



J-ENSITEC

Journal Of Engineering and Sustainable Technology

VOL 11 No. 2 June 2025



Computer Science
Industrial Engineering
Mechanical Engineering
Civil Engineering



DAFTAR ISI

- 1. PENERAPAN ALGORITMA APRIORI UNTUK MENGIDENTIFIKASI LOKASI STRATEGIS PROMOSI SEKOLAH SWASTA**
Henny Wahyu Sulisty, Hardian Oktavianto, Dudi Irawan
102016-102022
- 2. LITERATURE REVIEW: PENGARUH SUHU AIR ECONOMIZER DAN FLOW STEAM TERHADAP EFISIENSI BOILER CFB**
faizal, Nanang Ruhyat
102022-102029
- 3. PENGEMBANGAN BUKU KURIKULUM MOBILE UNTUK MENINGKATKAN AKSESIBILITAS DAN EFISIENSI INFORMASI AKADEMIK PRODI TEKNOLOGI INFORMASI**
nadiahusna nadia, Ahmad Marsehan
10230-10235
- 4. INVESTIGASI KOROSI PIPA FLOWLINE CARBON STEEL PADA SISTEM PRODUKSI MIGAS DAN PENERAPAN SOLUSI PROTEKTIF**
Atik Setyani, Moch. Aditya Jheno Sheva Hermawan, Imam Prabowo, Nur Amin
10207-102015
- 5. OPTIMASI STRATEGI TOOLPATH CNC DENGAN GREY RELATIONAL ANALYSIS UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMESINAN**
Sihmaulana Dwianto, Tunjung Genarsih, Ardianto Syaifur Rohman
10236-10243
- 6. RANCANG BANGUN MESIN PENDINGER KOTORAN HEWAN SISTEM TUNGKU PEMANAS MENGGUNAKAN SOLAR CELL 50 Wp**
Asep Rachmat, Ade Gunawan
10244-10249
- 7. PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI AKADEMIK (SIKAD) DI PRODI TEKNOLOGI INFORMASI BERBASIS WEBSITE UNTUK MENINGKATKAN SKALABILITAS**
rani sapitri, Ahmad Marsehan, Abdul Hadi Rohmadin
10250-10255
- 8. ANALISIS POLA KORELASI HARGA DAN VOLUME SAHAM BBKA MENGGUNAKAN ALGORITMA APRIORI**
Heru Noviyanto Firmansyah, Yazid Alwani, Dias Henandra Eka Putra, Rhenal Verdinand, Muhammad Arifin
10256-10259
- 9. ANALISIS SENTIMENT MASYARAKAT TERHADAP PABRIK DI JAWA BARAT SEBAGAI DASAR STRATEGI PENINGKATAN CITRA INDUSTRI DI MAJALENGKA**
Intan Kusumadewi
10260-10267
- 10. EVALUASI EFISIENSI ENERGI PADA SISTEM GREEN BUILDING: PENDEKATAN BERBASIS DATA DAN SIMULASI**
gufonramadhan, Mohammad Anshori, Agus Sulistiawan
10268-10274
- 11. PENGARUH ADITIF ADERCO TERHADAP SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (SFC) PADA MESIN DIESEL DI PLTD LUWUK BANGGAI SULAWESI TENGAH**
Moch. Syaiful Anwar, Mochamad Shaleh
10275-10281

INVESTIGASI KOROSI PIPA FLOWLINE CARBON STEEL PADA SISTEM PRODUKSI MIGAS DAN PENERAPAN SOLUSI PROTEKTIF

Atik Setyani¹, Moch. Aditya Jheno Sheva Hermawan², Imam Prabowo³, Nur Amin⁴

^{1,2,3}Program Studi Teknik Metalurgi, Fakultas Teknologi Mineral dan Energi, Universitas Pembangunan Nasional Veteran Yogyakarta

⁴Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Diponegoro

Email: atik.setyani@upnyk.ac.id

ABSTRACT

Corrosion in flowline pipes represents one of the critical challenges frequently encountered in the oil and gas industry, particularly within fluid transportation systems in the upstream sector. This issue significantly compromises material performance, incurs substantial economic losses, and poses serious occupational safety risks. Carbon steel, commonly used in flowline pipes, is highly susceptible to corrosion due to exposure to aggressive environments, including high humidity, formation water, and corrosive gases such as H₂S and CO₂. In line with the growing demands for infrastructure reliability and compliance with safety standards, effective corrosion mitigation has become increasingly urgent. The degradation of pipe integrity due to corrosion can jeopardize the long-term reliability of fluid transport systems, potentially leading to severe operational disruptions and escalating maintenance costs. This study aims to investigate the primary causes of corrosion and evaluate the effectiveness of applied mitigation strategies on flowline pipes at a production facility. The methods examined include the application of protective surface coatings and the use of wrapping systems to inhibit direct contact between the metal and corrosive agents. Additionally, pipe wall thickness measurements were conducted to estimate the remaining service life of the flowline system based on the extent of corrosion-induced degradation. The findings of this study are expected to offer technically sound and practically applicable recommendations for corrosion control, thereby enhancing operational reliability and contributing to the sustainable performance of oil and gas infrastructure.

