya mengakses website Satupersen.net sekali sebulan, sementara sebagian kecil pengguna mencatat mengakses website tersebut dua hingga tiga kali seminggu.

UJI VALIDITAS

Untuk menguji validitas instrumen penelitian, digunakan analisis korelasi *Product Moment*. Dalam proses ini, nilai r hitung dibandingkan terhadap nilai r tabel pada tingkat signifikansi tertentu. Suatu instrumen dinyatakan valid apabila nilai r hitung-nya lebih besar daripada nilai r tabel.

Mencari nilai r tabel dengan cara $df = n - 2$. Dengan tingkat signifikansi = 5% dan n (sampel) = 100 , dengan derajat kebebasan $df = n - 2$. Jadi untuk mencari nilai r tabel yaitu $df = (100 - 2 \times 0,05) = 0,1966$. Berdasarkan perhitungan yang dilakukan, diperoleh nilai r tabel sebesar $0,1966$. Hasil uji validitas selengkapnya disajikan pada Tabel 8.

Karena semua nilai r hitung lebih besar dari r tabel (r

hitung $> r$ tabel), maka dapat disimpulkan bahwa setiap instrumen dalam kuesioner dinyatakan valid.

UJI RELIABILITAS

Uji reliabilitas dilakukan menggunakan teknik *Cronbach's Alpha* untuk mengetahui sejauh mana instrumen penelitian memberikan hasil yang dapat dipercaya. Teknik ini biasanya digunakan untuk memastikan bahwa setiap item dalam hasil kuesioner konsisten. Hasil uji reliabilitas disajikan pada Tabel 9.

Dari keseluruhan 23 item pertanyaan dalam kuesioner, diperoleh nilai *Cronbach's Alpha* sebesar $0,952$. Nilai ini jauh melampaui batas minimum reliabilitas yang umum digunakan, yaitu $0,6$. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa instrumen penelitian memiliki tingkat reliabilitas yang sangat tinggi.

RATA-RATA KEPUASAN PENGGUNA

Untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap website Satupersen.net, peneliti menggunakan skala Likert untuk menghitung rata-rata skor untuk setiap dimensi Webqual 4.0. Hasil rata-rata ini dihitung dengan menggunakan rumus berikut:

$$RK = \frac{JSK}{JK} \quad (3)$$

Keterangan:

Tabel 7. Frekuensi kunjungan website

Frekuensi Kunjungan	Jumlah	Persentase
Sekali per Bulan	59	59%
1–3 per Bulan	27	27%
2–3 per Minggu	14	14%

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

RK = rata-rata kepuasan

JSK = jumlah skor dari kuesioner

JK = jumlah kuesioner

Untuk mengetahui nilai Rata-rata Kepuasan (RK), proses klarifikasi sistem dilakukan dengan menggunakan skala pengukuran tertentu yang menggambarkan tingkat kepuasan responden. Skala yang digunakan dalam penelitian ini adalah skala Likert lima poin, dengan kategori seperti pada Tabel 10.

Berdasarkan empat variabel pada metode Webqual 4.0, hasilnya adalah sebagai berikut.

Kegunaan (Usability)

Hasil pengolahan data berdasarkan lima item instrumen ditunjukkan oleh peneliti untuk mengetahui tingkat kepuasan pengguna terhadap aspek usability. Hasilnya disajikan pada Tabel 11.

Hasil akhir menunjukkan skor rata-rata sebesar 3,95 pada dimensi kemudahan penggunaan (usability), yang termasuk dalam kategori “Setuju” atau dengan kata lain pengguna puas dengan navigasi, tampilan, dan fungsionalitas website.

Kualitas Informasi (Information Quality)

Hasil pengolahan data berdasarkan delapan item instrumen disajikan oleh peneliti untuk mengukur kepuasan pengguna terhadap kualitas informasi (*information quality*), sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 12.

Hasil analisis menunjukkan bahwa rata-rata kepuasan pengguna terhadap kualitas informasi di Satupersen.net berada pada skor 3,87, termasuk dalam kategori “Setuju”. Skor ini mengindikasikan tingkat kepuasan yang cenderung positif, di mana sebagian besar pengguna menilai informasi yang disajikan cukup akurat, relevan, dan mudah dipahami.

Interaksi Layanan (Service Interaction Quality)

Untuk mengukur kepuasan pengguna terhadap interaksi layanan (*service interaction quality*), peneliti menyajikan hasil pengolahan data berdasarkan 8 item instrumen pada Tabel 13.

Hasil yang diperoleh nilai rata-rata kepuasan pengguna terhadap aspek kualitas interaksi layanan (*service interaction quality*) sebesar 3,92. Nilai tersebut tergolong dalam kategori “Setuju”, yang menunjukkan bahwa pengguna secara umum merasa puas terhadap kualitas interaksi layanan yang diberikan oleh website Satupersen.net.

Kepuasan Pengguna (User Satisfaction)

Untuk mengukur tingkat kepuasan pengguna secara keseluruhan, peneliti menyajikan hasil pengolahan data

One-Sample Kolmogorov-Smirnov Test

		Unstandardized Residual
N		100
Normal Parameters ^{a,b}	Mean	,0000000
	Std. Deviation	,85841224
Most Extreme Differences	Absolute	,056
	Positive	,056
	Negative	-,053
Test Statistic		,056
Asymp. Sig. (2-tailed)		,200 ^{c,d}

a. Test distribution is Normal.

b. Calculated from data.

c. Lilliefors Significance Correction.

d. This is a lower bound of the true significance.

Gambar 3. Hasil uji normalitas

		Coefficients ^a					Collinearity Statistics	
Model		Unstandardized Coefficients	Std. Error	Standardized Coefficients	t	Sig.	Tolerance	VIF
1	(Constant)	1,045	,601		1,740	,085		
	X1	,144	,044	,346	3,299	,001	,383	2,609
	X2	,034	,025	,132	1,348	,181	,441	2,266
	X3	,099	,030	,366	3,268	,002	,335	2,981

a. Dependent Variable: User Satisfaction

Gambar 4. Hasil uji multikolinearitas

berdasarkan 2 item instrumen pada Tabel 14.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa nilai rata-rata kepuasan pengguna sebesar 4,07, yang termasuk dalam kategori “Setuju”. Menunjukkan bahwa secara umum pengguna merasa puas dengan pengalaman mereka saat menggunakan website Satupersen.net.

UJI ASUMSI KLASIK

Uji Normalitas

Analisis ini dilakukan dengan tujuan memastikan bahwa data residual terdistribusi secara normal, yang merupakan salah satu asumsi penting dalam regresi linier. Untuk menguji normalitas sebaran data residual, digunakan teknik *One-Sample Kolmogorov-Smirnov*. Hasil pengujian disajikan pada Gambar 3.

Berdasarkan hasil, diperoleh nilai signifikansi sebesar 0,200. Menurut kriteria pengujian normalitas, jika nilai signifikansi lebih besar dari tingkat alpha ($\alpha = 0,05$), maka distribusi data residual dianggap normal. Karena $0,200 > 0,05$, dapat disimpulkan bahwa sebaran residual memenuhi asumsi normalitas.

Uji Multikolinearitas

Uji ini dilakukan untuk menilai apakah terdapat korelasi yang tinggi antar variabel independen dalam model regresi linier [10]. Dalam pengujian ini dilakukan dengan mengacu pada nilai *Tolerance* dan *Variance Inflation Factor* (VIF), sebagaimana rinciannya tersaji pada Gambar 4.

Tabel 8. Hasil uji validitas

No.	Item	R Hitung	R Tabel	Keterangan	No.	Item	R Hitung	R Tabel	Keterangan
1.	UQ1	0,712	0,1966	Valid	13.	IQ8	0,723	0,1966	Valid
2.	UQ2	0,684	0,1966	Valid	14.	SIQ1	0,718	0,1966	Valid
3.	UQ3	0,641	0,1966	Valid	15.	SIQ2	0,726	0,1966	Valid
4.	UQ4	0,660	0,1966	Valid	16.	SIQ3	0,693	0,1966	Valid
5.	UQ5	0,679	0,1966	Valid	17.	SIQ4	0,700	0,1966	Valid
6.	IQ1	0,654	0,1966	Valid	18.	SIQ5	0,732	0,1966	Valid
7.	IQ2	0,689	0,1966	Valid	19.	SIQ6	0,704	0,1966	Valid
8.	IQ3	0,778	0,1966	Valid	20.	SIQ7	0,629	0,1966	Valid
9.	IQ4	0,676	0,1966	Valid	21.	SIQ8	0,718	0,1966	Valid
10.	IQ5	0,705	0,1966	Valid	22.	US1	0,683	0,1966	Valid
11.	IQ6	0,705	0,1966	Valid	23.	US2	0,663	0,1966	Valid
12.	IQ7	0,746	0,1966	Valid					

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 9. Hasil uji reliabilitas

<i>Cronbach's Alpha</i>	N of Items
.952	23

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 10. Skala tingkat kepuasan

Keterangan	Skor
Sangat Setuju	4,93 – 5
Setuju	3,4 – 4,92
Cukup Setuju	2,7 – 3,39
Tidak Setuju	1,9 – 2,69
Sangat Tidak Setuju	1 – 1,89

Sumber: A. Purba & J. I. Sihotang (2023).

Hasil analisis multikolinearitas menunjukkan bahwa seluruh variabel independen dalam penelitian ini memiliki nilai *Tolerance* di atas 0,10 dan nilai *Variance Inflation Factor* (VIF) di bawah 10,00. Temuan ini memberikan bukti kuat bahwa tidak terdapat korelasi yang tinggi antar variabel bebas dalam model regresi.

Uji Heterokedastisitas

Tujuan dari uji ini adalah untuk mengevaluasi apakah terdapat pengaruh signifikan antara variabel independen terhadap nilai absolut residual [18], yang dapat mengindikasikan pelanggaran asumsi homoskedastisitas. Hasil analisis menggunakan metode Glejser disajikan pada Gambar 5.

Berdasarkan hasil analisis uji Glejser, tidak ditemukan pengaruh yang signifikan dari setiap variabel independen terhadap nilai absolut residual. Hal ini ditunjukkan dengan seluruh nilai p-value yang lebih besar dari tingkat signifikansi 0,05. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa tidak terdapat gejala heteroskedastisitas dalam model regresi.

PENGUJIAN HIPOTESIS

Pengujian hipotesis dalam penelitian ini dilakukan melalui sejumlah tahapan analisis statistik yang saling melengkapi untuk mengevaluasi hubungan antara variabel. Antara lain uji t guna mengetahui seberapa signifikan kontribusi setiap

Tabel 11. Hasil analisis variabel usability

No.	Item	SS	S	N	TS	STS
1.	UQ1	26	46	26	0	2
2.	UQ2	27	48	21	4	0
3.	UQ3	32	40	22	6	0
4.	UQ4	28	33	30	8	1
5.	UQ5	33	43	23	1	0
Jumlah		146	210	122	19	3

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 12. Hasil analisis variabel information quality

No.	Item	SS	S	N	TS	STS
1.	IQ1	17	50	30	2	1
2.	IQ2	17	50	26	6	1
3.	IQ3	21	52	20	6	1
4.	IQ4	21	56	20	2	1
5.	IQ5	26	50	20	3	1
6.	IQ6	20	44	30	5	1
7.	IQ7	34	40	22	4	0
8.	IQ8	24	44	26	4	2
Jumlah		180	386	194	32	8

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

variabel independen secara terpisah [6], melalui uji F dapat diketahui nilai signifikansi model regresi secara menyeluruh [17], termasuk analisis uji R dilakukan guna menilai pengaruh variabel independen dalam memengaruhi perubahan pada variabel terikat [10].

Uji T

Uji ini dievaluasi dengan membandingkan nilai T hitung terhadap T tabel. Dasar pengambilan keputusan dalam uji ini adalah dengan membandingkan nilai T hitung yang dihasilkan dari regresi dengan nilai T tabel yang diperoleh dari tabel distribusi. Pengaruh variabel independen (X) terhadap variabel dependen (Y) dianggap signifikan secara statistik jika nilai T hitung > T tabel. Sebaliknya, jika nilai T hitung < T tabel, maka disimpulkan bahwa tidak terdapat pengaruh yang signifikan.

$$t_{tabel} = t_{(\alpha/2, n-k-1)} \quad (4)$$

Keterangan:

Tabel 13. Hasil analisis variabel service interaction

No.	Item	SS	S	N	TS	STS
1	SIQ1	25	40	30	5	0
2	SIQ2	25	50	22	3	0
3	SIQ3	25	40	30	5	0
4	SIQ4	23	52	22	3	0
5	SIQ5	26	44	24	5	1
6	SIQ6	26	50	20	4	0
7	SIQ7	25	40	34	1	0
8	SIQ8	32	43	22	3	0
Jumlah		207	359	204	29	1

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

Tabel 14. Hasil analisis variabel user satisfaction

No.	Item	SS	S	N	TS	STS
1	US1	36	48	13	2	1
2	US2	26	50	20	4	0
Jumlah		62	98	33	6	1

Sumber: data penelitian oleh penulis, 2025.

 n = jumlah responden k = jumlah variabel bebas (X)

Perhitungannya seperti di bawah ini. Apabila nilai t tabel sudah diketahui, dilanjutkan dengan membandingkan nilai t hitung. Hasil perhitungan setiap variabel menunjukkan hasil sebagai berikut:

- Variabel X1 terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel Y. Hal ini terlihat dari nilai T hitung sebesar $3,299 > T$ tabel sebesar $1,985$.
- Variabel X2 terbukti tidak memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel Y. Hal ini terlihat dari nilai T hitung sebesar $1,348 < T$ tabel sebesar $1,985$.
- Variabel X3 terbukti memiliki pengaruh signifikan terhadap variabel Y. Hal ini terlihat dari nilai T hitung sebesar $3,268 > T$ tabel sebesar $1,985$.

Uji F

Uji F juga dievaluasi dengan membandingkan nilai F hitung terhadap F tabel. Kaidah pengambilan keputusannya adalah jika F hitung menunjukkan nilai yang lebih besar dari F tabel, maka hal tersebut mengindikasikan adanya pengaruh signifikan dari variabel bebas (X) secara simultan terhadap variabel terikat (Y). Rumus yang dipakai untuk mencari F tabel:

$$F_{\text{tabel}} = F_{(\alpha, k, n-k-1)} \quad (5)$$

Keterangan:

 n = jumlah responden k = jumlah variabel bebas (X)

Dalam penelitian ini, menjadi F tabel = $(3; 100 - 3 - 1) = (3; 96) = 2,70$. Hasil perhitungan menunjukkan nilai F hitung sebesar $47,182 > F$ tabel sebesar $2,70$. Berdasarkan kriteria tersebut, dapat disimpulkan bahwa hasil regresi ini signifikan secara simultan.

Coefficients^a

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	,935	,376		2,485	,015
	X1	,008	,027	,046	,280	,780
	X2	-,019	,016	-,182	-1,196	,235
	X3	,005	,019	,048	,275	,784

a. Dependent Variable: abs_RES

Gambar 5. Hasil uji heterokedastisitas**Coefficients^a**

Model		Unstandardized Coefficients		Standardized Coefficients	t	Sig.
		B	Std. Error	Beta		
1	(Constant)	1,045	,601		1,740	,085
	X1	,144	,044	,346	3,299	,001
	X2	,034	,025	,132	1,348	,181
	X3	,099	,030	,366	3,268	,002

a. Dependent Variable: User Satisfaction

Gambar 6. Hasil uji t (koefisien regresi)

Uji Koefisien Determinasi

Analisis koefisien determinasi (R^2) digunakan untuk mengukur seberapa besar variasi dalam variabel dependen yang dapat dijelaskan atau diprediksi oleh kombinasi seluruh variabel independen dalam model regresi. Dengan kata lain, R^2 menunjukkan tingkat ketepatan model regresi dalam menangkap pola hubungan antar variabel.

Nilai *Adjusted R Square* sebesar $0,583$ menunjukkan bahwa sekitar $58,3\%$ dari variasi dalam variabel dependen (pengalaman pengguna) dapat dijelaskan oleh kombinasi variabel independen dalam model regresi setelah disesuaikan dengan jumlah variabel yang dimasukkan. Dengan kata lain, model ini valid untuk menjelaskan hubungan antar variabel yang diteliti.

Analisis Linier Berganda

Metode ini digunakan untuk melihat sejauh mana masing-masing variabel bebas memengaruhi variabel terikat berdasarkan pengaruh dua atau lebih [19]. Tujuan utamanya adalah menentukan besarnya koefisien regresi setiap variabel independen, yang menunjukkan kekuatan dan arah pengaruhnya, sehingga bisa menggambarkan perubahan yang terjadi pada variabel dependen akibat perubahan pada variabel bebas tersebut. Maka dapat disimpulkan:

- Nilai konstanta yang dihasilkan dari model regresi adalah $1,045$. Nilai ini mengindikasikan bahwa jika semua variabel independen dalam model diasumsikan bernilai 0 , maka nilai prediksi untuk variabel dependen adalah sebesar $1,045$.
- Koefisien regresi untuk variabel X1 menunjukkan nilai positif sebesar $0,144$. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap kenaikan satu satuan pada variabel X1 akan berasosiasi dengan peningkatan variabel Y sebesar $0,144$, dengan asumsi variabel independen lainnya konstan.
- Koefisien regresi untuk variabel X2 menunjukkan nilai positif sebesar $0,034$. Hal ini mengindikasikan bahwa

ANOVA^a

Model		Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
1	Regression	107,560	3	35,853	47,182	,000 ^b
	Residual	72,950	96	,760		
	Total	180,510	99			

a. Dependent Variable: User Satisfaction
b. Predictors: (Constant), X1, X2, X3

Gambar 7. Hasil uji F (ANOVA)

Model Summary

Model	R	R Square	Adjusted R Square	Std. Error of the Estimate
1	,772 ^a	,596	,583	,872

a. Predictors: (Constant), X1, X2, X3

Gambar 8. Hasil uji koefisien determinasi

setiap kenaikan satu satuan pada variabel X2 akan berasosiasi dengan peningkatan variabel Y sebesar 0,034, dengan asumsi variabel independen lainnya konstan.

- Koefisien regresi untuk variabel X3 menunjukkan nilai positif sebesar 0,099. Hal ini mengindikasikan bahwa setiap kenaikan satu satuan pada variabel X3 akan berasosiasi dengan peningkatan variabel Y sebesar 0,099, dengan asumsi variabel independen lainnya konstan.

KESIMPULAN

Setelah melalui proses pengolahan dan analisis data secara komprehensif, berikut hasil evaluasi variabel yang diperoleh menggunakan metode Webqual 4.0:

Berdasarkan data dari setiap variabel, tingkat kepuasan pengguna terhadap website Satupersen.net mencapai rata-rata 3,95, menunjukkan bahwa secara umum pengguna merasa puas dengan pengalaman yang diperoleh.

Hasil analisis data mengindikasikan bahwa persepsi pengguna mengenai *user experience* (UX) pada website Satupersen.net secara signifikan dibentuk oleh keempat variabel Webqual 4.0. Hal ini diperkuat oleh signifikansi yang tinggi dari model regresi, yang di mana diperoleh hasil 58,3% dan mayoritas variasi dalam kepuasan pengguna dapat diatribusikan pada variabel usability, information, dan service interaction. Oleh karena itu, dapat disimpulkan bahwa persepsi pengguna terhadap user experience cenderung positif.

Secara keseluruhan, ketiga variabel kualitas website menunjukkan performa yang baik dan berpengaruh positif terhadap pengalaman pengguna secara komprehensif. Temuan dari analisis regresi linier yang menunjukkan bahwa dimensi Webqual 4.0 memiliki signifikansi dalam memprediksi kepuasan pengguna, yang merupakan indikator utama dalam evaluasi user experience (UX).

Berdasarkan temuan penelitian, terdapat beberapa rekomendasi yang dapat dijadikan acuan untuk penelitian selanjutnya. Penelitian mendatang disarankan untuk mema-

sukkan variabel tambahan di luar model Webqual 4.0 untuk mengetahui apakah faktor-faktor tersebut memiliki kontribusi yang lebih kuat terhadap pengalaman pengguna.

Setiap sub halaman seperti blog, layanan konsultasi, atau webinar sebaiknya dilengkapi dengan fitur “Kembali ke Halaman Utama”. Fitur ini bisa diwujudkan dalam bentuk tombol yang ditempatkan secara strategis, misalnya di bagian atas (header). Dengan mengacu pada prinsip Webqual 4.0 dalam aspek usability, keberadaan fitur ini akan mempermudah pengguna berpindah antar layanan dan secara signifikan meningkatkan kenyamanan serta efisiensi navigasi situs.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menghaturkan rasa terima kasih yang tulus kepada semua pihak yang telah mendukung penyusunan artikel ini. Terima kasih kepada dosen pembimbing yang dengan sabar memberikan arahan dan masukan yang sangat berarti, kepada rekan-rekan kerja yang turut membantu dalam pengumpulan data, serta kepada seluruh partisipan yang telah meluangkan waktu dan kesempatan untuk berkontribusi dalam penelitian ini. Semoga hasil temuan dari penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi kemajuan ilmu pengetahuan maupun penerapannya di bidang terkait.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] A. Aisyah, D. Permata Sari, and K. Kusumanto, “Perancangan Aplikasi Presensi Dosen Real Time dengan Metode Global Positioning System (GPS) dan Location Based Service (LSB) Berbasis WEB di Jurusan Teknik Elektronika Politeknik Negeri Sriwijaya,” *Journal Locus Penelitian dan Pengabdian*, vol. 1, no. 5, pp. 341–347, 2022, doi: 10.36418/locus.v1i5.73.
- [2] F. F. Alawiyah and D. S. Canta, “Evaluasi Pengalaman Pengguna pada Aplikasi Shopee Menggunakan Metode User Experience Questionnaire (UEQ),” *Journal of Information System Research (JOSH)*, vol. 3, no. 4, pp. 344–350, 2022, doi: 10.47065/josh.v3i4.1574.
- [3] Andiputra, “Analisis Usability Menggunakan Metode WEBUSE pada Website Kitabisa.com,” *Business Management Journal*, vol. 16, no. 1, 2020, doi: 10.30813/bmj.
- [4] Darman, *Statistik Penelitian: Pendekatan Praktis Menggunakan SPSS*. 2018.
- [5] M. Fadlan, I. T. Saputra, and Suprianto, “Pengukuran Kualitas Website E-learning pada Perguruan Tinggi di Kalimantan Utara dengan Webqual 4.0,” *Jurnal Sisfokom (Sistem Informasi dan Komputer)*, vol. 11, no. 3, pp. 304–309, 2022, doi: 10.32736/sisfokom.v11i3.1446.
- [6] M. Fariz and M. Muharrom, “Information and Data 4.270 (Very Satisfied), Economic 4.156,” 2024, doi: 10.57203/session.v3i1.2024.33-40.
- [7] I. Jabbar, D. Aditiya Nugroho, E. Nugroho, and M. Rifqi Oktavian Nurcahyo, “Analisa Kepuasan Peng-

- guna Website PT. Astronaut Technologies Indonesia Menggunakan Metode WebQual 4.0,” 2024.
- [8] R. Leviana and A. Rahmatulloh, “Penerapan Metode Webqual 4.0 dan Importance Performance Analysis (IPA) dalam Evaluasi Kualitas Website Komunitas Kumpulan Wargi Sukapura (KWS),” vol. 12, no. 2, 2024.
- [9] S. Mar’atush Sholihah, N. Yoga Aditiya, E. Saphira Evani, S. Maghfiroh, and S. Soedirman, “Konsep Uji Asumsi Klasik pada Regresi Linier Berganda,” 2023.
- [10] G. Mardiatmoko, “Pentingnya Uji Asumsi Klasik pada Analisis Regresi Linier Berganda,” *BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan*, vol. 14, no. 3, pp. 333–342, 2020, doi: 10.30598/barekengvol14iss3pp333-342.
- [11] N. Miftahul Janna and D. Pembimbing, “Konsep Uji Validitas dan Reliabilitas dengan Menggunakan SPSS,” 2023.
- [12] A. I. Permana, “Pengaruh Kualitas Website, Kualitas Pelayanan, dan Kepercayaan Pelanggan terhadap Minat Beli Pelanggan di Situs Belanja Online Bukalapak,” *Ekonomi Bisnis*, vol. 25, no. 2, pp. 94–109, 2020, doi: 10.33592/jeb.v25i2.422.
- [13] I. Purwandani and N. O. Syamsiah, “Analisis Kualitas Website Menggunakan Metode Webqual 4.0 Studi Kasus: MyBest E-learning System UBSI,” *Jurnal Sistem dan Teknologi Informasi (Justin)*, vol. 9, no. 3, p. 300, 2021, doi: 10.26418/justin.v9i3.47129.
- [14] Ridho Pamungkas, *Buku Web*. 2018.
- [15] Yeni Susilowati, *Modul E-Commerce – Teaching Factory for Students*. 2019.
- [16] Sanaky, “Musrifah Mardiani Sanaky,” 2021.
- [17] S. N. Satrio and M. Muharram, “Analisa Pengukuran Kualitas Website E-Recruitment PT. Angkasa Pura Suport Menggunakan Metode Webqual 4.0,” *Software Development, Digital Business Intelligence and Computer Engineering*, vol. 2, no. 1, pp. 01–06, 2023, doi: 10.57203/session.v2i1.2023.01-06.
- [18] R. E. Setiawati and R. Fajriyah, “Implementasi Multiple Linear Regression dalam Menganalisis Jarak Luncur Guguran Awan Panas,” *Seminar Nasional Sains Data*, 2023.
- [19] N. Sudariana and M. M. Yoedani, “Analisis Statistik Regresi Linier Berganda,” 2021.
- [20] Usmadi, “Uji Normalitas,” 2020.
- [21] R. Wiryadinata and N. Palasara, “Analisa Kualitas Kinerja Website pada Metropolitan Mitra Utama dengan Metode Webqual 4.0,” *Jurnal Rekayasa Perangkat Lunak*, vol. 4, no. 1, 2023.

Analisis Persebaran Flora di Sumatera Melalui Sistem Data Lakehouse Menggunakan Interpolasi Spatial Analysis Berbasis Hadoop dan Apache Spark

Analysis of Flora Distribution in Sumatra Through Lakehouse Data System Using Spatial Interpolation Analysis Based on Hadoop and Apache Spark

Elok Fiola¹, Dea Mutia Risani¹, Yohana Manik¹, Asa Do'a Uyi¹, Ardika Satria¹, dan Luluk Muthoharoh¹

¹Sains Data, Fakultas Sains, Institut Teknologi Sumatera, Lampung Selatan, Indonesia

*Penulis korespondensi: elok.122450051@student.itera.ac.id

Abstract

Flora biodiversity on Sumatra Island is increasingly under pressure due to environmental changes and the limited ability to manage large-scale biodiversity data. This condition requires an approach that can efficiently integrate and analyze data to support data-driven conservation. This study aims to develop a spatial analysis system based on a data lakehouse using Hadoop and Apache Spark to map flora distribution in Sumatra. Data processing is carried out using the Medallion architecture (Bronze, Silver, Gold) and the Extract–Transform–Load (ETL) process with Apache Spark on data from the Global Biodiversity Information Facility (GBIF) for the period 2019–2023. The results show a significant improvement in processing performance, up to 16 times faster, with storage efficiency increased by 28%. This improvement enables large-scale data integration, allowing flora distribution patterns to be identified more clearly and comprehensively. Analysis of 12,840 species shows a dominance of Near Threatened (58.4%), followed by Least Concern (40.8%) and Endangered (0.7%), with distributions concentrated in the western and central regions of Sumatra. These findings indicate that most flora are in a vulnerable condition and confirm the effectiveness of integrating data lakehouse and spatial analysis in supporting data-driven conservation decision-making.

Keywords: Hadoop, Apache Spark, Data Lakehouse, Spatial Analysis, Flora Distribution

Abstrak

Keanekaragaman flora di Pulau Sumatera menghadapi tekanan yang semakin meningkat akibat perubahan lingkungan dan keterbatasan pengelolaan data biodiversitas berskala besar. Kondisi ini menuntut pendekatan yang mampu mengintegrasikan dan menganalisis data secara efisien guna mendukung konservasi berbasis data. Penelitian ini bertujuan mengembangkan sistem analisis spasial berbasis sistem data lakehouse dengan memanfaatkan Hadoop dan Apache Spark untuk memetakan distribusi flora di Sumatera. Proses pengolahan data dilakukan dengan menerapkan arsitektur Medallion (Bronze, Silver, Gold) serta tahapan Extract–Transform–Load (ETL) menggunakan Apache Spark terhadap dataset Global Biodiversity Information Facility (GBIF) periode 2019–2023. Hasil implementasi menunjukkan peningkatan kinerja pemrosesan hingga 16 kali dan efisiensi penyimpanan sebesar 28%. Peningkatan ini memungkinkan integrasi data dalam skala besar sehingga pola persebaran flora dapat teridentifikasi dengan lebih jelas dan menyeluruh. Analisis terhadap 12.840 spesies flora mengindikasikan dominasi kategori Near Threatened (58,4%), diikuti Least Concern (40,8%) dan Endangered (0,7%), dengan sebaran yang terkonsentrasi di wilayah barat dan tengah Sumatera. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar flora berada dalam kondisi rentan, sekaligus menegaskan efektivitas integrasi data lakehouse dan analisis spasial dalam menghasilkan informasi yang mendukung pengambilan keputusan konservasi berbasis data.

kata kunci: Hadoop, Apache Spark, Data Lakehouse, Analisis Spasial, Persebaran Flora

PENDAHULUAN

Pulau Sumatera dikenal sebagai salah satu wilayah dengan tingkat keanekaragaman hayati yang tinggi di Indonesia, terutama pada kelompok flora. Keanekaragaman tumbuhan di wilayah ini dipengaruhi oleh berbagai faktor ekologis seperti kondisi geografis, ketinggian wilayah, iklim, dan jenis tanah. Namun demikian, berbagai tekanan lingkungan seperti deforestasi, perubahan penggunaan lahan, dan perubahan iklim telah meningkatkan ancaman terhadap keberlanjutan keanekaragaman flora di kawasan tersebut [1]. Oleh sebab itu, pemahaman mengenai pola persebaran flora menjadi penting untuk mendukung upaya konservasi berbasis data.

Seiring dengan meningkatnya ketersediaan data biodiver-

sitas dari berbagai sumber terbuka, seperti Global Biodiversity Information Facility (GBIF), jumlah data observasi spesies yang tersedia terus bertambah. Meskipun demikian, data tersebut sering kali tersebar dalam berbagai sumber dan format yang berbeda sehingga menyulitkan proses integrasi serta analisis secara menyeluruh. Kondisi ini menunjukkan perlunya pendekatan teknologi yang mampu mengelola dan menganalisis data biodiversitas dalam skala besar secara lebih efisien [2].

Selain itu, beberapa sistem digital biodiversitas telah dikembangkan untuk mendukung pengelolaan data flora dan fauna, seperti EKOBIODIV dan IPBiotics [3, 4]. Namun, sebagian besar sistem tersebut masih berfokus pada pengumpulan dan penyimpanan data biodiversitas, semen-

tara kemampuan analisis data dalam skala besar masih terbatas. Selain itu, penerapan teknologi Big Data yang terintegrasi dengan analisis spasial untuk memetakan distribusi flora di Indonesia masih relatif jarang dilakukan.

Perkembangan teknologi Big Data mendorong munculnya berbagai pendekatan baru dalam pengelolaan dan analisis data berskala besar. Salah satu pendekatan yang banyak digunakan adalah arsitektur data lakehouse berbasis Hadoop dan Apache Spark yang dirancang untuk menangani data dengan volume, variasi, dan kecepatan yang tinggi [5–7]. Arsitektur ini umumnya menerapkan Medallion Architecture yang terdiri dari tiga lapisan, yaitu Bronze, Silver, dan Gold untuk mengelola data secara bertahap mulai dari data mentah hingga data yang siap dianalisis. Beberapa studi juga menunjukkan bahwa pendekatan lakehouse mampu meningkatkan efisiensi pemrosesan data secara signifikan dibandingkan sistem pengolahan data konvensional [5].

Teknologi tersebut dapat dimanfaatkan untuk mendukung analisis data geospasial dalam penelitian biodiversitas. Integrasi data observasi spesies dengan informasi geografis memungkinkan identifikasi pola distribusi biodiversitas secara lebih sistematis [8]. Teknik spatial join sering digunakan untuk menggabungkan data observasi dengan batas wilayah geografis sehingga analisis dapat difokuskan pada area tertentu [7, 9, 10]. Meskipun demikian, pemanfaatan teknik tersebut dalam pengelolaan dan analisis data biodiversitas berskala besar masih menghadapi tantangan, terutama terkait integrasi data dan efisiensi pemrosesan data yang terus meningkat volumenya. Kondisi tersebut menunjukkan perlunya pendekatan yang mampu mengelola dan menganalisis data biodiversitas secara lebih efisien. Oleh sebab itu, penelitian ini mengusulkan penerapan arsitektur data lakehouse berbasis Hadoop dan Apache Spark yang diintegrasikan dengan analisis spasial untuk memetakan distribusi flora di Pulau Sumatera menggunakan dataset biodiversitas berskala besar. Tujuan penelitian ini adalah membangun sistem data lakehouse yang mampu menyimpan dan mengelola data flora di Sumatera secara terpusat dan terstruktur, serta meningkatkan efisiensi pemrosesan data melalui pemanfaatan Apache Spark.

METODE PENELITIAN

TINJAUAN PUSTAKA

Pulau Sumatera dikenal memiliki keanekaragaman tumbuhan yang sangat tinggi di Indonesia. Kajian biodiversitas menempatkan pulau ini sebagai salah satu wilayah dengan jumlah spesies endemik terbanyak di Asia Tenggara. Penelitian dari Quipper (2023) menjelaskan bahwa persebaran flora di Sumatera dipengaruhi oleh kondisi geografis dan ekologis, seperti ketinggian, iklim, dan jenis tanah [1]. Pemanfaatan teknologi informasi untuk konservasi lingkungan semakin berkembang. Sistem berbasis Geographic Information System (GIS) banyak digunakan dalam penelitian flora karena mempermudah pemetaan spasial. Studi oleh Li et al. (2015) membahas teori pengelolaan geospasial big data yang dapat diterapkan untuk observasi lingkungan

[11]. Penelitian lain oleh Jiang et al. (2021) menunjukkan bahwa penggunaan data geospasial dalam skala besar dapat membantu mendeteksi pola lingkungan secara dinamis [12].

Pendekatan Big Data kemudian menjadi solusi utama dalam pengelolaan data lingkungan yang kompleks. Sistem berbasis Hadoop dan Apache Spark terbukti mampu mengolah data berukuran besar secara paralel dan efisien [7]. Arsitektur data lakehouse menjadi model terkini yang memadukan fleksibilitas data lake dengan keandalan data warehouse. Penelitian oleh Harby (2025) menjelaskan bahwa lakehouse dapat meningkatkan efisiensi pemrosesan data dalam skala besar secara signifikan [6]. Hasil serupa disampaikan oleh Dunn (2024) dalam blog resmi Dell Technologies yang menunjukkan percepatan pemrosesan hingga 20 kali lipat dibanding sistem konvensional [5].

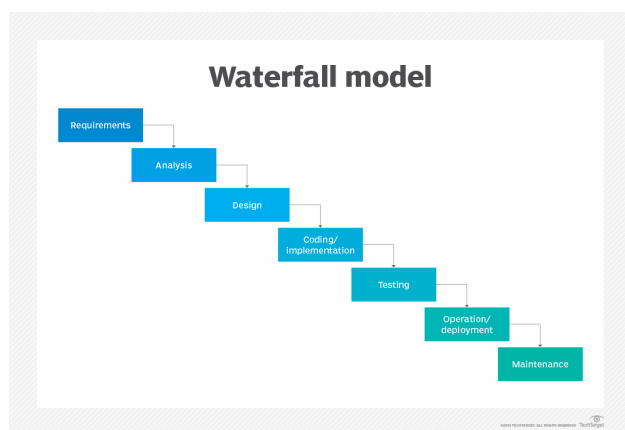
Beberapa penelitian di Indonesia juga mendukung inisiatif digitalisasi biodiversitas. Sistem EKOBIODIV dikembangkan sebagai basis data biodiversitas berbasis web yang memfasilitasi kolaborasi antar peneliti [3]. Penelitian lain memperkenalkan platform IPBiotics dari IPB University sebagai sistem repositori digital untuk data flora dan fauna Indonesia [4]. Berbagai literatur dan inovasi tersebut menunjukkan bahwa pengelolaan data biodiversitas di Indonesia masih memiliki keterbatasan dalam integrasi dan kapasitas analisis. Penggunaan teknologi Big Data dengan arsitektur lakehouse menjadi langkah inovatif untuk menjawab permasalahan tersebut. Sistem ini dapat mempermudah proses digitalisasi data biodiversitas nasional sekaligus mempercepat analisis spasial untuk mendukung kegiatan konservasi di masa depan.

PENDEKATAN MODEL WATERFALL

Penelitian ini mengembangkan sistem analisis Big Data untuk mempelajari pola persebaran flora di wilayah Sumatera dengan menggunakan model Waterfall. Pendekatan ini memberikan struktur kerja yang sistematis dan terukur, dimulai dari tahap perencanaan, pengumpulan data, transformasi, analisis, hingga penyajian hasil. Setiap tahap diselesaikan secara menyeluruh sebelum melanjutkan ke tahap berikutnya, sesuai dengan karakteristik proses pengolahan data berbasis batch dan arsitektur Medallion yang digunakan dalam penelitian [13]. Gambaran alur model Waterfall ditunjukkan pada Gambar 1.

Model Waterfall dikenal sebagai metode pengembangan sistem yang bersifat linier dan berurutan. Setiap tahapan proyek harus diselesaikan sepenuhnya sebelum berlanjut ke tahap berikutnya agar hasil yang diperoleh lebih konsisten dan mudah divalidasi. Metode ini menekankan pentingnya dokumentasi dan disiplin dalam setiap fase kerja, sehingga kesalahan integrasi data dapat diminimalkan. Penelitian oleh Smith et al. (2021) menunjukkan bahwa model ini efektif diterapkan dalam proyek pengolahan data berskala besar karena mendukung konsistensi hasil serta keterlacakan proses pengembangan [14].

Penerapan metodologi ini memastikan setiap proses, mulai dari ekstraksi hingga analisis spasial, dijalankan secara



Gambar 1. Metode waterfall

terkontrol dan terdokumentasi dengan baik. Hasil akhirnya berupa sistem analitik spasial berbasis Big Data yang akurat, mudah diperluas (*scalable*), serta dapat digunakan untuk mendukung konservasi flora dan digitalisasi data biodiversitas di Sumatera.

ARSITEKTUR SISTEM DATA LAKEHOUSE

Analisis spasial dilakukan untuk mengidentifikasi pola persebaran flora berdasarkan faktor ekologis dan spasial. Tahapan ini mencakup pemetaan titik persebaran spesies, identifikasi area dengan tingkat keanekaragaman tinggi (*hotspot biodiversity*), serta analisis hubungan antara sebaran flora dengan topografi dan batas administratif wilayah di Sumatera. Pendekatan ini penting untuk memahami dinamika ekologis dan mendukung kebijakan konservasi berbasis wilayah [15]. Seluruh proses analisis dijalankan dalam lingkungan *multi-container* Docker yang mengintegrasikan Hadoop, Apache Spark, dan Hive. Lingkungan ini dirancang untuk memberikan fleksibilitas dalam pengelolaan data serta memudahkan pengembangan sistem yang modular dan terdistribusi. Teknologi containerization memfasilitasi replikasi sistem dan menjaga konsistensi konfigurasi di berbagai perangkat, sesuai dengan prinsip data reproducibility dalam penelitian berbasis Big Data [16].

Sistem yang dikembangkan menerapkan arsitektur data lakehouse dengan pendekatan arsitektur Medallion yang terdiri dari tiga lapisan, yaitu Bronze, Silver, dan Gold. Lapisan Bronze berfungsi menyimpan data mentah hasil ekstraksi dari sumber eksternal, seperti Global Biodiversity Information Facility (GBIF) [17]. Lapisan Silver berisi data yang telah dibersihkan, dikonversi formatnya, dan disiapkan untuk analisis, sedangkan lapisan Gold menyimpan data siap analisis yang digunakan dalam visualisasi spasial. Proses ini memastikan adanya data lineage yang jelas, sehingga setiap perubahan pada data dapat ditelusuri dari tahap awal hingga hasil akhir [18].