Keywords: Carbon steel, Corrosion, Flowline Pipe.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 23-04-2024

Tanggal revisi : 05-05-2025

Tanggal terbit : 25-07-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13508>

1. Pendahuluan

Industri minyak dan gas bumi (migas) merupakan salah satu sektor strategis yang berperan penting dalam perekonomian nasional. Dalam operasionalnya, kegiatan eksplorasi dan produksi migas melibatkan berbagai sistem transportasi fluida yang

kompleks, salah satunya adalah sistem perpipaan. Pipa digunakan untuk mengalirkan fluida seperti minyak mentah, gas alam, air formasi, serta campuran lainnya dari sumur menuju fasilitas pengolahan, penyimpanan, hingga distribusi. Salah satu jenis pipa yang memegang peranan penting adalah pipa

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



penyalur, yang secara umum terbagi menjadi tiga kategori berdasarkan asal dan arah aliran fluida yaitu *flowline*, *trunkline*, dan *pipeline* (Eka dkk., 2018). Salah satu jenis pipa yang paling krusial dalam sektor hulu migas adalah pipa *flowline*, yaitu pipa yang menghubungkan sumur produksi dengan separator atau *gathering station*. *Flowline* ini sering kali berada dalam kondisi lingkungan yang ekstrim, baik karena dipasang secara *underground* maupun karena harus menghadapi suhu tinggi, tekanan tinggi, serta lingkungan tanah yang bersifat korosif (Rustandi dkk., 2012; Prabowo dkk., 2024)). Kondisi ini menjadikan pipa *flowline* rentan terhadap pengaruh kondisi lingkungan sekitar (Eltai dkk., 2017; Apriansyah dkk., 2017)).

Kondisi ekstrim ini menjadikan *flowline* sebagai salah satu bagian sistem perpipaan yang paling rentan mengalami korosi, yaitu degradasi atau kerusakan material akibat reaksi elektrokimia antara logam dan lingkungannya (Li et al., 2016; Abdullah et al., 2017). Korosi pada pipa tidak hanya menurunkan integritas struktural, tetapi juga berpotensi menyebabkan kebocoran, kerusakan sistem transportasi fluida, kerugian ekonomi yang besar, dan bahkan kecelakaan kerja yang membahayakan keselamatan personel dan lingkungan (Racmat dkk, 2023). Korosi dapat dipicu oleh berbagai faktor, seperti kelembaban tanah, pH, salinitas, kontaminan kimia, suhu, dan aliran fluida internal. Beberapa jenis korosi yang umum terjadi pada pipa *flowline* meliputi korosi seragam (*uniform corrosion*), korosi sumuran (*pitting*), korosi celah (*crevice corrosion*), serta korosi akibat aliran (*erosion corrosion*). Di Indonesia, kasus kebocoran pipa akibat korosi telah berulang kali terjadi dan menimbulkan dampak signifikan terhadap operasional perusahaan migas. Berdasarkan data dari Direktorat Jenderal Minyak dan Gas Bumi (Ditjen Migas), sekitar 60% dari total insiden kebocoran pipa di lapangan disebabkan oleh korosi. Hal ini menunjukkan pentingnya penerapan sistem proteksi korosi yang andal untuk memperpanjang umur pakai pipa dan menjamin kelancaran proses produksi migas (Saxena dkk., 2018; Emeka dkk., 2019).

Meskipun korosi tidak dapat sepenuhnya dicegah, laju korosi dapat diminimalkan melalui penerapan strategi mitigasi yang tepat. Salah satu metode proteksi eksternal yang umum digunakan untuk menghambat laju korosi pada pipa adalah dengan penerapan *coating* dan *wrapping* (Hussein dkk., 2023; Amadi, 2007; Li dkk., 2017). *Coating* merupakan proses pelapisan permukaan pipa dengan material pelindung, seperti *epoxy*, *polyethylene*, *polyurethane*, atau bahan berbasis bitumen. *Coating* berfungsi sebagai penghalang fisik antara logam dan lingkungan eksternal yang korosif, sehingga mencegah terbentuknya sel elektrokimia. Di sisi lain, *wrapping* adalah teknik pelapisan tambahan menggunakan bahan pembungkus, seperti pita fiberglass, polietilena, atau material komposit, yang memberikan perlindungan mekanis dan meningkatkan ketahanan terhadap kelembaban serta serangan kimia (Aruan dkk., 2023). Kombinasi *coating* dan *wrapping* secara sinergis dapat meningkatkan efektivitas perlindungan terhadap korosi, terutama pada instalasi pipa bawah tanah yang sulit dijangkau untuk inspeksi rutin (Aji dkk., 2024).