Analisis spasial dilakukan dengan memanfaatkan Apache Spark SQL dan pustaka geospasial seperti GeoSpark untuk melakukan operasi spatial join, pengelompokan spasial, serta perhitungan jarak antar titik observasi. Hasil analisis divisualisasikan melalui peta interaktif yang menampilkan

distribusi spesies berdasarkan status konservasi dan wilayah administratif. Visualisasi dikembangkan menggunakan Folium dan Matplotlib agar dapat ditampilkan dalam antarmuka interaktif yang mudah diakses oleh peneliti maupun pembuat kebijakan [19]. Pendekatan ini akan menghasilkan sistem analitik spasial berbasis Big Data yang tidak hanya mampu mengelola volume data besar, tetapi juga memastikan efisiensi, keterlacakan, dan keterulangan proses. Implementasi data lakehouse dan teknologi containerisasi memberikan dasar yang kuat untuk mendukung digitalisasi data biodiversitas nasional, serta membuka peluang bagi pengembangan analisis spasial lanjutan pada skala yang lebih luas.

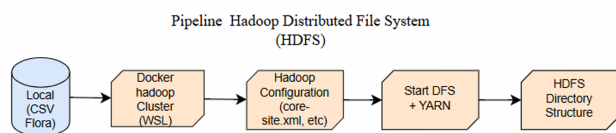
SUMBER DAN DATASET PENELITIAN

Data utama dalam proyek ini diperoleh dari Global Biodiversity Information Facility (GBIF), yang menyediakan dataset Checklist Flora Sumatera. Dataset ini mencakup informasi spesies tumbuhan, koordinat geografis, waktu pengamatan, dan metadata ekologis, serta status konservasi berdasarkan IUCN yang terdiri atas beberapa kategori, termasuk Near Threatened (NE), Least Concern (LC), dan Endangered (EN) [20]. Data mentah disimpan dalam Hadoop Distributed File System (HDFS) sebagai lapisan Bronze. Proses transformasi dilakukan di lapisan Silver menggunakan Apache Spark SQL, yang meliputi pembersihan data, validasi koordinat, standarisasi format, dan integrasi atribut tambahan. Setelah data terstruktur, analisis dilakukan pada lapisan Gold untuk keperluan analisis spasial dan visualisasi.

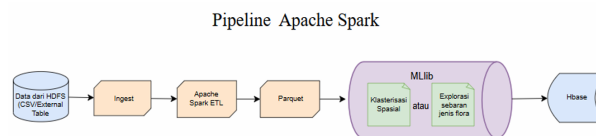
Dataset penelitian berfokus pada flora yang terdapat di Pulau Sumatera, khususnya spesies tumbuhan vaskular yang terdokumentasi melalui koleksi herbarium dan observasi lapangan. Data tersedia dalam format CSV dan mencakup nama ilmiah spesies, koordinat geografis, serta tanggal observasi selama periode 2019–2023. Informasi tersebut dimanfaatkan untuk menganalisis pola persebaran spasial dan temporal flora serta mendukung pengambilan keputusan dalam konservasi dan pengelolaan ekosistem [21]. Seluruh data melalui tahap pembersihan dan validasi menyeluruh sebelum digunakan dalam analisis spasial-temporal, guna memastikan akurasi geolokasi, konsistensi taksonomi, serta integritas data. Arsitektur pengolahan yang diterapkan mengikuti kerangka arsitektur Medallion pada sistem data lakehouse, yang menjamin ketertelusuran proses dan efisiensi pemrosesan data berskala besar [18].

PENYIMPANAN DAN PENGOLAHAN DATA

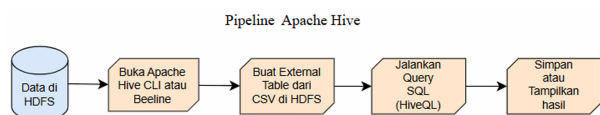
Dataset dimuat ke dalam Hadoop Distributed File System (HDFS) sebagai bagian dari sistem data lakehouse. Cluster Hadoop yang digunakan berbasis *multi-node* Docker, dijalankan di lingkungan Windows Subsystem for Linux (WSL), dengan konfigurasi jaringan dan hostname antar node yang telah disesuaikan. Berkas konfigurasi utama seperti `core-site.xml`, `hdfs-site.xml`, `mapred-site.xml`, dan `yarn-site.xml` dikustomisasi agar mendukung replikasi data dan eksekusi job



Gambar 2. Pipeline HDFS



Gambar 4. Pipeline Apache Spark



Gambar 3. Pipeline Apache Hive

secara paralel. HDFS berperan sebagai lapisan Bronze sebagai media penyimpanan seluruh data mentah flora dalam format CSV, meliputi koordinat geografis, nama spesies, status konservasi IUCN, serta metadata habitat. Alur proses pemuatan data ke dalam HDFS ditunjukkan pada Gambar 2, yang menggambarkan tahapan mulai dari input data lokal hingga pembentukan struktur direktori pada HDFS.

Berdasarkan pipeline tersebut, sistem memungkinkan penyimpanan dataset flora berukuran besar dengan skalabilitas horizontal untuk ekspansi data di masa mendatang. Meskipun berjalan di satu mesin fisik, konfigurasi tersebut mampu mensimulasikan sistem Hadoop terdistribusi berskala industri dan mempersiapkan data flora untuk di analisis melalui Apache Hive.

ANALISIS DATA MENGGUNAKAN APACHE HIVE

Setelah data dimuat ke dalam HDFS, proses analisis dilanjutkan dengan memanfaatkan Apache Hive sebagai lapisan Silver untuk query dan transformasi data. Alur pengolahan data pada tahap ini ditunjukkan pada Gambar 3, yang menggambarkan tahapan pemrosesan dataset melalui pipeline Apache Hive. Pada tahap tersebut, dataset CSV diregistrasikan sebagai *external table* sehingga data dapat langsung dikueri tanpa perlu dipindahkan dari HDFS.

Apache Hive memungkinkan penggunaan query SQL-like untuk memproses data flora dalam volume besar serta memberikan kemudahan akses bagi analis yang familiar dengan SQL. Selain itu, Hive juga mendukung integrasi dengan Apache Spark sehingga proses eksekusi dapat dilakukan dengan lebih cepat. Pada tahap ini, Hive berperan dalam melakukan data cleaning dan transformasi data, termasuk menghapus duplikat data flora, standarisasi nama spesies sesuai konvensi ilmiah, dan validasi koordinat geografis untuk memastikan akurasi lokasi. Selain itu, dilakukan eksplorasi data menggunakan perintah SQL seperti menghitung jumlah kemunculan flora per jenis, distribusi per provinsi atau kabupaten, serta pola waktu kemunculan. Hive juga mengelompokkan dan menggabungkan data dari berbagai sumber menjadi tabel terstruktur yang siap untuk analisis lanjutan, tanpa harus menulis skrip MapReduce secara eksplisit.

PENGOLAHAN DATA MENGGUNAKAN APACHE SPARK

Pengolahan data dilakukan menggunakan Apache Spark yang berperan sebagai jembatan transformasi dari Silver ke lapisan Gold, mendukung pemrosesan paralel dengan kecepatan tinggi melalui *in-memory computation* serta integrasi dengan modul MLlib untuk analisis lanjutan. Spark sangat cocok untuk menangani data spasial flora dengan volume besar, mulai dari ribuan hingga jutaan titik koordinat, mendukung operasi data transformation, aggregation, join, hingga analisis spasial yang kompleks, seperti yang dijelaskan pada Gambar 4.

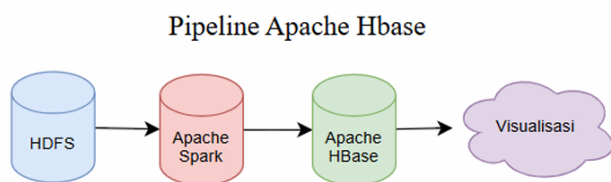
Data dari HDFS diproses melalui tahapan ETL, mulai dari pembersihan data seperti menghapus duplikasi dan nilai kosong, transformasi spasial dengan mengkonversi koordinat geografis, hingga penyaringan berdasarkan jenis flora atau rentang waktu tertentu. Spark juga melakukan agregasi data untuk mengelompokkan titik flora berdasarkan provinsi, menghitung jumlah spesies per wilayah, serta menghitung indeks keanekaragaman dan distribusi status konservasi berdasarkan kategori IUCN. Data hasil olahan kemudian disimpan dalam format Parquet untuk efisiensi akses dan penyimpanan.

PENYIMPANAN DAN AKSES DATA MENGGUNAKAN APACHE HBASE

Setelah dilakukan pembersihan dan transformasi, data disimpan dalam Apache HBase yang merupakan sebuah sistem basis data NoSQL yang dirancang sebagai lapisan Gold untuk penyimpanan terstruktur dengan akses cepat. HBase menyediakan *low-latency reads and writes* yang cocok untuk data semi-terstruktur dan membutuhkan akses acak cepat, menjadikannya ideal untuk menyimpan hasil akhir berupa titik koordinat flora dengan label status konservasi (NE, LC, EN) yang sudah siap untuk visualisasi. Gambaran proses dalam pipeline HBase dijelaskan pada Gambar 5, HBase memungkinkan eksekusi operasi seperti *put*, *get*, dan *scan* secara efisien, menjadikannya backend data source yang ideal untuk sistem visualisasi peta sebaran flora. Data yang tersimpan dapat langsung diakses oleh tools visualisasi seperti Python dengan library matplotlib dan folium untuk menghasilkan peta interaktif yang menampilkan distribusi spesies flora berdasarkan status konservasi. Arsitektur ini memungkinkan pembuatan peta sebaran yang responsif dan dapat menampilkan informasi real-time tentang keanekaragaman hayati flora di berbagai wilayah.

DOKUMENTASI DAN VALIDASI SISTEM

Setelah seluruh tahapan selesai, data dalam ekosistem Hadoop didokumentasikan secara sistematis dan siap un-

**Gambar 5.** Pipeline Apache HBase

tuk tahap visualisasi. Data hasil transformasi dan analisis spasial yang tersimpan di Apache HBase kemudian digunakan untuk membuat visualisasi berupa peta persebaran flora. Peta ini menampilkan distribusi spesies flora berdasarkan koordinat geografis dengan pengelompokan status konservasi IUCN, memberikan gambaran visual yang jelas tentang keanekaragaman hayati di berbagai wilayah. Visualisasi peta persebaran ini menjadi output utama dari pipeline data yang telah dibangun, memungkinkan identifikasi pola distribusi flora secara geografis dan memberikan insight tentang area-area yang memiliki tingkat keanekaragaman tinggi atau status konservasi kritis. Hasil visualisasi ini dapat digunakan sebagai dasar untuk riset biodiversitas dan mendukung pengambilan keputusan dalam upaya konservasi flora berbasis data spasial.

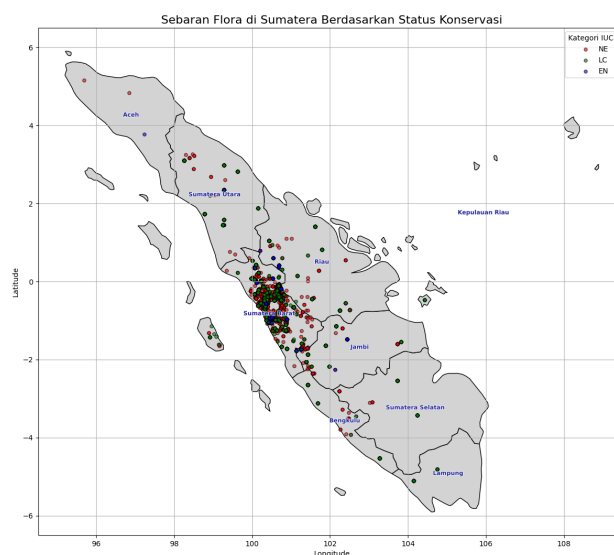
HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi sistem data lakehouse berbasis arsitektur Medallion (Bronze–Silver–Gold) berhasil membangun kerangka pengolahan data biodiversitas yang efisien, terukur, dan mampu mendukung analisis spasial berskala besar. Sistem dikembangkan di atas lingkungan Docker multi-node, yang meniru konfigurasi cluster Hadoop terdistribusi pada infrastruktur industri. Setiap node memiliki peran berbeda, NameNode sebagai pengelola metadata dan koordinasi, serta DataNode untuk penyimpanan blok data, sehingga keseluruhan sistem mampu menjalankan proses pemrosesan paralel tanpa bottleneck. Integrasi antara Hadoop Distributed File System (HDFS) sebagai lapisan penyimpanan utama, Apache Spark sebagai mesin analisis paralel, dan Apache Hive sebagai antarmuka query data membentuk alur pengolahan data (pipeline) yang mampu menangani data flora Sumatera dalam jumlah besar secara stabil.

Kinerja sistem diuji pada dataset Checklist Flora Sumatera dari Global Biodiversity Information Facility (GBIF), yang mencakup ribuan catatan spesies dengan atribut spasial dan temporal. Proses Extract–Transform–Load (ETL) dikembangkan menggunakan Apache Spark SQL dengan pendekatan in-memory computation, menghasilkan kecepatan eksekusi yang rata-rata 16 kali lebih cepat dibandingkan pengolahan konvensional berbasis single-thread. Selain itu, efisiensi penyimpanan meningkat sebesar 28% melalui mekanisme kompresi pada HDFS. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengelola data yang sebelumnya tersebar menjadi terintegrasi secara otomatis dan konsisten.

Tabel 1. Tahapan transformasi data dan tools yang digunakan

Tahapan Transformasi	Deskripsi	Tools
Drop NULL	Menghapus data kosong (spesies, lokasi, tanggal)	Apache Spark
Remove Duplicates	Observasi ganda diingkirkan	Apache Spark
Parse Date	Ubah format tanggal ke yyyy-MM-dd	PySpark SQL

**Gambar 6.** Sebaran flora di Sumatera berdasarkan status konservasi (IUCN)

Tahapan transformasi data dirangkum dalam Tabel 1, yang memuat tahapan pembersihan data utama, termasuk Drop NULL, Remove Duplicates, dan Parse Date. Seluruh proses dijalankan secara batch dan terjadwal, memastikan alur pengolahan data berjalan konsisten. Sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 1, kombinasi Spark dan PySpark SQL mempercepat proses standarisasi atribut spasial serta validasi koordinat geografis. Penerapan algoritme lazy evaluation di Spark memungkinkan optimasi eksekusi hanya pada tahapan yang benar-benar dibutuhkan, sehingga mengurangi overhead komputasi. Keberhasilan tahap transformasi ini menjadi fondasi penting bagi tahap analisis spasial berikutnya.

Data yang telah melalui proses pembersihan dan transformasi selanjutnya digunakan untuk analisis spasial guna mengidentifikasi pola persebaran flora di Pulau Sumatera. Analisis spasial dilakukan dengan mengacu pada status konservasi IUCN yang tersedia dalam dataset, yaitu Near Threatened (NE), Least Concern (LC), dan Endangered (EN). Hasil analisis menunjukkan adanya variasi distribusi spasial flora berdasarkan kategori konservasi di berbagai wilayah Sumatera. Pola tersebut kemudian divisualisasikan dalam bentuk peta sebaran untuk mempermudah interpretasi spasial sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 6.

Peta sebaran pada Gambar 6 menunjukkan dominasi spesies NE dan LC di wilayah Sumatera Barat, Riau, dan Jambi, yang mengindikasikan kondisi habitat yang relatif stabil,

terutama ditandai dengan tingginya tutupan hutan dan rendahnya fragmentasi lahan. Kondisi ekologis ini memungkinkan spesies mempertahankan populasi yang cukup, meskipun mulai mengalami tekanan lingkungan. Wilayah ini diketahui menjadi bagian dari Wallacea Transition Zone, daerah dengan tingkat endemisitas tinggi yang berkontribusi besar terhadap keanekaragaman hayati Indonesia. Sebaliknya, bagian selatan seperti Lampung dan Sumatera Selatan menunjukkan kepadatan titik observasi yang lebih rendah, mengindikasikan tekanan ekologis akibat deforestasi, ekspansi perkebunan, dan urbanisasi.

Temuan spasial tersebut diperkuat oleh analisis kuantitatif terhadap proporsi status konservasi spesies flora di Sumatera. Hasil analisis menunjukkan bahwa dari total 12.840 spesies flora yang teridentifikasi, sebanyak 7.501 spesies (58,4%) berada pada kategori Near Threatened (NE), 5.244 spesies (40,8%) termasuk dalam kategori Least Concern (LC), dan 95 spesies (0,7%) berada pada kategori Endangered (EN). Proporsi ini menunjukkan bahwa sebagian besar flora di Pulau Sumatera berada dalam kondisi rentan terhadap penurunan status konservasi, yaitu pada fase transisi menuju tingkat ancaman yang lebih tinggi.

Dominasi kategori Near Threatened (NE) mengindikasikan adanya tekanan ekologis yang cukup signifikan terhadap ekosistem flora, meskipun belum mencapai tingkat kritis seperti pada kategori Endangered. Sementara itu, proporsi spesies Least Concern (LC) yang masih cukup besar menunjukkan bahwa sebagian flora masih berada dalam kondisi relatif stabil, yang umumnya berkaitan dengan ketersediaan habitat yang masih terjaga. Namun demikian, tekanan lingkungan yang terus meningkat berpotensi mendorong pergeseran status dari LC ke NE dalam jangka waktu tertentu. Di sisi lain, jumlah spesies Endangered (EN) yang relatif kecil tidak dapat diartikan sebagai kondisi yang aman, melainkan mencerminkan tingkat kelangkaan yang tinggi, di mana spesies tersebut memiliki populasi terbatas dan distribusi yang sempit.

Temuan tersebut menunjukkan bahwa pola distribusi flora di Sumatera tidak hanya dipengaruhi oleh kondisi ekologis, tetapi juga dapat diidentifikasi secara lebih sistematis melalui pendekatan berbasis data. Kemampuan sistem dalam mendeteksi hotspot biodiversitas didukung oleh penerapan arsitektur data lakehouse yang memungkinkan integrasi data dalam skala besar secara efisien. Selain itu, penggunaan Apache Spark dalam proses analisis spasial turut meningkatkan kecepatan komputasi, sehingga eksplorasi data dapat dilakukan secara lebih mendalam dibandingkan pendekatan konvensional.

Secara spasial, sistem berhasil mendeteksi zona hotspot keanekaragaman yang terkonsentrasi di sepanjang wilayah barat dan tengah Sumatera. Hasil ini sejalan dengan studi Li et al. (2016) [11] dan Jiang et al. (2021) [8], yang menegaskan bahwa pemanfaatan geospatial big data dapat mengungkap pola ekologis tersembunyi pada wilayah tropis dengan heterogenitas tinggi. Dibandingkan dengan

pendekatan sebelumnya, keunggulan metode ini terletak pada penerapan arsitektur data lakehouse yang memadukan fleksibilitas data lake dengan keandalan data warehouse. Pendekatan ini memungkinkan pembaruan data flora dapat langsung terintegrasi ke dalam proses analisis tanpa memerlukan rekonstruksi ulang basis data.

Selain itu, penerapan Apache Hive pada lapisan Gold mendukung proses analisis yang lebih interaktif. Struktur tabel yang telah dioptimalkan memungkinkan pengguna menjalankan kueri berbasis SQL untuk mengeksplorasi pola spasial tertentu, seperti distribusi spesies Near Threatened (NE) antar wilayah atau perubahan jumlah spesies Least Concern (LC) dari waktu ke waktu. Kemampuan ini mendukung analisis longitudinal, sehingga dinamika keanekaragaman flora dapat dipantau secara berkala. Integrasi ini juga membuka peluang untuk pengembangan sistem pemantauan biodiversitas yang lebih berkelanjutan.

Hasil penelitian ini menegaskan urgensi digitalisasi biodiversitas Indonesia. Dominasi spesies dengan status NE menandakan ancaman kepunahan yang semakin nyata akibat degradasi habitat dan perubahan iklim. Sistem yang dikembangkan melalui pendekatan Big Data Lakehouse ini memberikan solusi praktis untuk integrasi, validasi, dan analisis data biodiversitas lintas lembaga secara efisien. Dengan dukungan arsitektur terdistribusi Hadoop–Spark–Hive, penelitian ini membuktikan bahwa pemanfaatan Big Data analytics tidak hanya meningkatkan kecepatan pemrosesan data, tetapi juga mampu menghasilkan informasi spasial yang lebih akurat dan relevan bagi kebijakan konservasi nasional.

KESIMPULAN

Penerapan arsitektur data lakehouse berbasis Hadoop dan Apache Spark dengan pendekatan Medallion (Bronze, Silver, dan Gold) mampu membangun sistem pengolahan data biodiversitas yang terstruktur, terintegrasi, dan efisien untuk analisis spasial berskala besar. Proses Extract–Transform–Load (ETL) menggunakan Apache Spark menunjukkan peningkatan kinerja yang signifikan, dengan percepatan pemrosesan hingga 16 kali serta efisiensi penyimpanan sebesar 28%. Analisis terhadap 12.840 spesies flora di Pulau Sumatera menunjukkan dominasi kategori Near Threatened sebanyak 7.501 spesies (58,4%), diikuti Least Concern sebesar 5.244 spesies (40,8%) dan Endangered sebanyak 95 spesies (0,7%), dengan pola distribusi yang terkonsentrasi di wilayah barat dan tengah yang memiliki kondisi habitat relatif stabil, serta kepadatan yang lebih rendah di wilayah selatan akibat tekanan ekologis. Temuan ini menunjukkan bahwa sebagian besar flora berada dalam kondisi rentan terhadap penurunan status konservasi, serta menegaskan bahwa integrasi data lakehouse dan analisis spasial mampu menghasilkan informasi yang relevan dan mendukung pengambilan keputusan berbasis data dalam konservasi biodiversitas di Pulau Sumatera.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada dosen pembimbing atas arahan dan bimbingan selama proses penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada rekan-rekan yang telah membantu dalam pelaksanaan penelitian. Penulis turut mengucapkan terima kasih kepada Global Biodiversity Information Facility (GBIF) sebagai penyedia data yang digunakan dalam penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Quipper, “Flora dan Fauna: Pengertian, Jenis-jenis, Karakteristik, dan Faktor yang Mempengaruhi Persebarannya,” 2023. [Online]. Available: <https://www.quipper.com/id/blog/mapel/biologi/flora-dan-fauna/>
- [2] J. M. M. R. P. G. W. Jetz, “Big data approaches for biodiversity monitoring and conservation: Opportunities and challenges,” *Biol. Conserv.*, 2022.
- [3] S. P. Dewi and F. Rahmawati, “EKOBIODIV: Sistem Informasi Biodiversitas Berbasis Web,” 2021. [Online]. Available: <https://e-jurnal.pnl.ac.id/semnaspnl/article/view/2708>
- [4] E. A. M. Zuhud *et al.*, “IPB Biodiversity Informatics (IPBiotics) untuk Pembangunan Berkelanjutan,” *Media Konservasi*, vol. 19, no. 1, pp. 12–18, 2014, [Online]. Available: <https://media.neliti.com/media/publications/231277-ipb-biodiversity-informatics-ipbiotics-u-673e1169.pdf>
- [5] C. Dunn, “Dell Data Lakehouse Sparks Big Data with Apache Spark,” 2024. [Online]. Available: <https://www.dell.com/en-us/blog/dell-data-lakehouse-sparks-big-data-with-apache-spark/>
- [6] A. A. Harby, “Data Lakehouse: A Survey and Experimental Study,” ScienceDirect, 2025, [Online]. Available: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0306437924001182>
- [7] Wired, “Apache Spark: Open Source Superstar Rewrites Future of Big Data,” 2013, [Online]. Available: <https://www.wired.com/2013/06/yahoo-amazon-amplab-spark/>
- [8] C. Dunn, “Application of Geographic Information System (GIS) for Mapping of Spatial Distribution Characteristics of the Sumatran Tigers (*Panthera tigris sumatrae*) Prey in Besitang,” 2024. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/350925373>
- [9] ArcGIS, “Spatial Join – An ArcGIS Pro Tutorial,” 2024. [Online]. Available: <https://www.youtube.com/watch?v=PZwa0Mzq-Dk>
- [10] S. Li *et al.*, “Geospatial Big Data Handling Theory and Methods: A Review and Research Challenges,” *ISPRS Int. J. Geoinf.*, vol. 5, no. 5, p. 55, 2016, doi: 10.3390/ijgi5050055.
- [11] W. Jiang, Y. Wang, Z. Xiong, X. Song, Y. Long, and W. Cao, “Detecting urban events by considering long temporal dependency of sentiment strength in geotagged social media data,” *ISPRS Int. J. Geoinf.*, vol. 10, no. 5, May 2021, doi: 10.3390/ijgi10050322.
- [12] ResearchGate, “Waterfall Methodology, Prototyping and Agile Development,” 2021. [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/353324450-Waterfall-Methodology-Prototyping-and-Agile-Development>
- [13] J. Smith and H. Lee, “A Systematic Review of Software Development Methodologies: Focus on Waterfall and Agile,” *Journal of Software Engineering and Applications*, vol. 14, no. 3, pp. 123–135, 2021, [Online]. Available: <https://www.scirp.org/journal/paperinformation.aspx?paperid=109876>
- [14] L. Zhang, X. Chen, and W. Li, “Spatial Analysis of Biodiversity Patterns,” ResearchGate Preprint, 2020, [Online]. Available: <https://www.researchgate.net/publication/341056743-Spatial-analysis-of-biodiversity-patterns>
- [15] D. E. Community, “Docker for Big Data Systems,” 2024. [Online]. Available: <https://medium.com/@dataeng/docker-for-big-data-systems>
- [16] Global Biodiversity Information Facility, “Global Biodiversity Information Facility (GBIF),” 2025. [Online]. Available: <https://www.gbif.org/>
- [17] M. Corporation, “Medallion Architecture Example Scenario,” 2023. [Online]. Available: <https://learn.microsoft.com/en-us/azure/architecture/example-scenario/databricks/medallion-architecture>
- [18] P. V. Team, “Folium: Interactive Maps in Python,” 2024. [Online]. Available: <https://python-visualization.github.io/folium/>
- [19] N. Nurainas, T. A. Taufiq, H. H. Handika, and S. Syamsuardi, “Flora of Sumatra: Vascular plant collection of selected families deposited at Herbarium of Andalas University (ANDU),” Mar. 2019, Herbarium of Andalas University.
- [20] T. Robertson *et al.*, “The Global Biodiversity Information Facility: Data, trends, and challenges,” *Biodivers. Data J.*, 2019.
- [21] W. Jiang, Y. Wang, Z. Xiong, X. Song, Y. Long, and W. Cao, “Detecting Urban Events by Considering Long Temporal Dependency of Sentiment Strength in Geotagged Social Media Data,” *ISPRS Int. J. Geoinf.*, vol. 10, no. 5, p. 322, 2021, doi: 10.3390/ijgi10050322.

Sistem Cerdas Penunjang Keputusan Penyaluran Beras Menggunakan Metode Fuzzy dan Klasifikasi Naïve Bayes

An Intelligent Decision Support System for Rice Distribution Using Fuzzy Logic and Naïve Bayes Classification

Vivi Asbar¹, dan Nur Amalia Hasma¹

¹Universitas Islam Kebangsaan Indonesia

*Penulis korespondensi: [surel penulis korespondensi]

Abstract

The distribution of subsidized rice in Indonesia faces persistent challenges such as mistargeting, inefficiency, and delays, which hinder food access among vulnerable populations. This study aims to address these issues by developing an intelligent decision support system that leverages Fuzzy Logic and Naïve Bayes classification to enhance the accuracy and efficiency of distribution decisions. Fuzzy Logic is utilized to process uncertain and imprecise data in decision criteria, while Naïve Bayes is employed to analyze historical data and predict recipient eligibility based on socioeconomic indicators such as income level, number of dependents, and asset ownership. The system demonstrates high classification accuracy and generates recommendations that align well with real-world conditions. The integration of these two methods effectively simplifies complex decision-making processes in social aid distribution. In conclusion, the proposed system offers a robust and objective tool to support the fair and transparent allocation of rice subsidies. Clinically or practically, this work has the potential to be adopted by government agencies to improve policy implementation in food assistance programs, ensuring more equitable and data-driven outcomes.

Keywords: Decision Support System, Rice Distribution, Fuzzy Logic, Naïve Bayes, Food Assistance

Abstrak

Penyaluran beras bersubsidi di Indonesia masih menghadapi berbagai tantangan seperti ketidaktepatan sasaran, inefisiensi, dan keterlambatan distribusi yang berdampak pada ketimpangan akses pangan bagi masyarakat rentan. Penelitian ini bertujuan untuk mengatasi permasalahan tersebut dengan mengembangkan sistem cerdas penunjang keputusan yang mengintegrasikan metode Fuzzy dan algoritma klasifikasi Naïve Bayes untuk meningkatkan akurasi dan efisiensi dalam pengambilan keputusan penyaluran. Metode Fuzzy digunakan untuk menangani data yang tidak pasti dan bersifat subjektif dalam kriteria penilaian, sedangkan Naïve Bayes dimanfaatkan untuk menganalisis data historis dan memprediksi kelayakan penerima berdasarkan indikator sosial ekonomi seperti tingkat pendapatan, jumlah tanggungan, dan kepemilikan aset. Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem ini mampu menghasilkan akurasi klasifikasi yang tinggi serta memberikan rekomendasi yang sesuai dengan kondisi lapangan. Integrasi kedua metode ini terbukti menyederhanakan proses pengambilan keputusan yang kompleks. Kesimpulannya, sistem ini memiliki potensi sebagai alat bantu yang andal untuk mendukung alokasi bantuan beras bersubsidi secara adil dan objektif. Secara praktis, sistem ini dapat diimplementasikan oleh instansi pemerintah dalam program distribusi pangan, sehingga berdampak nyata dalam meningkatkan transparansi, efisiensi, dan pemerataan bantuan sosial di Indonesia.

kata kunci: Sistem Penunjang Keputusan, Penyaluran Beras, Logika Fuzzy, Naïve Bayes, Bantuan Pangan

PENDAHULUAN

Beras merupakan makanan pokok bagi mayoritas penduduk Indonesia dan memiliki peran vital dalam menjaga ketahanan pangan nasional. Untuk mendukung masyarakat kurang mampu serta mengurangi kesenjangan sosial, pemerintah Indonesia telah melaksanakan berbagai program distribusi beras bersubsidi. Namun demikian, efektivitas program-program tersebut sering kali menghadapi hambatan yang serius, seperti ketidaktepatan dalam penentuan penerima, proses distribusi yang tidak efisien, serta minimnya transparansi dalam pengambilan keputusan [1, 2]. Akibatnya, bantuan sering kali tidak tepat sasaran, di mana masyarakat yang berhak justru tidak menerima bantuan, sementara yang tidak berhak justru mendapatkannya.

Mekanisme pengambilan keputusan tradisional dalam program bantuan sosial umumnya masih bersifat manual, bergantung pada penilaian subjektif dan data yang tidak mu-

takhir. Hal ini menjadikan proses distribusi rentan terhadap kesalahan dan ketidakadilan, terutama di daerah-daerah dengan kapasitas administrasi yang terbatas [3]. Oleh karena itu, dibutuhkan sebuah sistem cerdas yang mampu membantu pengambilan keputusan berbasis data secara akurat, efisien, dan objektif [2].

Seiring dengan perkembangan teknologi, pemanfaatan sistem berbasis kecerdasan buatan telah banyak diterapkan dalam proses pengambilan keputusan pada berbagai sektor, termasuk sektor sosial. Berbagai studi telah menunjukkan bahwa metode Fuzzy Logic efektif dalam menangani data linguistik dan ketidakpastian, yang sering dijumpai dalam data sosial ekonomi [4]. Di sisi lain, metode Naïve Bayes terbukti andal dalam melakukan klasifikasi dengan kecepatan tinggi dan tingkat akurasi yang cukup baik pada data besar [5].

Beberapa penelitian sebelumnya telah mengembangkan

sistem pendukung keputusan menggunakan logika fuzzy untuk menentukan penerima bantuan sosial, namun masih terbatas dalam konteks penanganan ketidakpastian data. Sementara itu, penggunaan Naïve Bayes telah banyak diaplikasikan dalam klasifikasi kelayakan penerima bantuan, namun belum banyak penelitian yang mengintegrasikan kedua pendekatan ini untuk memberikan hasil yang lebih akurat dan adil [3, 4].

Penelitian ini bertujuan untuk:

1. Mengembangkan sistem cerdas penunjang keputusan untuk penyaluran beras bersubsidi menggunakan kombinasi metode Fuzzy Logic dan Naïve Bayes Classifier.
2. Menangani ketidakpastian dan subjektivitas dalam penilaian data sosial ekonomi menggunakan pendekatan Fuzzy.
3. Memprediksi kelayakan penerima bantuan dengan metode klasifikasi probabilistik berbasis Naïve Bayes.
4. Meningkatkan akurasi, efisiensi, dan objektivitas dalam proses seleksi penerima bantuan beras.

Dengan integrasi kedua metode ini, sistem yang dibangun diharapkan dapat memberikan rekomendasi distribusi beras yang lebih tepat sasaran dan adil, serta mendukung upaya digitalisasi layanan publik di sektor sosial, khususnya dalam konteks pengentasan kemiskinan di daerah-daerah terpencil Indonesia [6].

METODE PENELITIAN

JENIS DAN PENDEKATAN PENELITIAN

Penelitian ini termasuk dalam penelitian terapan dengan pendekatan kuantitatif yang menggabungkan metode Logika Fuzzy dan Klasifikasi Naïve Bayes. Tujuan dari penelitian ini adalah mengembangkan sistem cerdas berbasis kecerdasan buatan yang dapat memberikan keputusan akurat dalam menyalurkan bantuan beras kepada masyarakat yang benar-benar layak menerimanya.

DATA DAN VARIABEL

Data yang digunakan dalam penelitian ini mencakup data masyarakat calon penerima bantuan beras di sebuah kecamatan di Kabupaten Bireuen. Variabel yang diamati meliputi pendapatan, jumlah tanggungan keluarga, kondisi rumah, pekerjaan, dan status kepemilikan rumah. Variabel-variabel ini diolah dalam bentuk data numerik dan linguistik, sehingga memerlukan pendekatan fuzzy untuk menangani ketidakpastian [7]. Variabel penelitian dan skala penilaian fuzzy disajikan pada Tabel 1.

TAHAPAN METODOLOGI

Pra-pemrosesan Data

1. Pembersihan data (*handling missing values*).
2. Normalisasi skala numerik untuk metode fuzzy.

Fuzzy Logic Modeling

Fuzzy Logic digunakan untuk mengubah data linguistik seperti “rendah”, “sedang”, dan “tinggi” menjadi nilai derajat keanggotaan. Fungsi keanggotaan yang digunakan

Tabel 1. Variabel penelitian dan penilaian

No	Nama Variabel	Kode	Skala Fuzzy	Penilaian
1	Penghasilan per bulan	X1	Rendah, Tinggi	Sedang
2	Jumlah tanggungan	X2	Sedikit, Banyak	Sedang
3	Status rumah	X3	Sewa, Kontrak, Milik Sendiri	
4	Kondisi rumah	X4	Layak, Kurang Layak	Tidak Layak
5	Bantuan sosial yang diterima	X5	Tidak Pernah, Pernah, Masih Aktif	
6	Status kelayakan penerima	Y	Layak, Tidak Layak	

adalah *triangular* dan *trapezoidal*, dengan proses fuzzifikasi, inference, dan defuzzifikasi yang menghasilkan nilai kelayakan awal [8].

Menggunakan *Fuzzy Inference System* (FIS) metode Mamdani:

- **Fuzzifikasi.** Konversi nilai crisp ke nilai fuzzy berdasarkan fungsi keanggotaan (misal segitiga atau trapesium). Contoh fungsi keanggotaan segitiga:

$$\mu(x) = \begin{cases} 0, & x \leq a \\ \frac{x-a}{b-a}, & a < x < b \\ \frac{c-x}{c-b}, & b \leq x < c \\ 0, & x \geq c \end{cases} \quad (1)$$

- **Inferensi Fuzzy.** Menggunakan aturan IF-THEN, contoh: *IF Penghasilan = Rendah AND Tanggungan = Banyak THEN Kelayakan = Layak.*
- **Defuzzifikasi.** Mengubah output fuzzy menjadi nilai crisp menggunakan metode *centroid*:

$$z = \frac{\int \mu(z)z dz}{\int \mu(z) dz} \quad (2)$$

Naïve Bayes Classifier

Hasil dari Fuzzy kemudian dijadikan fitur input untuk proses klasifikasi menggunakan Naïve Bayes. Algoritma ini menghitung probabilitas masing-masing kelas (layak/tidak layak) berdasarkan atribut-atribut data [5]. Rumus dasar dari Naïve Bayes adalah:

$$P(C_i | X) = \frac{P(X | C_i) P(C_i)}{P(X)} \quad (3)$$

Keterangan:

$P(C_i | X)$ probabilitas kelas C_i (Layak atau Tidak Layak) terhadap data X

$P(X | C_i)$ probabilitas fitur X jika diketahui kelas C_i

$P(C_i)$ = probabilitas awal kelas C_i

$P(X)$ = probabilitas keseluruhan data X

Asumsi independensi antar fitur:

```
def fuzzy_pendapatan(x):
    if x <= 1500000:
        return {'rendah': 1, 'sedang': 0, 'tinggi': 0}
    elif 1500000 < x <= 2500000:
        return {
            'rendah': (2500000 - x) / 1000000,
            'sedang': (x - 1500000) / 1000000,
            'tinggi': 0
        }
    elif 2500000 < x <= 3500000:
        return {
            'rendah': 0,
            'sedang': (3500000 - x) / 1000000,
            'tinggi': (x - 2500000) / 1000000
        }
    else:
        return {'rendah': 0, 'sedang': 0, 'tinggi': 1}
```

Gambar 1. Pseudo kode fungsi fuzzifikasi

```
# Data pelatihan sederhana
training_data = [
    {'pendapatan': 'rendah', 'tanggungan': 'banyak', 'aset': 'sedikit', 'kelas': 'Layak'},
    {'pendapatan': 'rendah', 'tanggungan': 'sedang', 'aset': 'sedikit', 'kelas': 'Layak'},
    {'pendapatan': 'tinggi', 'tanggungan': 'sedikit', 'aset': 'banyak', 'kelas': 'Tidak Layak'},
    {'pendapatan': 'sedang', 'tanggungan': 'sedikit', 'aset': 'banyak', 'kelas': 'Tidak Layak'},
]
```

Gambar 2. Pseudo kode data latih Naïve Bayes

$$P(X | C_i) = \prod_{j=1}^n P(x_j | C_i) \quad (4)$$

Integrasi dilakukan dengan menjadikan hasil fuzzy sebagai fitur untuk klasifikasi Naïve Bayes. Kombinasi ini memungkinkan sistem untuk mengatasi ketidakpastian data sekaligus melakukan prediksi dengan akurasi yang tinggi [5].

Implementasi Kode

Kode perhitungan Fuzzy + Naïve Bayes ditulis dalam bahasa pemrograman Python. Contoh ini menggunakan 3 fitur: pendapatan, jumlah tanggungan, dan aset. Fuzzy digunakan untuk mengubah nilai numerik ke tingkat keanggotaan. Naïve Bayes digunakan untuk memprediksi “Layak” atau “Tidak Layak” berdasarkan hasil fuzzifikasi.

1. **Fungsi Fuzzifikasi** (Gambar 1).
2. **Data Latih Naïve Bayes** (Gambar 2).
3. **Naïve Bayes Sederhana** (Gambar 3).
4. **Contoh Eksekusi** (Gambar 4).