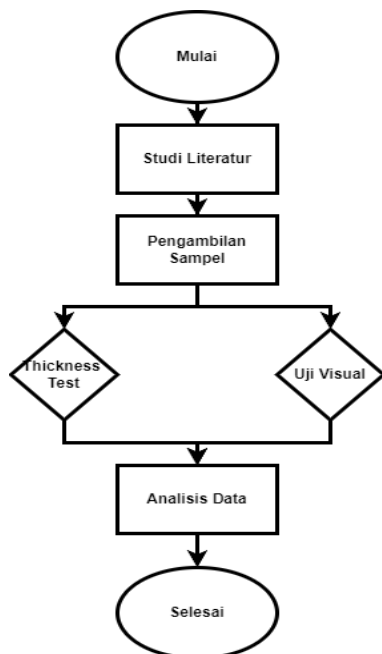
Namun demikian, efektivitas sistem *coating* dan *wrapping* sangat bergantung pada kualitas aplikasi, kondisi permukaan pipa sebelum pelapisan, ketebalan lapisan, serta kesesuaian material dengan lingkungan operasional (Afandi dkk., 205; Juanda dkk., 2017). Ketidaksesuaian atau kerusakan pada lapisan pelindung, seperti delaminasi, retak, atau pengelupasan, dapat membuka jalur masuk bagi agen korosif dan mempercepat proses kerusakan. Oleh karena itu, penting untuk dilakukan evaluasi berkala terhadap kondisi aktual pipa, terutama dengan memantau ketebalan dinding pipa menggunakan metode non-destruktif seperti ultrasonic thickness gauging. Penurunan ketebalan pipa dari nilai desain dapat digunakan sebagai indikator laju korosi dan dasar untuk menghitung sisa umur pakai (*remaining life*) pipa tersebut.

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh kasus nyata kebocoran *pipa flowline* di fasilitas produksi migas yang diindikasikan disebabkan oleh kegagalan sistem proteksi

korosi. Studi ini bertujuan untuk menganalisis jenis dan tingkat keparahan korosi yang terjadi, mengevaluasi efektivitas sistem *coating* dan *wrapping* yang telah diterapkan, serta melakukan estimasi sisa umur layan pipa berdasarkan hasil pengukuran ketebalan aktual. Diharapkan hasil studi ini dapat memberikan gambaran komprehensif mengenai praktik mitigasi korosi di lapangan serta memberikan masukan teknis dalam pengembangan strategi perawatan pipa yang lebih efektif dan berkelanjutan.

2. Metode Penelitian

Pelaksanaan penelitian dilakukan di PT. X, salah satu perusahaan migas. Sampel yang digunakan pada penelitian ini adalah pipa *flowline* yang telah mengalami kebocoran. Metode penelitian yang digunakan pada penelitian kali ini adalah studi kasus dimulai dari studi literatur, pengambilan sampel, *thickness test*, uji visual, analisis data dan rekomendasi perlindungan pada pipa. Diagram alir penelitian ditunjukkan pada Gambar 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

2.1 Studi Literatur

Penelitian ini dimulai dengan melakukan kajian literatur yang terkait dengan spesifikasi pipa, jenis-jenis korosi pada pipa, serta macam-

macam pengendalian korosi. Selain itu, penelitian ini juga melibatkan perhitungan-perhitungan terkait kekuatan dan korosi pada pipa untuk memastikan keamanan dalam sistem pipa. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk memberikan gambaran tentang bagaimana mengelola dan mengoptimalkan kondisi pipa dalam berbagai aplikasi industri.

2.2 Pengambilan Sampel

Sampel yang digunakan dalam penelitian ini diambil dari *flowline* PT X yang telah mengalami kebocoran. Setelah itu, sampel tersebut dipotong menggunakan gerinda dengan panjang sekitar 65 cm. Dengan demikian, sampel yang dipotong dapat digunakan untuk menganalisis kondisi korosi dan kekuatan struktur pipa yang mengalami kebocoran, sehingga dapat memberikan informasi tentang penyebab kebocoran dan cara perbaikannya.

2.3 Thickness Test

Proses pengukuran ketebalan pipa *underground* dan juga *surface* dilakukan secara langsung menggunakan penggaris atau jangka sorong pada sampel pipa. Dengan metode ini, ketebalan pipa dapat diukur, sehingga memberikan data yang relevan untuk menganalisis kondisi korosi dan kekuatan struktur pipa. Pengukuran ini sangat penting untuk memahami seberapa parah korosi yang telah terjadi dan bagaimana cara mengoptimalkan kondisi pipa untuk menghindari kebocoran.