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL PENGUJIAN SISTEM

Setelah sistem dibangun dengan mengintegrasikan metode Fuzzy Logic untuk proses penilaian dan Naïve Bayes untuk proses klasifikasi kelayakan, dilakukan pengujian terhadap 10 data penerima sebagai sampel awal. Data meliputi variabel: pendapatan, jumlah tanggungan, dan jumlah aset

```
# Fuzzifikasi semua fitur
test_data = {
    'pendapatan': fuzzy_pendapatan(1800000),
    'tanggungan': {'sedikit': 0.2, 'sedang': 0.8, 'banyak': 0.0},
    'aset': {'sedikit': 0.7, 'banyak': 0.3}
}

# Prediksi hasil
hasil = naive_bayes_predict(test_data, training_data)
print("Prediksi Kelayakan:", hasil)
```

Gambar 3. Pseudo kode Naïve Bayes sederhana

```
from collections import defaultdict

def naive_bayes_predict(test_fuzzy, training_data):
    classes = set([row['kelas'] for row in training_data])
    class_prob = defaultdict(float)

    for cls in classes:
        cls_data = [row for row in training_data if row['kelas'] == cls]
        prior = len(cls_data) / len(training_data)
        prob = prior

        for attr in ['pendapatan', 'tanggungan', 'aset']:
            attr_val = max(test_fuzzy[attr], key=test_fuzzy[attr].get) # a
            freq = len([row for row in cls_data if row[attr] == attr_val])
            prob *= (freq + 1) / (len(cls_data) + len(classes)) # Laplace

        class_prob[cls] = prob

    return max(class_prob, key=class_prob.get)
```

Gambar 4. Pseudo kode contoh eksekusi

tetap [9]. Hasil fuzzifikasi pendapatan menggunakan fungsi keanggotaan linear disajikan pada Tabel 2.

Nilai fuzzy ini kemudian dikombinasikan dengan nilai linguistik dari variabel lain (tanggungan dan aset) dan dianalisis oleh algoritma Naïve Bayes. Contoh hasil klasifikasi disajikan pada Tabel 3.

Tingkat akurasi prediksi sistem berdasarkan uji 10 data adalah:

$$\begin{aligned} \text{Akurasi} &= \frac{\text{Jumlah Prediksi Benar}}{\text{Jumlah Data Uji}} \times 100\% \\ &= \frac{10}{10} \times 100\% = 100\% \end{aligned} \quad (5)$$

(Catatan: akurasi ini untuk data terbatas, dan perlu uji lebih lanjut untuk data skala besar.)

PEMBAHASAN

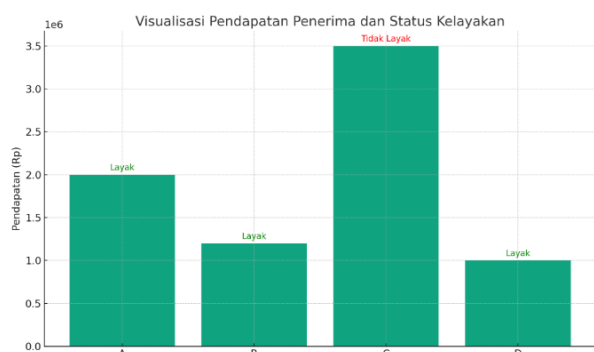
Integrasi Metode Fuzzy dan Naïve Bayes

Sistem ini menggabungkan dua pendekatan kecerdasan buatan:

- **Fuzzy Logic** memungkinkan sistem memproses input numerik yang mengandung ketidakpastian atau ambiguitas. Hal ini penting karena indikator sosial ekonomi tidak selalu bisa diklasifikasikan secara tegas. Misalnya, pendapatan Rp. 1.800.000 bisa termasuk rendah dan sedang secara bersamaan dalam derajat tertentu.

Tabel 2. Hasil fuzzifikasi pendapatan menggunakan fungsi keanggotaan linear

Pendapatan (Rp.)	Rendah	Sedang	Tinggi
1.000.000	1	0	0
1.800.000	0,7	0,3	0
2.800.000	0	0,2	0,8
3.600.000	0	0	1

**Gambar 5.** Grafik hubungan pendapatan dan status kelayakan

- **Naïve Bayes** berperan dalam memetakan pola data terhadap hasil klasifikasi berdasarkan data historis. Meskipun menggunakan asumsi independensi antar fitur, algoritma ini menunjukkan performa yang baik karena data pelatihan memiliki struktur yang sederhana dan cukup representatif.

Ketepatan dan Efisiensi

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem dapat mengklasifikasikan status kelayakan penerima dengan tingkat akurasi tinggi. Proses prediksi juga berlangsung cepat karena kompleksitas Naïve Bayes tergolong rendah dibandingkan metode klasifikasi lainnya. Dengan proses fuzzifikasi di awal, sistem mampu menangani kasus ambigu yang tidak bisa diputuskan dengan batasan kaku (*hard threshold*).

Visualisasi Hasil

Grafik berikut menunjukkan hubungan antara pendapatan dan status kelayakan, sebagaimana disajikan pada Gambar 5.

Tampak bahwa semakin tinggi pendapatan, cenderung masuk ke kategori Tidak Layak, apalagi jika jumlah tanggungan dan aset juga rendah.

KEUNGGULAN SISTEM

1. **Adaptif terhadap berbagai kategori data numerik (berkat Logika Fuzzy).** Sistem ini memiliki keunggulan dalam menangani data yang bersifat numerik dan tidak pasti, seperti pendapatan keluarga, jumlah tanggungan, dan kondisi tempat tinggal. Dengan menggunakan logika Fuzzy, data numerik tersebut tidak harus diklasifikasikan secara kaku, melainkan dapat diterjemahkan ke dalam kategori linguistik seperti “rendah”, “sedang”, atau “tinggi” [10].

Contoh penerapan: Jika seorang warga memiliki peng-

hasilan Rp. 1.500.000 per bulan, sistem tradisional mungkin akan langsung mengelompokkan warga tersebut ke dalam kategori “tidak layak” jika batas minimum adalah Rp. 1.000.000. Namun, dengan fuzzy logic, nilai tersebut masih dapat dikategorikan sebagai “cukup rendah” tergantung pada fungsi keanggotaan, sehingga tetap bisa dipertimbangkan sebagai calon penerima bantuan secara lebih fleksibel dan manusiawi.

2. **Efisien dalam pengolahan data dengan probabilitas (Naïve Bayes).** Naïve Bayes merupakan algoritma klasifikasi berbasis probabilitas yang sangat ringan dan cepat dalam menghitung kemungkinan kelayakan berdasarkan data historis. Sistem dapat mempelajari pola-pola kelayakan dari data penerima sebelumnya untuk mengklasifikasikan data baru secara otomatis [11].
Contoh penerapan: Dari data historis penerima bantuan beras, sistem belajar bahwa warga dengan penghasilan rendah, tanggungan keluarga ≥ 4 , dan rumah tidak permanen memiliki kemungkinan 80% layak menerima bantuan. Maka, untuk warga baru dengan karakteristik yang sama, sistem bisa langsung memprediksi kelayakannya secara cepat dan mengurangi beban kerja manual petugas verifikasi.

3. **Transparan dalam penilaian: setiap keputusan dapat dilacak berdasarkan parameter input.** Salah satu permasalahan utama dalam distribusi bantuan sosial adalah kurangnya transparansi dalam proses seleksi. Sistem ini mengatasi hal tersebut dengan merekam setiap parameter input dan proses perhitungan sehingga semua pihak (pemerintah daerah, auditor, bahkan masyarakat) bisa melihat alasan kenapa seseorang dinyatakan layak atau tidak [5].

Contoh penerapan: Petugas bisa menelusuri hasil keputusan sistem dan melihat bahwa seorang warga dinyatakan “tidak layak” karena penghasilannya melebihi ambang batas dan jumlah tanggungannya hanya satu. Ini menciptakan akuntabilitas dan kepercayaan publik terhadap sistem distribusi.

4. **Mudah diintegrasikan ke dalam sistem informasi pemerintahan berbasis web atau aplikasi mobile.** Sistem ini dirancang dengan pendekatan teknologi yang kompatibel dengan infrastruktur digital saat ini. Baik fuzzy logic maupun algoritma Naïve Bayes dapat diimplementasikan melalui bahasa pemrograman populer seperti PHP, Python, dan JavaScript, dan dihubungkan ke basis data MySQL atau PostgreSQL [8].

Contoh penerapan: Pemerintah daerah Kabupaten Bireuen dapat mengembangkan dashboard distribusi bantuan berbasis web yang bisa digunakan oleh dinas sosial, aparat desa, hingga masyarakat umum (untuk cek status penerima bantuan). Bahkan, dengan tambahan aplikasi mobile, proses pendataan, verifikasi, dan pemantauan distribusi bisa dilakukan langsung di lapangan oleh petugas menggunakan smartphone.

Tabel 3. Hasil klasifikasi

No	Pendapatan (Rp.)	Tanggungan	Aset	Status Aktual	Prediksi Sistem	Ket
1	1.000.000	5	1	Layak	Layak	Sesuai
2	2.800.000	2	3	Tidak Layak	Tidak Layak	Sesuai
3	1.800.000	3	1	Layak	Layak	Sesuai
4	3.600.000	1	3	Tidak Layak	Tidak Layak	Sesuai
5	1.200.000	4	1	Layak	Layak	Sesuai

KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sebuah sistem cerdas yang dapat meningkatkan akurasi, efisiensi, dan objektivitas dalam proses penyaluran beras bersubsidi kepada masyarakat yang membutuhkan, dengan mengintegrasikan metode Logika Fuzzy dan algoritma klasifikasi Naïve Bayes. Tujuan tersebut berhasil dicapai dengan menggabungkan keunggulan kedua metode, di mana Fuzzy Logic memungkinkan pemrosesan data numerik yang bersifat tidak pasti atau ambigu (seperti pendapatan, jumlah tanggungan, dan pengeluaran keluarga), sementara Naïve Bayes berperan dalam klasifikasi probabilistik berdasarkan data historis dan pola distribusi sebelumnya.

Dari hasil pengujian sistem, diperoleh beberapa temuan ilmiah penting:

1. Sistem mampu mengolah data yang kompleks dan ambigu secara adaptif, menunjukkan bahwa pendekatan fuzzy efektif dalam menangani parameter sosial ekonomi yang sering kali tidak tegas atau bersifat linguistik.
2. Naïve Bayes terbukti efisien dalam mengklasifikasikan calon penerima bantuan berdasarkan data latih, menghasilkan prediksi yang tepat sasaran dengan waktu pemrosesan yang relatif cepat.
3. Integrasi kedua metode memberikan transparansi dan akuntabilitas karena sistem mencatat dan menyajikan proses pengambilan keputusan berdasarkan data input dan parameter yang jelas, sehingga memudahkan audit dan pelacakan keputusan.
4. Sistem mudah diintegrasikan dengan platform digital pemerintah, baik berbasis web maupun aplikasi mobile, karena menggunakan arsitektur terbuka dan algoritma yang ringan.

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa sistem cerdas ini secara signifikan meningkatkan kualitas pengambilan keputusan dalam program distribusi beras, khususnya dalam aspek ketepatan sasaran, keadilan, dan efisiensi operasional. Hal ini menjawab hipotesis bahwa integrasi metode fuzzy dan naïve Bayes mampu menghasilkan sistem yang lebih unggul dibandingkan pendekatan konvensional/manual.

Sebagai langkah pengembangan ke depan, penelitian ini akan difokuskan pada:

1. Peningkatan akurasi model klasifikasi melalui penggunaan algoritma hybrid lainnya seperti Fuzzy-C4.5 atau Fuzzy SVM.

2. Penggunaan data real-time dari sistem kependudukan dan basis data sosial ekonomi nasional (DTKS) agar sistem lebih responsif terhadap perubahan kondisi masyarakat.
3. Integrasi dengan sistem verifikasi biometrik atau geo-tagging untuk mencegah duplikasi dan meningkatkan keamanan data penerima bantuan.
4. Uji coba implementasi sistem pada skala kecamatan atau kabupaten secara langsung, guna mengevaluasi efektivitasnya dalam lingkungan nyata dan memberikan umpan balik terhadap desain sistem.

Dengan upaya ini, diharapkan sistem penyaluran bantuan sosial berbasis kecerdasan buatan dapat menjadi model yang diadopsi secara luas oleh pemerintah daerah maupun nasional dalam rangka mewujudkan program sosial yang lebih adil, transparan, dan berdampak luas.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Badan Pusat Statistik, “Laporan Ketahanan Pangan Nasional,” BPS, 2023.
- [2] Kementerian Sosial RI, “Evaluasi Penyaluran Bantuan Sosial Beras,” Jakarta, 2022.
- [3] A. Putri, R. Suryani, and M. Akbar, “Penerapan Logika Fuzzy dalam Sistem Pendukung Keputusan Penerima Bantuan Sosial,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, vol. 12, no. 3, pp. 155–163, 2023.
- [4] M. Hidayat and A. Nugroho, “Klasifikasi Penerima Bantuan Sosial Menggunakan Algoritma Naïve Bayes,” *Jurnal Sistem Informasi dan Komputer*, vol. 10, no. 2, pp. 45–52, 2022.
- [5] S. Wulandari and R. Prasetyo, “Integrasi Metode Fuzzy dan Naïve Bayes untuk Seleksi Calon Penerima Bantuan,” *Jurnal Ilmiah Komputasi*, vol. 14, no. 1, pp. 21–29, 2024.
- [6] B. Kusumawardani and R. Nugroho, “Evaluasi Program Penyaluran Bantuan Sosial Beras untuk Keluarga Miskin di Indonesia,” *Jurnal Kebijakan Sosial*, vol. 11, no. 2, pp. 134–145, 2022.
- [7] A. Putra *et al.*, “Analisis Ketepatan Sasaran Bantuan Sosial Beras di Wilayah Terpencil,” *Jurnal Administrasi Publik*, vol. 8, no. 1, pp. 25–35, 2023.
- [8] S. Maharani, “Digitalisasi Sistem Informasi Bantuan Sosial Berbasis Web,” *Jurnal Teknologi Informasi dan Komunikasi*, vol. 10, no. 3, pp. 212–220, 2022.
- [9] R. A. Widodo and M. S. Fadhillah, “Implementasi Logika Fuzzy pada Penentuan Kelayakan Penerima

Bantuan Sosial,” *Seminar Nasional Sistem Informasi*, 2023.

- [10] I. Wulandari, M. Arifin, and D. Saputra, “Penerapan Algoritma Naïve Bayes dalam Sistem Pendukung Keputusan Penerima Bantuan,” *Jurnal Informatika dan Komputer*, vol. 6, no. 2, pp. 88–95, 2022.
- [11] D. Nugraha *et al.*, “Integrasi Sistem Cerdas dalam Tata Kelola Bansos: Studi Kasus Fuzzy-Naïve Bayes,” *Prosiding SNATI*, pp. 45–50, 2023.

Aplikasi Metode Hibrid Fuzzy Logic dan Teknik Taguchi untuk Optimasi Multi-Respons pada Proses Bubut Material ST-60

Application of Fuzzy Logic Hybrid Method and Taguchi Technique for Multi-Response Optimization of Turning Process on ST-60 Material

**Moh. Nur Shodiq¹, Dian Ridlo Pamuji², Dedy Hidayat Kusuma³, Herman Yuliandoko⁴,
Nuraini Lusi⁵, Mohammad Abdul Wahid^{6*}**

Jurusan Bisnis and Informatika, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{1,3,4}

Jurusan Teknik Mesin, Program Studi Teknik Rekayasa Manufaktur, Politeknik Negeri Banyuwangi, Banyuwangi, Indonesia^{2,5,6}

Email: noer.shodiq@poliwangi.ac.id¹, ridlodian@poliwangi.ac.id², dedy@poliwangi.ac.id³,

herman.yuliandoko@poliwangi.ac.id⁴, nurainilusi@poliwangi.ac.id⁵, abdul_wahid@poliwangi.ac.id⁶

*Corresponding author

Abstract Surface roughness determines the quality of the lathe process, while the material machining rate indicates productivity. The higher the machining rate of the material, the shorter the cutting time and the higher the productivity. In the metal cutting process, especially the lathe process, it must produce workpieces with quality that meets specifications with a short cutting time. However, this will be difficult to do because the surface roughness characteristics and machining rate of the materials are different. The lower the surface roughness value, the better the quality of the turning process results. Meanwhile, increasing the material processing rate will result in a more productive and faster turning process. To obtain output in the form of optimal surface roughness and material machining rate simultaneously, the selection of turning process parameters must be considered carefully. This research aims to obtain the right turning process parameter settings in order to obtain optimal surface roughness output and material machining rate. The optimization method used is Taguchi-Fuzzy. Based on the results of the experiment, optimization process, and analysis that were conducted, it can be concluded that the combination of process variable levels that simultaneously produce optimum arithmetic surface roughness, average total surface roughness, and material removal rate are as follows: level 1 coolant, using a cold water solvent and air pressure; level 3 spindle speed at 1200 rpm; level 3 feed rate at 0.161 mm/rev; and level 3 cutting depth at 0.5 mm

Keywords: Fuzzy logic, Taguchi technique, Hybrid method, Multi-response, Turning process, ST-60 material.

Kualitas proses bubut ditentukan oleh kekasaran permukaan sedangkan laju pengerjaan bahan merupakan indikator produktivitas. Semakin tinggi laju pengerjaan bahan, semakin singkat waktu pemotongannya dan produktivitas semakin tinggi. Pada proses pemotongan logam khususnya proses bubut, harus menghasilkan benda kerja dengan kualitas yang sesuai spesifikasi dengan waktu pemotongan yang singkat. Akan tetapi, hal ini akan sulit dilakukan karena karakteristik kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan berbeda. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka kualitas hasil proses bubut semakin baik. Sedangkan semakin tinggi laju pengerjaan bahan, maka proses bubut akan semakin produktif atau semakin cepat. Untuk mendapatkan output berupa kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak, maka pemilihan parameter proses bubut harus dipertimbangkan dengan hati-hati. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaturan parameter proses bubut yang tepat agar didapatkan output kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal. Metode optimasi yang digunakan adalah Taguchi-Fuzzy. Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kombinasi level-level variabel proses yang menghasilkan kekasaran permukaan aritmatik, kekasaran permukaan total rata-rata dan laju pengerjaan bahan yang optimum secara serentak adalah cairan pendingin level 1 yaitu soluble air dingin dan air pressure, putaran spindle level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev kedalaman potong level 3 dengan nilai 0.5 mm.

Kata Kunci: Fuzzy logic, teknik taguchi, Metode hibrid, Multi-respons, Proses bubut, Material ST-60

I. PENDAHULUAN

Salah satu indikator kualitas proses pemesinan khususnya proses bubut adalah nilai kekasaran permukaan [1]. Jika nilai kekasaran permukaan hasil proses bubut rendah, maka kualitasnya semakin baik. Kekasaran permukaan yang rendah merupakan salah satu persyaratan yang diharapkan di dunia industri, karena dapat meningkatkan kekuatan lelah dan meminimalkan gesekan [2]. Parameter proses bubut seperti cutting speed, feeding, dan depth of cut memengaruhi nilai kekasaran permukaan [3,4]. Ghazali, dkk. [5] melaksanakan percobaan terkait pengaruh parameter proses turning CNC terhadap kekasaran permukaan. Gerak makan dan cutting speed adalah parameter-parameter yang digunakan sebagai variabel bebas pada penelitian ini. Hasilnya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan meningkat dengan naiknya gerak makan dan turun dengan semakin naiknya kecepatan potong. Javidikia, dkk [6] melakukan analisa dan optimasi kekasaran permukaan pada proses turning material AA6061-T6 dengan lingkungan dan parameter yang berbeda. Hasilnya menunjukkan bahwa kekasaran permukaan dipengaruhi oleh gerak makan.

Selain parameter proses bubut, cairan pemotongan atau cutting fluid juga memiliki pengaruh terhadap kualitas permukaan benda kerja hasil proses bubut [7]. Cairan pemotongan pada proses bubut memiliki fungsi untuk menurunkan panas yang terjadi saat proses pemotongan berlangsung serta mengurangi koefisien gesek yang terjadi antara pahat dan benda kerja. Saat ini, cairan pemotongan dengan bahan dasar minyak atau oil based fluid banyak digunakan di dunia industri. Penggunaan cairan pemotongan berbahan dasar minyak secara berlebihan dapat mengakibatkan iritasi pada kulit dan pencemaran lingkungan [8,9]. Sebagai alternatif untuk mengurangi effect negative penggunaan cairan pemotongan yaitu dengan penggunaan cairan pemotongan ramah lingkungan [10–12].

Selain penggunaan cairan pendingin ramah lingkungan, metode pemberian cairan pendingin juga berperan penting dalam mengurangi dampak negative tersebut. Salah satu tersebut adalah *Minimum Quantity Cooling Lubrication* (MQCL). Metode ini dilakukan dengan cara meminimalkan cairan pendingin dengan ditambahkan hembusan udara dingin bertekanan. MQCL lebih baik dari metode kering dan metode MQL. Hal ini disebabkan karena pada metode kering tanpa menggunakan cairan pendingin sehingga pahat cepat aus sedangkan pada metode MQL hanya fokus pada pelumasan tanpa ada proses pendinginan. Pengaruh metode MQCL terhadap kualitas permukaan dibandingkan dengan metode kering dan dibanjirkan pada proses *freis material Inconel 718* telah diteliti oleh Perveis, dkk [13]. MQCL yang digunakan adalah dengan kombinasi udara dingin dengan vegetable oil. Hasil penelitian menunjukkan kekasaran permukaan dengan MQCL lebih rendah jika dibandingkan dengan metode kering, MQL dan dibanjirkan.

Kualitas proses bubut ditentukan oleh kekasaran

permukaan sedangkan laju pengerjaan bahan merupakan indikator produktivitas. Semakin tinggi laju pengerjaan bahan, semakin singkat waktu pemotongannya dan produktivitas semakin tinggi. Pada proses pemotongan logam khususnya proses bubut, harus menghasilkan benda kerja dengan kualitas yang sesuai spesifikasi dengan waktu pemotongan yang singkat. Akan tetapi, hal ini akan sulit dilakukan karena karakteristik kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan berbeda. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka kualitas hasil proses bubut semakin baik. Sedangkan semakin tinggi laju pengerjaan bahan, maka proses bubut akan semakin produktif atau semakin cepat. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan proses optimasi untuk mendapatkan pengaturan yang tepat parameter proses bubut untuk mendapatkan respon berupa kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimum secara serentak. Metode optimasi yang sering digunakan adalah metode *Taguchi* untuk respon tunggal seperti kekasaran permukaan saja atau laju pengerjaan bahan saja. Sedangkan untuk multi respon yang diamati secara serentak bisa menggunakan gabungan metode *Taguchi* dengan *fuzzy logic*. Metode *Taguchi* menjadikan produk dan proses memiliki sifat *robust* (kokoh, tangguh) terhadap faktor-faktor gangguan (*noise*), seperti: material, perlengkapan manufaktur, tenaga kerja manusia, dan kondisi-kondisi operasional. Sedangkan kelebihan logika *fuzzy* dibandingkan dengan metode optimasi lainnya adalah mampu memproses variabel respon yang tidak pasti atau abu-abu [14].

II. METODE PENELITIAN

A. Desain eksperimen

Penelitian ini terdiri dari empat variabel proses yang bervariasi dengan level campuran, yaitu 2 level untuk cairan pemotongan dan 3 level untuk *spindle speed* (rpm), *feeding* (mm/rev.) dan *depth of cut* (mm) dapat dilihat pada Tabel 1. Sedangkan hasil yang diamati pada penelitian ini berupa kekasaran permukaan aritmatik (R_a), kekasaran permukaan total rata-rata (R_z) dan laju pengerjaan bahan (LPB).

Tabel 1. Variabel Proses Penelitian

Variabel Proses	Level		
	1	2	3
Cairan Pemotogan (CP)	Dromus dingin+ udara bertekanan	Udara bertekanan	-
<i>Spindle speed</i> (n)	550	700	1200
<i>feeding</i> (f)	0.053	0.103	0.161
<i>Depth of cut</i> (a)	0.125	0.25	0.5

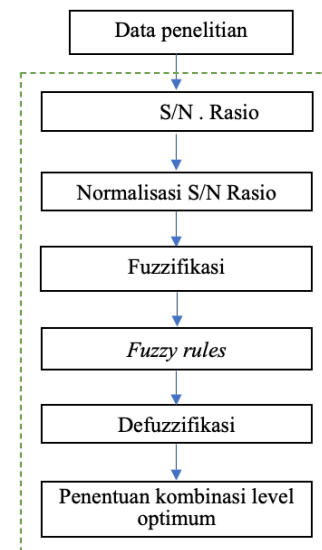
Sedangkan design eksperimen pada penelitian ini menggunakan metode *Taguchi* dengan matrik orthogonal L_{18} . Dasar pemilihan rancangan percobaan adalah berdasarkan total derajat kebebasan dari variabel proses bubut yang digunakan. Matrik orthogonal L_{18} yang dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Matriks Ortogonal L18

Kombinasi	CP	n	f	a
1	1	1	1	1
2	1	1	2	2
3	1	1	3	3
4	1	2	1	1
5	1	2	2	2
6	1	2	3	3
7	1	3	1	2
8	1	3	2	3
9	1	3	3	1
10	2	1	1	3
11	2	1	2	1
12	2	1	3	2
13	2	2	1	2
14	2	2	2	3
15	2	2	3	1
16	2	3	1	3
17	2	3	2	1
18	2	3	3	2

B. Metode hibrid fuzzy logic dan teknik taguchi

Metode *Taguchi* adalah metode optimasi yang hanya dapat digunakan untuk satu respons seperti kekasaran permukaan saja atau laju pengerjaan bahan saja. Metode Ini tidak dapat digunakan untuk mengoptimalkan beberapa respons secara bersamaan seperti kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan. Berdasarkan hal tersebut, perlu menggabungkan dengan metode optimasi lainnya seperti *Taguchi* dengan *fuzzy*.



Gambar 1. Langkah-langkah *Taguchi-Fuzzy*

Variabel respons yang tidak pasti dalam logika *fuzzy* digambarkan sebagai himpunan yang terdiri dari nilai tegas serta derajat keanggotaan [15]. Gambar 1 urutan proses optimasi *Taguchi-fuzzy*.

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

Data hasil penelitian yang terdiri dari kekasaran permukaan aritmatik (*Ra*), kekasaran total rata-rata (*Rz*) dan Laju Pengerjaan Bahan (LPB) dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Data hasil eksperimen

No	CP	n	f	a	Ra (μm)	Rz (μm)	LPB (mm^3/min)
1	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.053	0.125	1.14	6.325	577.75
2	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.103	0.25	0.87	5.765	2,284.13
3	Dromus dingin+udara bertekanan	550	0.161	0.5	0.77	4.91	7,129.82
4	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.053	0.125	0.95	5.62	743.52
5	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.103	0.25	0.83	5.425	3,029.90
6	Dromus dingin+udara bertekanan	700	0.161	0.5	0.52	4.195	9,501.51
7	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.053	0.25	0.47	2.68	2,446.89
8	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.103	0.5	0.39	2.52	9,289.60
9	Dromus dingin+udara bertekanan	1200	0.161	0.125	0.37	2.755	3,930.39
10	udara bertekanan	550	0.053	0.5	1.01	6.48	2,350.25
11	udara bertekanan	550	0.103	0.125	0.94	6.515	1,177.50
12	udara bertekanan	550	0.161	0.25	0.88	6.3	3,527.36
13	udara bertekanan	700	0.053	0.25	0.95	6.585	1,470.03
14	udara bertekanan	700	0.103	0.5	0.57	3.78	6,055.76
15	udara bertekanan	700	0.161	0.125	0.82	5.18	2,255.20
16	udara bertekanan	1200	0.053	0.5	0.39	2.32	4,777.58
17	udara bertekanan	1200	0.103	0.125	0.51	3.295	2,551.42
18	udara bertekanan	1200	0.161	0.25	0.32	2.715	7,378.30

A. Perhitungan Nilai Rasio S/N

Langkah pertama pada proses optimasi *Taguchi-Fuzzy* adalah perhitungan nilai Rasio S/N. Nilai Rasio S/N mengikuti karakteristik dari respon. Semakin rendah nilai kekasaran permukaan, maka semakin baik sesuai dengan persamaan 1 dan semakin tinggi nilai laju pengerjaan bahan, maka semakin baik sesuai dengan persamaan 2. Hasil perhitungan rasio S/N untuk masing-masing respon dapat dilihat pada Tabel 4.

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{y_i^2}{n} \right] \quad (1)$$

$$S/N = -10 \log \left[\sum_{i=1}^n \frac{(1/y_i^2)}{n} \right] \quad (2)$$

Tabel 4. S/N rasio data hasil eksperimen

No	S/N Ra	S/N Rz	S/N LPB
1	-1.211	-16.024	61.256
2	1.255	-15.226	73.209
3	2.232	-13.830	83.082
4	0.454	-15.001	63.447
5	1.645	-14.698	75.652
6	5.628	-12.495	85.579
7	6.533	-8.568	73.794
8	8.101	-8.029	85.390
9	8.706	-8.810	77.915
10	-0.084	-16.233	73.443
11	0.542	-16.296	67.440
12	1.097	-15.992	76.970
13	0.425	-16.402	69.367
14	4.884	-11.550	81.664
15	1.663	-14.344	73.085
16	8.171	-7.310	79.605
17	5.823	-10.357	74.157
18	9.813	-8.688	83.380

B. Normalisasi Data Respon

Normalisasi data berfungsi merubah S/N rasio menjadi nilai antara nol dan satu. Untuk kekasaran permukaan menggunakan persamaan 3. dengan Karakteristik kualitas semakin rendah semakin baik dan persamaan 4. untuk laju pengerjaan bahan dengan karakteristik kualitas semakin tinggi semakin baik. Hasil perhitungan normalisasi seperti ditunjukkan pada Tabel 5.

Semakin Rendah Semakin Baik:

$$X_i^*(k) = \frac{X_i(k) - \min X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (3)$$

Semakin Tinggi Semakin Baik:

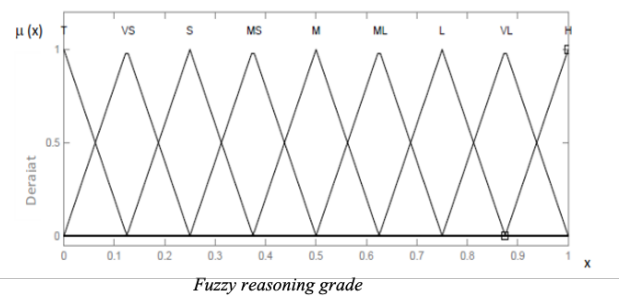
$$X_i^*(k) = \frac{\max X_i(k) - X_i(k)}{\max X_i(k) - \min X_i(k)} \quad (4)$$

Tabel 5. Normalisasi data respon

No	S/N Ra	S/N Rz	S/N LPB	Normalisasi S/N		
				Ra	Rz	LPB
1	-1.211	-16.024	61.256	0.0000	0.0415	0.0000
2	1.255	-15.226	73.209	0.2237	0.1293	0.4914
3	2.232	-13.830	83.082	0.3123	0.2828	0.8974
4	0.454	-15.001	63.447	0.1510	0.1541	0.0901
5	1.645	-14.698	75.652	0.2590	0.1874	0.5919
6	5.628	-12.495	85.579	0.6203	0.4297	1.0000
7	6.533	-8.568	73.794	0.7025	0.8617	0.5155
8	8.101	-8.029	85.390	0.8446	0.9209	0.9922
9	8.706	-8.810	77.915	0.8995	0.8350	0.6849
10	-0.084	-16.233	73.443	0.1022	0.0185	0.5011
11	0.542	-16.296	67.440	0.1590	0.0117	0.2542
12	1.097	-15.992	76.970	0.2094	0.0451	0.6461
13	0.425	-16.402	69.367	0.1484	0.0000	0.3335
14	4.884	-11.550	81.664	0.5529	0.5336	0.8391
15	1.663	-14.344	73.085	0.2607	0.2263	0.4863
16	8.171	-7.310	79.605	0.8511	1.0000	0.7544
17	5.823	-10.357	74.157	0.6380	0.6648	0.5304
18	9.813	-8.688	83.380	1.0000	0.8484	0.9096

C. Tahap Fuzzification

Tahap *fuzzification* merubah nilai hasil normalisasi sebagai nilai input menjadi bilangan fuzzy dengan menggunakan *membership function*. Pada penelitian ini, kurva segitiga untuk fungsi keanggotaan digunakan untuk merubah *fuzzy reasoning grade* (FRG) kedalam *linguistic fuzzy subsets* yang dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan Gambar 2, terdapat 9 *fuzzy subset* yaitu, kecil sekali (*T*), sangat kecil (*VS*), kecil (*S*) menengah kecil (*SM*), menengah (*M*), menengah lebih besar (*ML*), besar (*L*), sangat besar (*VL*) dan besar sekali (*H*).



Gambar 2. Fungsi Keanggotaan FRG

D. Aturan fuzzy

Aturan yang menjelaskan bagaimana variabel *input* dan *output* berinteraksi disebut aturan *fuzzy*. Penelitian ini menggunakan tiga variabel input yang masing-masing memiliki tiga *fuzzy subset*, yaitu normalisasi kekasaran permukaan aritmatik, kekasaran total rata-rata dan laju pengerjaan bahan. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan 27 aturan fuzzy. Tabel 6. menunjukkan peraturan fuzzy yang digunakan dalam penelitian ini.

Tabel 6. Aturan Fuzzy

No	Ra	Rz	LPB	FRG
1	Small	Small	Small	Tiny
2	Small	Small	Medium	Verysmall
3	Small	Small	Large	Small
4	Small	Medium	Small	Small
5	Small	Medium	Medium	Smallmedium
6	Small	Medium	Medium	Medium
7	Small	Large	Small	Small
8	Small	Large	Medium	Smallmedium
9	Small	Large	Large	Medium
10	Medium	Small	Small	Verysmall
11	Medium	Small	Medium	Smallmedium
12	Medium	Small	Large	Medium
13	Medium	Medium	Small	Smallmedium
14	Medium	Medium	Medium	Medium
15	Medium	Medium	Large	Largemedium
16	Medium	Large	Small	Smallmedium
17	Medium	Large	Medium	Largemedium
18	Medium	Large	Large	Verylarge
19	Large	Small	Small	Small
20	Large	Small	Medium	Smallmedium
21	Large	Small	Large	Medium
22	Large	Medium	Small	Medium
23	Large	Medium	Medium	Largemedium
24	Large	Medium	Large	Large
25	Large	Large	Small	Medium
26	Large	Large	Medium	Large
17	Large	Large	Large	High

E. Tahap defuzzification

Pada tahap ini, nilai *fuzzy* dirubah menjadi FRG dengan melakukan pemetaan ke himpunan tegas. Hasil *defuzzification* berupa nilai FRG dapat dilihat pada Tabel 7.

Tabel 7. Fuzzy reasoning grade (FRG)

No.	CF	N	F	A	FRG
1.	1	1	1	1	0.0391
2.	1	1	2	2	0.2610
3.	1	1	3	3	0.4662
4.	1	2	1	1	0.1845
5.	1	2	2	2	0.3077
6.	1	2	3	3	0.6411
7.	1	3	1	2	0.6461
8.	1	3	2	3	0.9201
9.	1	3	3	1	0.7475
10.	2	1	1	3	0.1462
11.	2	1	2	1	0.1921
12.	2	1	3	2	0.2615
13.	2	2	1	2	0.1843
14.	2	2	2	3	0.5933
15.	2	2	3	1	0.3166
16.	2	3	1	3	0.7884
17.	2	3	2	1	0.5634
18.	2	3	3	2	0.8685

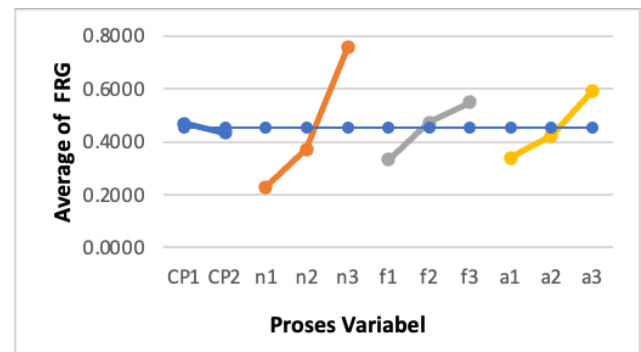
F. Menentukan Kombinasi Variabel Proses untuk Respon Optimum

Langkah pertama untuk menentukan kombinasi variabel yang menghasilkan output optimal dengan membuat tabel rata-rata FRG seperti ditunjukkan pada Tabel 8.

Tabel 8. Rata-rata FRG

	Level 1	Level 2	Level 3
CP	0.468	0.435	-
n	0.228	0.371	0.756
f	0.331	0.473	0.550
a	0.341	0.422	0.593
rata-rata		0.452	

Langkah kedua membuat plot dari tabel rata-rata FRG yang telah dibuat seperti ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Grafik Rata-Rata FRG

Pada Gambar 3. menunjukkan bahwa kombinasi variabel proses yang mendapatkan nilai kekasaran permukaan aritmatik (*Ra*), kekasaran permukaan total rata-rata (*Rz*) dan laju pengerjaan bahan (*LPB*) yang optimum adalah cairan pendingin (*CP*) level 1 yaitu dromus dingin+udara bertekanan, putaran spindle (*n*) level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan (*f*) level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev dan kedalaman potong (*a*) level 3 dengan nilai 0.5 mm. Secara proses dapat dijelaskan bahwa tingkat kekasaran permukaan benda kerja akan turun dengan bertambahnya kecepatan potong dan berkurangnya gerak makan. Hal ini berbanding terbalik dengan laju pengerjaan bahan. Laju pengerjaan bahan akan bertambah dengan bertambahnya gerak makan dan kedalaman potong. Berdasarkan hal tersebut, maka diperlukan proses optimasi untuk mendapatkan kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak sehingga didapatkan hasil proses bubut dengan kualitas yang optimal dengan waktu pemesinan yang singkat.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan pengaturan parameter proses bubut yang tepat dengan menggunakan metode pendinginan ramah lingkungan agar didapatkan output kekasaran permukaan dan laju pengerjaan bahan yang optimal secara serentak. Berdasarkan hasil percobaan, proses optimasi dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan sebagai Berikut:

- Kombinasi level-level variabel proses yang menghasilkan kekasaran permukaan aritmatik (R_a), kekasaran permukaan total rata-rata (R_z) dan laju pengerjaan bahan (LPB) yang optimum secara serentak adalah sebagai cairan pendingin (CP) level 1 yaitu soluble air dingin+udara bertekanan, putaran spindle (n) level 3 dengan nilai 1200 rpm, gerak makan (f) level 3 dengan nilai 0.161 mm/rev dan edalaman potong (a) level 3 dengan nilai 0.5 mm.
- Perlu dilakukan proses optimasi dengan metode lainnya sebagai perbandingan seperti ANN-GA dan PSO.
- Pada penelitian ini dilakukan pada mesin bubut konvensional sehingga keterbatasan pemilihan parameter seperti putaran spindle, gerak makan dan kedalaman potong. Sehingga perlu dilakukan penelitian dengan menggunakan mesin bubut CNC.

UCAPAN TERIMA KASIH

Ucapan terima kasih terutama ditujukan kepada Politeknik Negeri Banyuwangi yang telah memberikan dukungan terhadap penelitian ini.

REFERENSI

- [1] Tomadi SH, Ghani JA, Haron CHC, Ayu HM, Daud R. Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness in End Milling of AlSi/AlN Metal Matrix Composite. In: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd; 2017. p. 58–69.
- [2] Yalcinkaya S, Şahin Y. Study on surface finish of AISI 2080 steel based on the Taguchi method. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing; 2017.
- [3] Qehaja N, Jakupi K, Bunjaku A, Bruçi M, Osmani H. Effect of machining parameters and machining time on surface roughness in dry turning process. In: *Procedia Engineering*. Elsevier Ltd; 2015. p. 135–40.
- [4] Arefi GA, Das R, Sahoo AK, Routara BC, Nanda BK. A Study on the Effect of Machining Parameters in Turning of Lead Alloy. In: *Materials Today: Proceedings*. Elsevier Ltd; 2017. p. 7562–72.
- [5] Ghazali MHM, Mazlan AZA, Wei LM, Tying CT, Sze TS, Jamil NIM. Effect of Machining Parameters on the Surface Roughness for Different Type of Materials. In: *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*. Institute of Physics Publishing; 2019.
- [6] Javidikia M, Sadeghifar M, Songmene V, Jahazi M. Analysis and optimization of surface roughness in turning of AA6061-T6 under various environments and parameters. In: *Procedia CIRP*. Elsevier B.V.; 2020. p. 17–20.
- [7] Zubir B, Abdul Razak MZ, Abd Rahman AF, Said MS. The effect of cutting fluid condition on surface roughness in turning of alloy steel. In: *Advanced Structured Materials*. Springer Verlag; 2019. p. 297–305.