2.4 Uji Visual

Dalam penelitian ini, perhatian khusus diberikan pada area yang terkorosi untuk mengidentifikasi dan menentukan jenis korosi yang terjadi. Dengan melakukan analisis mendalam terhadap karakteristik korosi yang terlihat, seperti korosi *pitting*, peneliti dapat memahami mekanisme yang mendasari kerusakan tersebut. Penentuan jenis korosi yang terjadi sangat penting, sehingga dapat memperpanjang umur pipa dan meningkatkan keandalannya dalam sistem transportasi fluida.

2.5 Analisis Data

Setelah pengumpulan data, dilakukan analisis data dan perhitungan untuk mendapatkan tebal minimum pipa, laju korosi, dan umur hidup pipa. Selain itu, penelitian ini juga menganalisis faktor-faktor penyebab korosi, seperti, *pitting corrosion*,

thermal cyclic, air hujan dan tidak dilakukan perawatan pada pipa *underground*. Berdasarkan hasil analisis ini, peneliti dapat memberikan rekomendasi solusi yang efektif untuk mengatasi korosi dan meningkatkan keamanan pada sistem pipa. Rekomendasi ini dapat berupa SCAP (*Sacrificial Anode Cathodic Protection*), *wrapping protection* dan perbaikan sistem coating. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan kinerja dan kestabilan sistem pipa dalam jangka panjang.

3. Hasil Dan Pembahasan

3.1 Perhitungan *Design Thickness*

Untuk menghitung *design thickness* pada suatu pipa menggunakan rumus pada acuan standard ASME B31.3

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)}$$

Keterangan:

1. t adalah tebal minimum yang diperlukan untuk menahan tekanan (mm)
2. P adalah tekanan pengukur desain internal pipa (Psi)
3. D adalah OD (Outer Diameter) sebuah pipa, dalam inci
4. S adalah tegangan satuan yang diijinkan pada suhu desain (Psi)
5. E adalah faktor kualitas longitudinal.
6. Y adalah koefisien material

Data D diperoleh dari tabel schedule pipe 80 dengan NPS 4 inch. Data E, S, dan Y diperoleh dari standard ASME B31.3

Diketahui

P : 150 psi (1,03 Mpa)

D : 114,3mm : 4,5 Inch

S : 15954,2 Psi (110 Mpa)

E : 1,00

Y : 0,4

$$t = \frac{PD}{2(SE + PY)} + CA$$

$$t = \frac{150 \text{ psi} \times 4,5 \text{ in}}{2(15954,2 \text{ psi} \times 1) + (150 \text{ psi} \times 0,4)} + CA$$

$$t = \frac{675}{31968,4} + CA$$

$$t = 0,54 \text{ mm} \text{ atau } 0,02111$$

Untuk mengetahui ketebalan yang dibutuhkan pada desain pipa untuk mengalirkan *flowline* yaitu *tm (thickness minimum) = t (pressure design thickness) + CA (Corrosion Allowed)*. Diketahui CA (*Corrosion Allowed*) adalah 1,5875. Jadi 0,54 mm + 1,5875 mm = 2,1275 mm, maka ketebalan pipa yang dibutuhkan untuk mengalirkan fluida *flowline* dengan pressure desain 150 Psi adalah sebesar 2,1275 mm. Namun untuk 2,1275 mm ini hanya bisa mengakomodir tekanan fluida bukan beban struktur dari pipa itu sendiri.

3.2 Perhitungan Ketebalan Minimum Struktural

Tabel 1 merupakan ketebalan struktural dari pipa *carbon steel* dengan paduan rendah. Sampel pipa *flowline* sendiri memiliki NPS (Nominal Pipe Size) 4 inch dengan ketebalan struktural sebesar 3,1 mm. Maka ketebalan minimum yang diperlukan jika menggunakan ketebalan struktural ini adalah Tebal Struktural + CA (*Corrosion Allowed*). Jadi 3,1 mm + 1,5875 mm = 4,6875 mm, maka tebal minimum yang dibutuhkan adalah 4,6875 mm.

Jika dibandingkan antara ketebalan minimum *design pressure* pipa yaitu 2,1275 mm dengan ketebalan minimum structural 4,6875 mm, maka yang digunakan untuk acuan ketebalan minimum pipa adalah ketebalan minimum strukturalnya karena yang digunakan adalah yang memiliki nilai yang paling besar maka tebal minimum pipa *flowline* ini adalah 4,675 mm.