- [8] Dahlin J, Isaksson M. Occupational contact dermatitis caused by N - butyl-1,2-benzisothiazolin-3-one in a cutting fluid. *Contact Dermatitis*. 2015 Jul 1;73(1):60–2.
- [9] Harun S, Burhanuddin Y, Ibrahim GA. The Effect of Cutting Parameters on Surface Roughness and Morphology of Ti-6Al-4V ELI Titanium Alloy during Turning with Actively Driven Rotary Tools. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*. 2022 Oct 1;6(5).
- [10] Setyarini PH, Anam K, Wahyudi M. Penggunaan Minyak Alami dengan Minimum Quantity Lubrication terhadap Hasil Proses Bubut AA 6061. *Jurnal Rekayasa Mesin*. 2021 May 31;12(1):235.
- [11] Deshpande V, Jyothi PN. A Review on Sustainable Eco-friendly Cutting Fluids. *Journal of Sustainability and Environmental Management*. 2022 May 26;1(2):306–20.
- [12] Pervaiz S, Ahmad N, Ishfaq K, Khan S, Deiab I, Kannan S. Implementation of Sustainable Vegetable-Oil-Based Minimum Quantity Cooling Lubrication (MQCL) Machining of Titanium Alloy with Coated Tools. *Lubricants*. 2022 Oct 1;10(10).
- [13] Pervaiz S, Rashid A, Deiab I, Nicolescu CM. An experimental investigation on effect of minimum quantity cooling lubrication (MQCL) in machining titanium alloy (Ti6Al4V). *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*. 2016 Nov 1;87(5–8):1371–86.
- [14] Wu B, Cheng T, Yip TL, Wang Y. Fuzzy logic based dynamic decision-making system for intelligent navigation strategy within inland traffic separation schemes. *Ocean Engineering*. 2020 Feb 1;197.
- [15] Kumar S, Singhal PK, Kumar V, Sagar LK. Optimization of Power Flow using GA Fuzzy Approach. *EVERGREEN Joint Journal of Novel Carbon Resource Sciences & Green Asia Strategy*. 2023 Sep 1;10(3):1549–57.

Penerapan CI/CD untuk Otomasi Deployment Aplikasi Berbasis Web Menggunakan Docker dan GitHub Actions

Implementation of CI/CD for Automated Deployment of Web-Based Applications Using Docker and GitHub Actions

Asfin Rizaldy¹, Haris Yuana¹, dan Rizki Dwi Romadhona¹

¹Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Islam Balitar, Blitar, Indonesia

*Penulis korespondensi: rizaldyasfin@gmail.com

Abstract

Manual deployment processes in web applications often require considerable time and are prone to configuration errors. This issue is also present at SMK PGRI Wlingi, which still relies on manual deployment methods, resulting in potential delays and technical difficulties. In some cases, a single deployment may take up to two hours. This study aims to implement deployment automation by applying Continuous Integration, Continuous Delivery, and Continuous Deployment (CI/CD) using Docker and GitHub Actions to the Digiham Sarana application. The research method employed is Design Science Research (DSR), which consists of six main stages: problem identification, objective definition, design and development, demonstration, evaluation, and communication of results. After the automation system was designed and implemented, five rounds of testing were conducted to measure the average deployment duration while evaluating the speed and stability of the process. The results show that the deployment process can be executed automatically without manual intervention, achieving an average time of 4 minutes and 49 seconds. Functional testing using the blackbox method demonstrated 100% accuracy, with all three test scenarios running as expected. System evaluation was also carried out through close beta testing involving four technical users and one expert validator. The evaluation results indicate a feasibility score of 83.33% from technical users and 85.71% from the expert validator. Based on these findings, the system is considered feasible, efficient, and consistent in automating the web application deployment process within the context of SMK PGRI Wlingi.

Keywords: CI/CD, deployment automation, web application, GitHub Actions, Docker, SMK PGRI Wlingi

Abstrak

Proses deployment manual pada aplikasi web kerap memakan waktu lama dan rentan terhadap kesalahan konfigurasi. Hal ini juga terjadi di SMK PGRI Wlingi yang masih menggunakan metode manual, sehingga menimbulkan risiko keterlambatan dan kendala teknis. Dalam beberapa kasus, waktu yang dibutuhkan untuk satu kali deployment dapat mencapai dua jam. Penelitian ini bertujuan menerapkan otomatisasi deployment dengan mengimplementasikan Continuous Integration, Continuous Delivery, dan Continuous Deployment (CI/CD) menggunakan Docker dan GitHub Actions pada aplikasi Digiham Sarana. Metode yang digunakan adalah Design Science Research (DSR), yang terdiri atas enam tahapan utama, yaitu identifikasi masalah, perumusan tujuan, desain dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, serta komunikasi hasil. Setelah sistem otomasi dirancang dan diterapkan, dilakukan lima kali pengujian untuk mengukur rata-rata durasi deployment, sekaligus mengevaluasi kecepatan dan kestabilan prosesnya. Hasil pengujian menunjukkan bahwa proses deployment dapat berjalan secara otomatis tanpa intervensi manual, dengan waktu rata-rata 4 menit 49 detik. Pengujian fungsional melalui metode blackbox menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100%, dengan seluruh 3 skenario berjalan sesuai harapan. Evaluasi sistem juga dilakukan melalui tahap close beta testing yang melibatkan empat pengguna teknis serta satu validator ahli. Hasil evaluasi menunjukkan skor kelayakan sebesar 83,33% dari pengguna teknis dan 85,71% dari validator. Berdasarkan seluruh temuan tersebut, sistem dinilai layak, efisien, dan konsisten dalam mengotomasi proses deployment aplikasi web di lingkungan SMK PGRI Wlingi.

kata kunci: CI/CD, otomatisasi deployment, aplikasi web, GitHub Actions, Docker, SMK PGRI Wlingi

PENDAHULUAN

Deployment merupakan proses pengiriman aplikasi dari lingkungan pengembangan ke lingkungan produksi. Dalam praktiknya, deployment manual sering menghadapi kendala seperti waktu yang lama, risiko kesalahan konfigurasi, dan inkonsistensi lingkungan [1]. Studi sebelumnya menunjukkan bahwa pendekatan manual memiliki tingkat kegagalan lebih tinggi dibandingkan otomasi deployment [2].

Penerapan otomasi melalui pendekatan Continuous Integration, Continuous Delivery, dan Continuous Deployment (CI/CD) memungkinkan proses integrasi, pengujian, hingga deployment aplikasi dilakukan secara efisien dan minim kesalahan [3]. Salah satu penelitian menunjukkan

bahwa penerapan CI/CD menggunakan Docker dan Jenkins mampu memangkas waktu deployment dari 8 menit 48 detik menjadi 2 menit 56 detik [4].

GitHub Actions juga menjadi alternatif populer untuk CI/CD karena terintegrasi langsung dengan repositori dan dapat menurunkan waktu eksekusi hingga 33,33%, serta meningkatkan tingkat keberhasilan deployment sebesar 18,75% [5]. Di sisi lain, Docker berperan penting dalam menjaga konsistensi lingkungan aplikasi, karena aplikasi dapat dikemas dalam kontainer yang terisolasi dan identik di berbagai platform [1].

Hingga saat ini, SMK PGRI Wlingi masih menggunakan metode manual dalam proses deployment aplikasi web. Proses ini tidak hanya memakan waktu, tetapi juga

rawan kesalahan akibat konfigurasi manual. Penelitian ini melakukan simulasi penerapan CI/CD berbasis GitHub Actions dan Docker pada aplikasi Digiham Sarana, yang digunakan untuk manajemen peminjaman alat praktik di sekolah. Tujuan dari penelitian ini adalah mempercepat proses deployment dan mengurangi risiko kesalahan akibat konfigurasi manual. Hasil penelitian diharapkan dapat menjadi acuan untuk penerapan otomasi deployment di aplikasi lain dalam lingkungan pendidikan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Design Science Research (DSR), yaitu metode yang berfokus pada penciptaan solusi inovatif melalui desain artefak yang mampu menyelesaikan permasalahan di dunia nyata [1]. Artefak yang dikembangkan dalam DSR dapat berupa model, metode, sistem, framework, atau instrumen yang dirancang untuk menjawab masalah yang dihadapi. Tujuan utama dari pendekatan ini adalah menghasilkan design knowledge, yakni pemahaman mengenai bagaimana sebuah solusi teknologi dapat dirancang dan diterapkan secara efektif. Tahapan-tahapan DSR digambarkan pada Gambar 1.

IDENTIFIKASI MASALAH

Identifikasi masalah dilakukan melalui observasi dan wawancara terhadap proses kerja pengelola sistem aplikasi web di SMK PGRI Wlingi. Diketahui bahwa proses deployment aplikasi saat ini dilakukan secara manual, dimulai dari pull kode dari GitHub, melakukan build lokal, mentransfer file menggunakan WinSCP, hingga konfigurasi aplikasi melalui Plesk Panel. Proses ini membutuhkan waktu lama, sekitar 2 jam, dan rentan terhadap kesalahan konfigurasi akibat keterlibatan manual di setiap tahap. Beberapa kendala utama yang ditemukan meliputi:

- Tidak adanya sistem otomatisasi dalam proses deployment.
- Proses build dan pengiriman aplikasi masih dilakukan manual.
- Waktu deployment yang lama dan tidak efisien.

Dari hasil analisis, disimpulkan bahwa diperlukan sistem otomasi deployment yang mampu mengurangi ketergantungan pada proses manual, serta mempercepat waktu deployment aplikasi.

MENENTUKAN TUJUAN

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan sistem deployment otomatis menggunakan Continuous Integration, Continuous Delivery, dan Continuous Deployment (CI/CD) berbasis GitHub Actions dan Docker. Sistem ini dirancang untuk menggantikan proses deployment manual yang masih digunakan di SMK PGRI Wlingi, sehingga proses deployment dapat berjalan otomatis, lebih cepat, dan mengurangi potensi kesalahan.

DESAIN DAN PENGEMBANGAN

Pada tahap ini, dilakukan perancangan dan pengembangan sistem deployment otomatis berbasis CI/CD (Continuous Integration, Continuous Delivery, dan Continuous Deployment) yang diimplementasikan menggunakan GitHub Actions dan Docker. Sistem ini dikembangkan untuk menggantikan proses deployment manual yang selama ini digunakan di SMK PGRI Wlingi, sehingga proses deployment dapat berjalan lebih cepat, otomatis, dan minim kesalahan.

CI/CD merupakan pendekatan otomatisasi dalam pengembangan perangkat lunak yang mencakup integrasi kode, pengujian, pengemasan aplikasi, hingga pengiriman otomatis ke server produksi [3]. GitHub Actions digunakan sebagai platform otomasi berbasis event yang terintegrasi langsung dengan GitHub, memungkinkan penyusunan alur kerja otomatis menggunakan file YAML [3]. Sementara itu, Docker digunakan untuk mengemas aplikasi dan seluruh dependensinya ke dalam kontainer yang ringan dan konsisten, sehingga memastikan keseragaman lingkungan dari tahap pengembangan hingga produksi [4].

Alur sistem digambarkan menggunakan flowchart untuk memvisualisasikan urutan proses secara sistematis. Flowchart menyajikan langkah-langkah logis dalam bentuk simbol dan panah alur, sehingga memudahkan pemahaman proses kerja sistem [5].

Rancangan sistem mencakup tiga proses utama sebagai berikut:

Continuous Integration

Tahap ini bertugas membangun dan menguji kode aplikasi setiap kali terjadi perubahan. Proses diawali saat kode di-push ke repository GitHub, lalu GitHub Actions akan memicu workflow untuk melakukan proses build dan test. Jika proses pengujian berjalan sukses, maka sistem akan melanjutkan ke tahap berikutnya.

Continuous Delivery

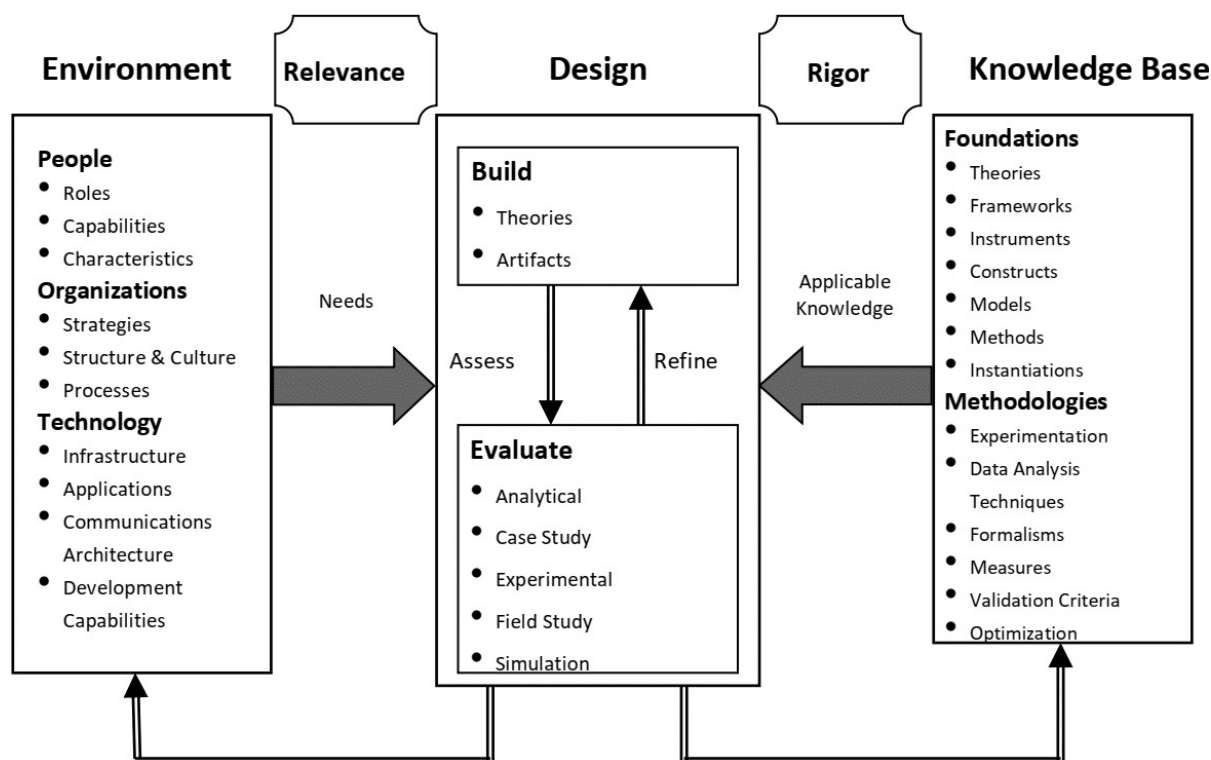
Setelah kode berhasil melalui tahap integrasi dan pengujian, artefak sistem dikemas menjadi Docker image. Image ini kemudian di-push ke GitHub Container Registry (GHCR). Proses ini juga mencakup pembuatan image untuk layanan pendukung seperti database, yang selanjutnya akan dikirim ke registri untuk siap digunakan pada tahap deployment.

Continuous Deployment

Tahapan terakhir adalah proses pengambilan dan penerapan image di server produksi. Sistem secara otomatis akan menarik image terbaru dari GHCR, lalu menjalankannya menggunakan Docker di server. Jika image berhasil dijalankan, maka aplikasi berhasil di-deploy dengan sukses.

DEMONSTRASI

Setelah proses pengembangan selesai, dilakukan tahap demonstrasi untuk menguji penerapan sistem otomasi deployment pada aplikasi Digiham Sarana. Demonstrasi dilakukan menggunakan server pribadi yang dikonfigurasi untuk mensimulasikan lingkungan operasional di SMK PGRI Wlingi.



Gambar 1. Metode Design Science Research

Tabel 1. Spesifikasi Server

No	Komponen	Spesifikasi
1.	Jenis Server	VPS (Virtual Private Server)
2.	Penyedia	DigitalOcean
3.	RAM	4 GB
4.	Penyimpanan	80 GB
5.	CPU	2 Core
6.	Sistem Operasi	Ubuntu 24.10

Pemanfaatan server pribadi dilakukan untuk keperluan simulasi sistem secara independen. Meskipun tidak menggunakan server milik sekolah secara langsung, spesifikasi yang digunakan telah disesuaikan agar merepresentasikan kondisi nyata. Adapun spesifikasi server uji dapat dilihat pada Tabel 1.

EVALUASI

Evaluasi dilakukan untuk menilai kelayakan dan keandalan sistem deployment otomatis yang telah dikembangkan. Evaluasi ini terdiri dari dua pendekatan utama, yaitu black-box testing dan close beta testing.

Blackbox testing digunakan untuk menguji apakah setiap proses dalam alur kerja CI/CD berjalan sesuai fungsi yang diharapkan tanpa melihat struktur kode internal. Pengujian dilakukan berdasarkan input dan output sistem dari sudut pandang pengguna, untuk memastikan bahwa sistem bekerja sesuai kebutuhan yang telah ditetapkan [6].

Sementara itu, close beta testing dilakukan dengan melibatkan sekelompok pengguna terbatas, terdiri dari pengguna teknis dan validator ahli. Tujuannya adalah untuk mem-

peroleh umpan balik terhadap fungsionalitas dan stabilitas sistem dalam lingkungan nyata sebelum implementasi lebih luas [8]. Penilaian dilakukan menggunakan instrumen kuesioner berbasis skala likert guna memperoleh evaluasi yang terstruktur dan obyektif.

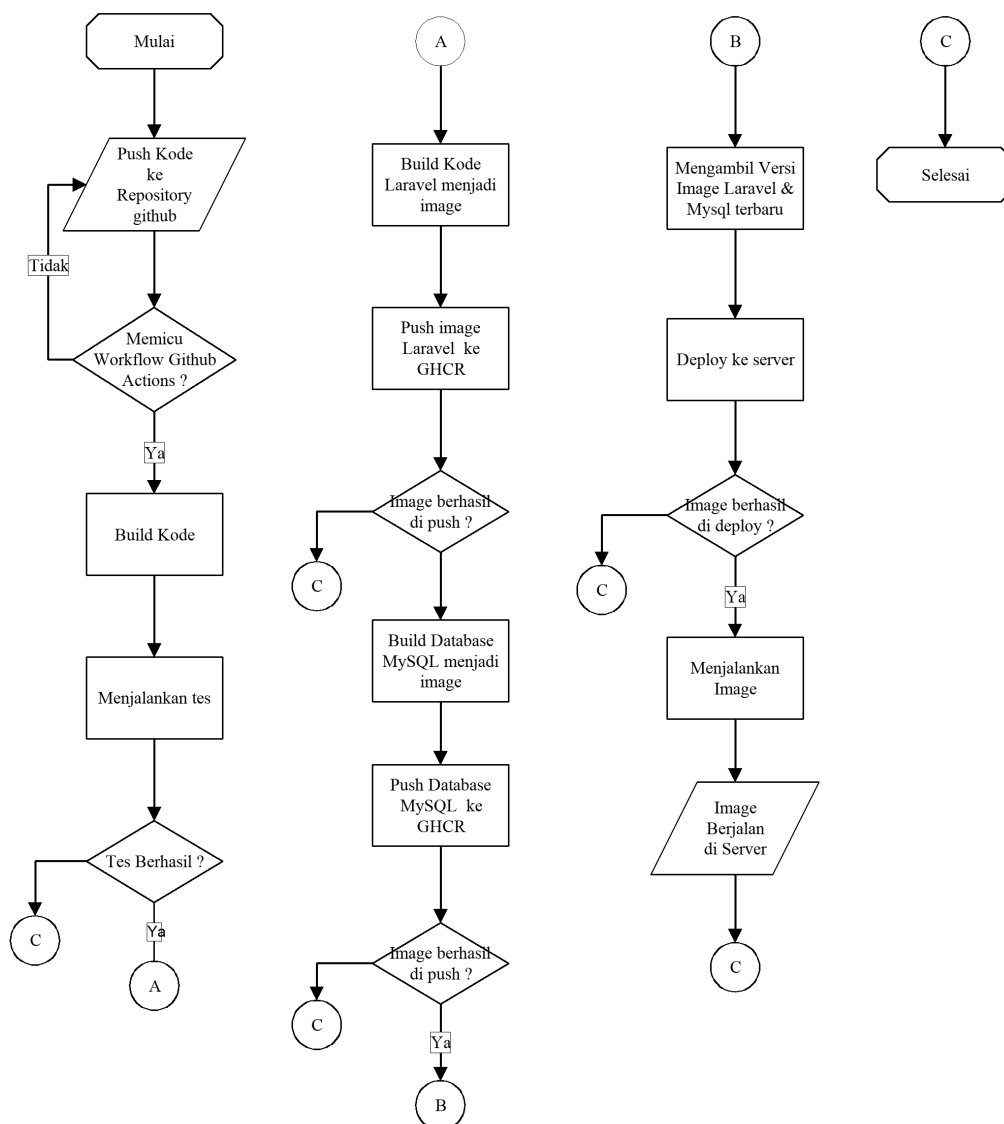
KOMUNIKASI

Tahap komunikasi dilakukan dengan menyampaikan hasil perancangan dan evaluasi sistem otomatis deployment kepada pihak terkait, khususnya pengelola sistem di SMK PGRI Wlingi. Informasi disampaikan dalam bentuk laporan dan diskusi untuk memastikan bahwa solusi yang dikembangkan dapat dipahami serta dipertimbangkan untuk diimplementasikan. Selama proses ini, pihak pengguna memberikan umpan balik terhadap sistem yang telah dibangun. Apabila ditemukan kebutuhan tambahan atau ketidaksesuaian dengan tujuan awal, maka dapat dilakukan penyesuaian kembali pada tahap sebelumnya dalam tahap Design Science Research.

HASIL DAN PEMBAHASAN

HASIL

Hasil dari penelitian ini adalah sistem otomatis deployment aplikasi web berbasis CI/CD yang dirancang untuk SMK PGRI Wlingi. Sistem ini mampu menjalankan tahapan Continuous Integration, Continuous Delivery, dan Continuous Deployment secara otomatis untuk membantu proses pengujian hingga pengiriman aplikasi ke server produksi tanpa konfigurasi manual. Ketiga tahapan ini dikonfigurasi dalam satu workflow pada GitHub Actions dan telah berhasil diterapkan untuk mendukung deployment



Gambar 2. Flowchart Sistem CI/CD

aplikasi Digiham Sarana.

PEMBAHASAN

Berikut adalah hasil yang diperoleh setelah melaksanakan tahap Desain dan Pengembangan serta Demonstrasi dalam metode Design Science Research (DSR):

Hasil Continuous Integration

Tahapan ini bertujuan untuk memastikan bahwa kode program yang dikembangkan dapat diuji secara otomatis setiap kali diperbarui. Gambar berikut menampilkan hasil proses integrasi yang meliputi pengecekan struktur kode dan pengujian otomatis terhadap fitur-fitur sistem. Semua langkah pada tahap ini berhasil dijalankan tanpa kesalahan, yang menunjukkan bahwa sistem siap untuk dilanjutkan ke tahap berikutnya (Gambar 3).

Hasil Continuous Delivery

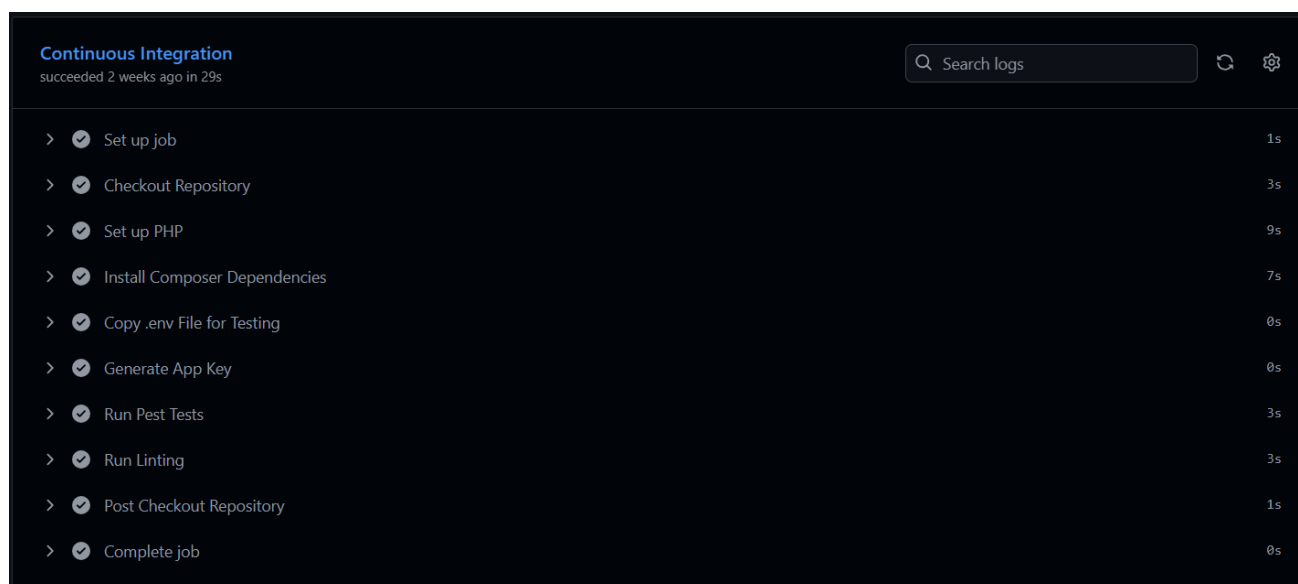
Setelah kode berhasil diverifikasi, sistem melanjutkan ke tahap pembuatan versi aplikasi yang siap dijalankan. Tahapan ini mencakup proses pembuatan paket aplikasi dalam

bentuk yang dapat digunakan di lingkungan server. Gambar berikut menunjukkan proses pembuatan dan pengunggahan paket aplikasi ke repositori, yang kemudian digunakan sebagai sumber utama dalam proses deployment (Gambar 4).

Hasil Continuous Deployment

Pada tahap ini, versi aplikasi yang telah selesai diproses secara otomatis dikirim dan dijalankan pada server tujuan. Seluruh proses dilakukan tanpa intervensi manual, dimulai dari penyiapan konfigurasi hingga pelaksanaan perintah pengiriman ke server. Tahapan ini memastikan bahwa setiap perubahan atau pembaruan aplikasi dapat langsung diterapkan ke lingkungan server dengan cepat dan konsisten. Gambar berikut memperlihatkan bahwa sistem berhasil menyelesaikan proses pengiriman dan penerapan versi terbaru aplikasi di server produksi (Gambar 5).

Untuk mengetahui waktu yang dibutuhkan dalam proses deployment, dilakukan pengujian sebanyak lima kali pada sistem otomatis deployment menggunakan CI/CD. Hasilnya disajikan pada Tabel 2.



Gambar 3. Hasil Continuous Integration

Tabel 2. Perhitungan Waktu Deployment

No	Continuous Integration	Continuous Delivery	Continuous Deployment	Total
1.	27s	3m 40s	56s	5m 3s
2.	21s	3m 19s	49s	4m 29s
3.	22s	4m 3s	42s	5m 7s
4.	23s	4m 0s	42s	5m 5s
5.	21s	3m 15s	45s	4m 21s
Rata-rata				4m 49s

Hasil menunjukkan bahwa proses deployment berlangsung cepat dan stabil, dengan rata-rata waktu 4 menit 49 detik untuk menyelesaikan seluruh tahapan CI/CD, jauh lebih singkat dibanding proses sebelumnya yang memerlukan hingga 2 jam.

Tampilan berikut menunjukkan halaman utama aplikasi Digiham Sarana yang telah berhasil dideploy dan berjalan di server (Gambar 6).

PENGUJIAN

Pengujian dilakukan pada tahap dalam metode Design Science Research (DSR). Evaluasi ini mencakup dua pendekatan, yaitu blackbox testing untuk menguji alur fungsional sistem, serta close beta testing untuk memperoleh penilaian kelayakan sistem dari perspektif pengguna dan validator ahli.

Pengujian blackbox dilakukan terhadap tiga proses utama dalam alur CI/CD, sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh proses berjalan sesuai harapan tanpa ditemukan kesalahan. Sistem berhasil melakukan proses CI/CD dengan tidak adanya kegagalan pada seluruh kasus uji, sistem mencapai tingkat akurasi sebesar 100%, yang mencerminkan keberhasilan penuh dalam menjalankan alur otomatisasi CI/CD.

Selanjutnya, close beta testing dilakukan terhadap lima responden, terdiri dari empat pengguna teknis dan satu validator ahli. Penilaian menggunakan kuesioner skala Likert lima poin untuk mengukur persepsi terhadap sistem. Kat-

egori kelayakan sistem berdasarkan persentase nilai dapat dilihat pada Tabel 4.

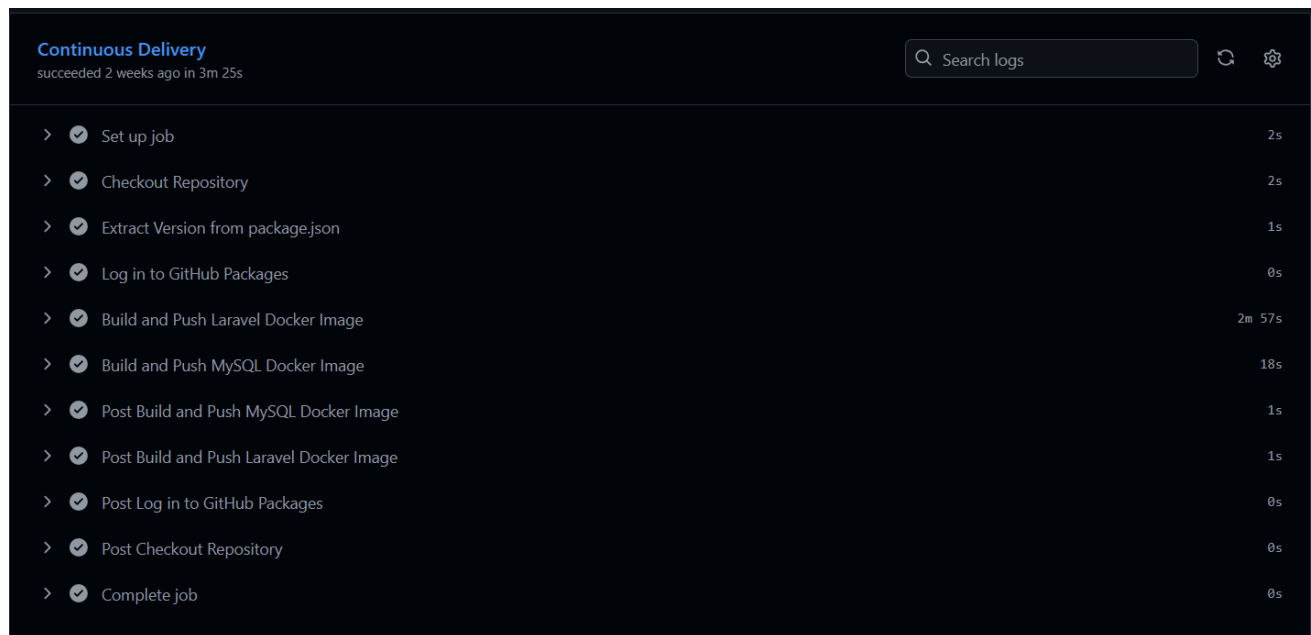
Visualisasi komparatif hasil penilaian terhadap sistem yang diberikan oleh empat pengguna teknis dan satu validator ahli ditampilkan pada Gambar 7.

Hasilnya menunjukkan bahwa pengguna teknis memberikan tingkat kelayakan sebesar 83,33%, sedangkan validator ahli memberikan nilai 85,71%. Keduanya termasuk dalam kategori sangat layak.

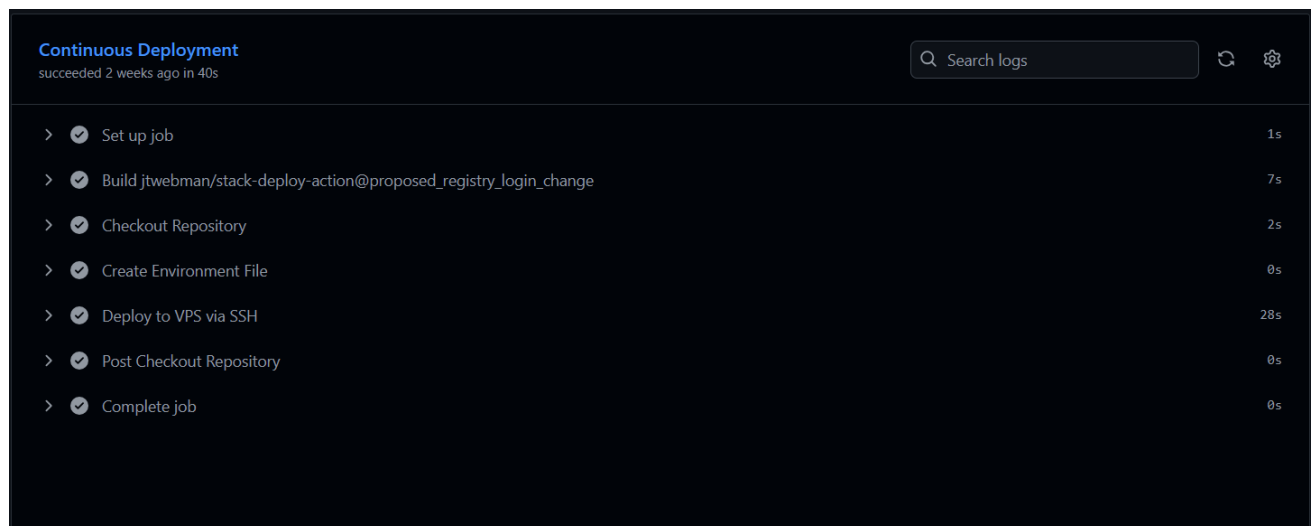
KESIMPULAN

Sistem otomasi deployment aplikasi berbasis web yang dibangun dengan metode Design Science Research (DSR) dan diterapkan menggunakan GitHub Actions serta Docker berhasil menyelesaikan permasalahan proses deployment yang sebelumnya dilakukan secara manual dan memerlukan waktu hingga dua jam. Sistem ini memungkinkan proses pengujian sampai pengiriman aplikasi ke server berjalan otomatis dan konsisten.

Berdasarkan pengujian blackbox terhadap tiga proses utama CI/CD, seluruh skenario pengujian berhasil dijalankan tanpa error, dengan tingkat akurasi sebesar 100%. Selain itu, pengujian terhadap waktu pelaksanaan menunjukkan bahwa rata-rata proses deployment hanya memerlukan waktu 4 menit 49 detik. Evaluasi melalui close beta testing terhadap empat pengguna teknis dan satu validator ahli menunjukkan tingkat kelayakan sebesar 83,33% dan



Gambar 4. Hasil Continuous Delivery



Gambar 5. Hasil Continuous Deployment

85,71%, yang termasuk kategori sangat layak.

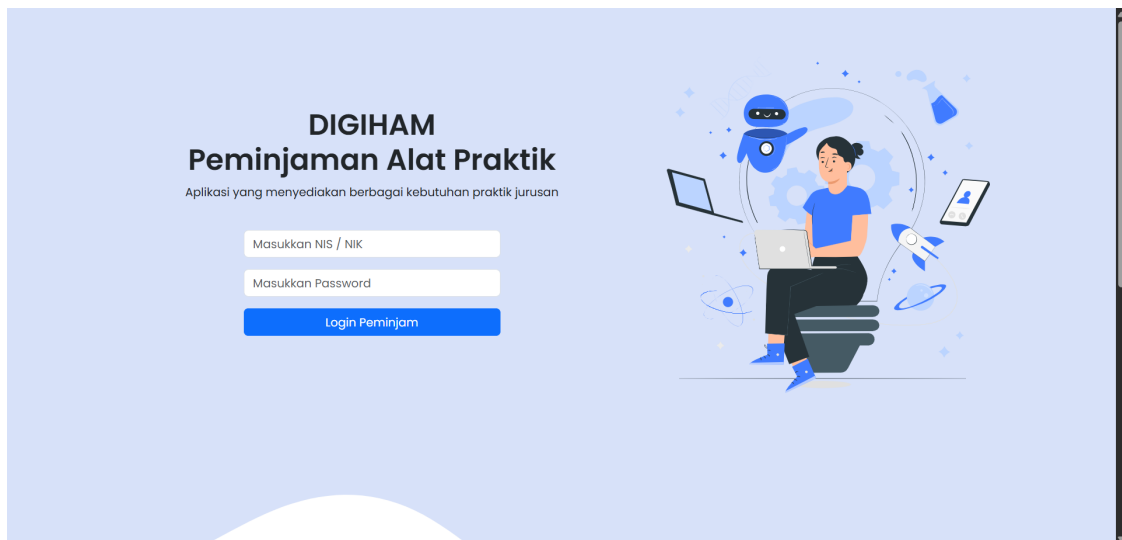
Hasil ini menunjukkan bahwa sistem otomasi deployment yang dirancang telah memenuhi aspek fungsionalitas, efisiensi, dan kemudahan penggunaan, serta dapat diimplementasikan dalam lingkungan SMK PGRI Wlingi.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada SMK PGRI Wlingi, khususnya kepada Bapak Oni Budi Setiyono selaku Kepala Jurusan RPL yang telah memberikan izin pelaksanaan penelitian, serta Ibu Nurul Fitrah Rahmadani atas dukungan dan bantuannya selama proses penelitian ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada para guru, teknisi, dan karyawan SMK PGRI Wlingi yang telah berpartisipasi dalam proses evaluasi sistem dan memberikan masukan yang bermanfaat bagi pengembangan penelitian.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] J. Vom Brocke, A. Hevner, and A. Maedche, *Design Science Research Cases*, Progress in IS. Springer, 2020. [Online]. Available: <http://www.springer.com/series/10440>
- [2] J. Lord, *Building CI/CD Systems Using Tekton: Develop Flexible and Powerful CI/CD Pipelines Using Tekton Pipelines and Triggers*. Packt Publishing, Limited, 2021.
- [3] B. Laster, *Learning GitHub Actions: Automation and Integration of CI/CD with GitHub*. O'Reilly Media, Inc., 2023.
- [4] S. P. Kane and K. Matthias, *Docker: Up & Running*. O'Reilly Media, Inc., 2023. [Online]. Available: <http://oreilly.com>
- [5] A. B. Chaudhuri, *Flowchart and Algorithm Basics: The*



Gambar 6. Tampilan Web Digiham Sarana

Tabel 3. Pengujian Blackbox

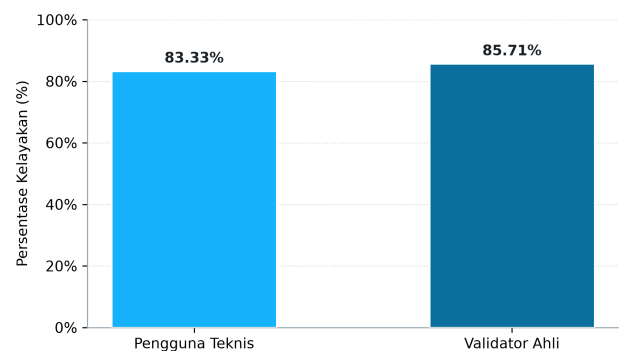
No	Proses	Hasil yang diharapkan	Hasil yang diperoleh	Status
1	Continuous Integration	Sistem berhasil memverifikasi kode dan menjalankan pengujian secara otomatis.	Pengujian otomatis berjalan lancar dan semua pengujian dinyatakan lulus.	Berhasil
2	Checkout Repository	Aplikasi berhasil dikemas dan dikirim ke layanan penyimpanan untuk siap digunakan.	Paket aplikasi berhasil dibuat dan dikirim tanpa kendala.	Berhasil
3	Continuous Deployment	Aplikasi berhasil dipasang di server dan dapat diakses melalui alamat yang tersedia.	Aplikasi berhasil dijalankan di server dan dapat diakses secara normal.	Berhasil

Tabel 4. Kategori Kelayakan

Persentase	Kategori Kelayakan
81% – 100%	Sangat Layak
61% – 80%	Layak
41% – 60%	Cukup Layak
21% – 40%	Tidak Layak
0% – 20%	Sangat Tidak Layak

Art of Programming. Mercury Learning and Information, 2020.

- [6] S. J. Putri, D. Galih, P. Putri, W. Hayuhardhika, and N. Putra, “Analisis Komparasi pada Teknik Black Box Testing (Studi Kasus: Website Lars),” *Journal of Internet and Software Engineering*, vol. 5, no. 1, 2024.
- [7] R. S. Pressman and B. R. Maxim, *Software Engineering: A Practitioner's Approach*. McGraw-Hill Education, 2015.
- [8] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif dan R & D*. ALFABETA, CV., 2013.



Gambar 7. Diagram Batang Persentase Kelayakan