Tabel 1. *Minimum Thickness for Carbon and Low-alloy Steel Pipe (API 574)*

| NPS | Default Minimum Structural Thickness for Temperatures < 400 °F (205 °C) in. (mm) | Minimum Alert Thickness for Temperatures < 400 °F (205 °C) in. (mm) |
|----------|---|--|
| 1/2 to 1 | 0.07 (1.8) | 0.08 (2.0) |
| 1 1/2 | 0.07 (1.8) | 0.09 (2.3) |
| 2 | 0.07 (1.8) | 0.10 (2.5) |
| 3 | 0.08 (2.0) | 0.11 (2.8) |
| 4 | 0.09 (2.3) | 0.12 (3.1) |
| 6 to 18 | 0.11 (2.8) | 0.13 (3.3) |
| 20 to 24 | 0.12 (3.1) | 0.14 (3.6) |

3.3 Laju Korosi dan Sisa Umur Pakai

Tabel 2 menunjukkan schedule pipe jika dilihat pada Tabel 2 *schedule pipe* pada PT X.

Dari data Tabel 2 diketahui pipa *flowline* NPS 4 inch dengan *schedule* 80 pipa ini memiliki ketebalan awal 8,56 mm.

Tabel 2. *Schedule Pipe*

| Nominal Pipe Size | | Outside Diameter (mm) | Nominal Wall Thickness Schedule | | | | | | | | | | | | | | | | | |
|-------------------|-----|-----------------------|---------------------------------|---------|--------|--------|--------|---------|---------|--------|--------|---------|--------|--------|---------|---------|---------|---------|---------|-------|
| NPS | DN | OD | SCH 5s | SCH 10s | SCH 10 | SCH 20 | SCH 30 | SCH 40s | SCH STD | SCH 40 | SCH 60 | SCH 80s | SCH XS | SCH 80 | SCH 100 | SCH 120 | SCH 140 | SCH 160 | SCH XXS | |
| 1/8 | 6 | 10.3 | | 1.24 | | | | 1.73 | 1.73 | 1.73 | | 2.41 | 2.41 | 2.41 | | | | | | |
| 1/4 | 8 | 13.7 | | 1.65 | | | | 2.24 | 2.24 | 2.24 | | 3.02 | 3.02 | 3.02 | | | | | | |
| 3/8 | 10 | 17.1 | | 1.65 | | | | 2.31 | 2.31 | 2.31 | | 3.20 | 3.20 | 3.20 | | | | | | |
| 1/2 | 15 | 21.3 | 1.65 | 2.11 | | | | 2.77 | 2.77 | 2.77 | | 3.73 | 3.73 | 3.73 | | | | | 4.78 | 7.47 |
| 3/4 | 20 | 26.7 | 1.65 | 2.11 | | | | 2.87 | 2.87 | 2.87 | | 3.91 | 3.91 | 3.91 | | | | | 5.56 | 7.82 |
| 1 | 25 | 33.4 | 1.65 | 2.77 | | | | 3.38 | 3.38 | 3.38 | | 4.55 | 4.55 | 4.55 | | | | | 6.35 | 9.09 |
| 1 1/4 | 32 | 42.2 | 1.65 | 2.77 | | | | 3.56 | 3.56 | 3.56 | | 4.85 | 4.85 | 4.85 | | | | | 6.35 | 9.70 |
| 1 1/2 | 40 | 48.3 | 1.65 | 2.77 | | | | 3.68 | 3.68 | 3.68 | | 5.08 | 5.08 | 5.08 | | | | | 7.14 | 10.15 |
| 2 | 50 | 60.3 | 1.65 | 2.77 | | | | 3.91 | 3.91 | 3.91 | | 5.54 | 5.54 | 5.54 | | | | | 8.74 | 11.07 |
| 2 1/2 | 65 | 73 | 2.11 | 3.05 | | | | 5.16 | 5.16 | 5.16 | | 7.01 | 7.01 | 7.01 | | | | | 9.53 | 14.02 |
| 3 | 80 | 88.9 | 2.11 | 3.05 | | | | 5.49 | 5.49 | 5.49 | | 7.62 | 7.62 | 7.62 | | | | | 11.13 | 15.24 |
| 3 1/2 | 90 | 101.6 | 2.11 | 3.05 | | | | 5.74 | 5.74 | 5.74 | | 8.08 | 8.08 | 8.08 | | | | | | |
| 4 | 100 | 114.3 | 2.11 | 3.05 | | | | 6.02 | 6.02 | 6.02 | | 8.56 | 8.56 | 8.56 | | 11.13 | | | 13.49 | 17.12 |
| 5 | 125 | 141.3 | 2.77 | 3.40 | | | | 6.55 | 6.55 | 6.55 | | 9.53 | 9.53 | 9.53 | | 12.70 | | | 15.88 | 19.05 |
| 6 | 150 | 168.3 | 2.77 | 3.40 | | | | 7.11 | 7.11 | 7.11 | | 10.97 | 10.97 | 10.97 | | 14.27 | | | 18.26 | 21.95 |
| 8 | 200 | 219.1 | 2.77 | 3.76 | | 6.35 | 7.04 | 8.18 | 8.18 | 8.18 | 10.31 | 12.70 | 12.70 | 12.70 | 15.09 | 18.26 | 20.62 | | 23.01 | 22.23 |
| 10 | 250 | 273.1 | 3.40 | 4.19 | | 6.35 | 7.80 | 9.27 | 9.27 | 9.27 | 12.70 | 12.70 | 12.70 | 15.09 | 18.26 | 21.44 | 25.40 | | 28.58 | 25.40 |
| 12 | 300 | 323.9 | 3.96 | 4.57 | | 6.35 | 8.38 | 9.53 | 9.53 | 10.31 | 14.27 | 12.70 | 12.70 | 17.48 | 21.44 | 25.40 | 28.58 | | 33.32 | 25.40 |

Pada bulan Juli 2024 diketahui bahwa ketebalan pipa *underground* sebesar 6 mm sedangkan pada bagian *surface* sebesar 7 mm. Berdasarkan data tersebut, dilakukan perhitungan untuk menentukan *corrosion rate* dan *remaining life* pipa *underground* dan *surface flowline* menggunakan rumus berikut:

$$CR_{Underground} = \frac{Previous\ thick - Last\ thick}{Interval\ measuring\ time}$$

Pada keadaan ini diketahui data sebagai berikut:

Previous thick : 8,56 mm

Last thick : 6 mm

Interval measuring time: 27 tahun (1997)

$$CR = \frac{8,56\ mm - 6\ mm}{27\ tahun}$$

CR = 0,095 mm/y

Untuk menentukan sisa umur pakai pada pipa menggunakan rumus sebagai berikut :

$$RL_{Underground} = \frac{Last\ thick - Required\ thick}{CR}$$

Last thick : 6 mm

Required thick : 4,6875 mm

CR = 0,095 mm/y

$$RL \text{ Underground} = \frac{6 \text{ mm} - 4,6875 \text{ mm}}{0,095 \frac{\text{mm}}{\text{y}}}$$

$$RL \text{ Underground} = 13,82 \text{ tahun}$$

$$RL \text{ Surface} = \frac{7 \text{ mm} - 4,6875 \text{ mm}}{0,058 \frac{\text{mm}}{\text{y}}}$$

$$RL \text{ Surface} = 39,87 \text{ tahun}$$

Sedangkan bagian permukaan pipa flowline memiliki ketebalan 7 mm. Dari data tersebut dapat diketahui laju korosi permukaan pipa flowline menggunakan persamaan berikut:

$$CR \text{ Surface} = \frac{\text{Previous thick} - \text{Last thick}}{\text{Interval measuring time}}$$

Previous thick : 8,56 mm
 Last thick : 7 mm
 Interval measuring time: 27 tahun (1997)

$$CR \text{ Surface} = \frac{8,56 \text{ mm} - 7 \text{ mm}}{27 \text{ tahun}}$$

$$CR \text{ Surface} = 0,058 \text{ mm/y}$$

Sisa umur pakai permukaan pada pipa :

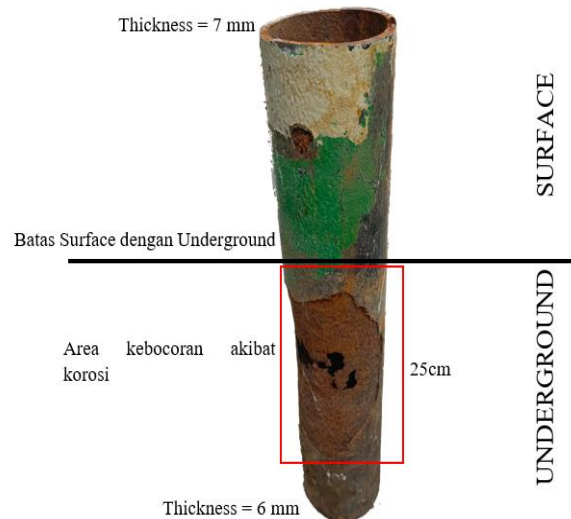
$$RL \text{ Surface} = \frac{\text{last thick} - \text{required thick}}{CR}$$

Last thick : 7 mm
 Required thick : 4,6875 mm
 CR : 0,058 mm/y

Dari perhitungan yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa laju korosi pada pipa *underground* (0,095 mm/y) lebih tinggi dibandingkan bagian *surface* (0,058 mm/y). Hal ini mengindikasikan bahwa lingkungan di bawah tanah (kemungkinan mengandung air tanah, kelembaban tinggi, atau tanah agresif) lebih korosif dibandingkan permukaan.

3.4 Analisis Korosi Pipa Flowline

Sampel pipa flowline perusahaan X yang dianalisa dapat dilihat pada Gambar 2. Berdasarkan hasil perhitungan yang telah dilakukan sebelumnya, maka dapat diketahui bahwa pipa tersebut masih memiliki ketebalan diatas ketebalan minimum dan masih memiliki *remaining life* 13,8 tahun pada *underground pipe* dan 39,87 tahun Pada *surface pipe*. Dari segi usia bisa dilihat pada pipa *underground* memiliki usia yang lebih pendek dibandingkan dengan pipa *surface*, hal ini bisa diakibatkan salah satunya oleh laju korosi pada pipa *underground* lebih tinggi dibandingkan dengan pipa *surface*.



Gambar 2. Sampel Pipa Flowline

Dari analisa visual dan hydrotest diketahui bahwa pipa pada Gambar 2 terdapat kebocoran pada bagian perbatasan antara bagian

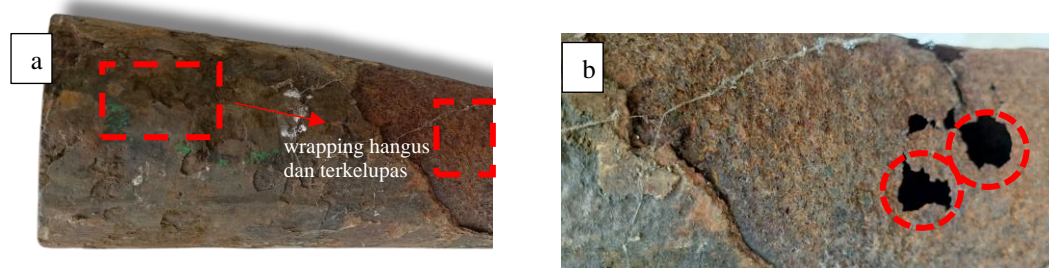
underground dengan *surface*. Kebocoran pipa pada bagian perbatasan ini bisa disebabkan oleh berbagai faktor yang saling berkaitan.

Pertama, kerusakan pada sistem *coating* yang melapisi pipa bawah tanah terjadi. Coating ini berupa wrapping, yang berfungsi sebagai pelindung utama terhadap lingkungan eksternal, mengalami degradasi akibat faktor-faktor seperti suhu yang tinggi (200F) dan juga faktor-faktor eksternal seperti paparan tanah dan air (Goffar, 2011). Kerusakan coating ini mengakibatkan pipa dapat kontak langsung dengan lingkungan eksternal. Selanjutnya, dengan adanya kontak pipa dengan lingkungan luar, maka pipa menjadi rentan terhadap korosi eksternal. Korosi ini terjadi ketika logam pada

Analisa lebih lanjut dari hasil pengamatan visual, diketahui bahwa sistem pelapisan (*coating*) pipa flowline yang diterapkan pada bagian *surface* diaplikasikan coating, sedangkan pada bagian *underground* terdiri atas coating dan wrapping. Perlindungan pada bagian *underground* menunjukkan kelemahan yang cukup besar, meskipun sistem perlindungan awal yang diterapkan terdiri dari *painting dan wrapping*, namun kenyataannya wrapping telah mengalami kerusakan parah berupa hangus dan terkelupas di seluruh area pipa *underground*. Kerusakan ini disebabkan

pipa bereaksi dengan elemen-elemen korosif di lingkungannya, seperti oksigen dan air. Bagian perbatasan sangat rawan terbentuk endapan air akibat hujan yang menyebabkan area pipa di bagian perbatasan lebih cepat terbentuk korosi akibat reaksi pipa dengan endapan air hujan. Sedangkan semakin kedalam tanah endapan air akan lebih mengering secara bertahap karena suhu pada *underground* yang tinggi. Hal tersebut menyebabkan kelembapan (*humidity factor*) pada area permukaan juga naik sehingga dapat mempercepat terjadinya korosi (Assholihat dkk., 2019).

oleh paparan suhu tinggi dalam waktu lama, yang menyebabkan wrapping kehilangan efektivitas sebagai pelindung korosi. Akibatnya, terjadi penurunan ketebalan pipa yang cukup drastis, dari semula 8,56 mm menjadi hanya 6 mm, dengan laju korosi (*corrosion rate*) mencapai 0,095 mm/tahun. Dengan mempertimbangkan ketebalan minimum yang dibutuhkan, usia pakai sisa (*remaining life*) pipa *underground* diperkirakan hanya sekitar 13,82 tahun, jauh lebih pendek dibanding bagian *surface* yang memiliki *remaining life* hingga 39,87 tahun.



Gambar 2. Visual pipa flowline pada (a) *underground* yang menunjukkan wrapping terkelupas dan (b) adanya pitting corrosion pada perbatasan *surface* dan *underground*

Salah satu penyebab utama percepatan korosi pada pipa adalah terjadinya *pitting corrosion* pada area perbatasan antara *surface* dan *underground*. Korosi ditandai dengan munculnya lubang-lubang kecil pada permukaan pipa akibat cacat mekanis seperti goresan pada logam yang bersentuhan langsung dengan tanah, serta keberadaan genangan atau elektrolit pada permukaan logam. Cacat ini diperparah oleh rusaknya wrapping yang seharusnya menjadi pelindung utama. Selain itu, faktor lain yang

mempercepat laju korosi adalah tidak dilakukannya perawatan rutin pada pipa *underground*, berbeda dengan bagian *surface* yang secara berkala mendapatkan pengecatan ulang. Ketidakseimbangan dalam sistem maintenance ini menyebabkan pipa *underground* jauh lebih rentan terhadap degradasi.

Oleh karena itu sebagai upaya mitigasi, direkomendasikan untuk mempertebal sistem coating terutama pada area transisi antara *surface* dan *underground*. Mengingat ketebalan

pipa pada area yang terkorosi parah hanya tinggal 3 mm, sementara pipa dalam kondisi baik mencapai 6 mm, maka diperlukan sistem pelapisan yang memiliki ketahanan terhadap panas dan ketebalan minimal dua kali lipat dari sistem sebelumnya. Langkah ini penting untuk memperlambat laju korosi, melindungi bagian rawan kerusakan, dan secara keseluruhan memperpanjang usia pakai pipa *underground*.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis yang telah dilakukan, dapat ditarik beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Dari hasil analisis ketebalan minimal pipa untuk mengalirkan flowline yaitu 2,1275 mm, sedangkan ketebalan minimum struktur yaitu 4,6875 mm. Jika dibandingkan antara ketebalan minimum design pressure pipa yaitu 2,1275 mm dengan ketebalan minimum structural 4,6875 mm, maka yang digunakan untuk acuan ketebalan minimum pipa adalah ketebalan minimum strukturalnya karena yang digunakan adalah yang memiliki nilai yang paling besar maka tebal minimum pipa sulfolane ini adalah 4,675 mm.

2. Dari hasil laju korosi dan sisa umur pada pipa *underground* yaitu 0,095 mm/y dan sisa umur pada pipa yaitu 13,82 tahun sedangkan laju korosi dan sisa umur pipa *surface* yaitu 0,058 mm/y dan sisa umur pada pipa yaitu 39,87 tahun.

3. Pipa seamless carbon steel di area manifold mengalami korosi sumuran (pitting corrosion) yang merupakan masalah utama yang menyebabkan kerusakan wrapping yang menyebabkan cacat pada logam akibat kontak langsung dengan tanah, serta adanya genangan atau elektrolit pada permukaan logam.

4. Korosi pada pipa seamless carbon steel dapat menyebabkan penipisan dinding pipa. Untuk mengendalikan korosi ini, perlu dilakukan perbaikan internal dan eksternal. Pengendalian korosi di PT. X secara eksternal dilakukan dengan wrapping dan coating, sedangkan secara internal dilakukan dengan inhibitor corrosion untuk membentuk lapisan pasif yang melindungi dari korosi.

5. Referensi

- [1] Abdoel Goffar. (2011). *Rancangan Dasar Perhitungan Proteksi Katodik Dengan Menggunakan Anoda Korban pada Struktur Baja Anjungan Minyak di Lingkungan Air Laut*. Majalah LPL, 45, 82. Jakarta.
- [2] Afandi, Y. K., & Arief, I. S. (2015). Analisa laju korosi pada pelat baja karbon dengan variasi ketebalan coating. *Jurnal Teknik*, 4(2). Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [3] Aji, A. B., Santosa, A. W. B., & Mulyanto, I. P. (2024). Analisa pengaruh variasi ketebalan serta jenis coating pada pelat baja SS400 terhadap laju korosi dan uji adhesi. *Jurnal Teknik Perkapalan*, 12(2).
- [4] Amadi, S. A. (2007). Analysis of corrosion induced failure of oil pipeline in the marine environment and possible control measures. *Engineering Failure Analysis*, 23, 261–270.
- [5] Apriansyah, R. A., & Jatisukamto, G. (2017). Analisis ketahanan korosi pipa A53 pada lingkungan oil sludge dengan metode C-Ring. *Jurnal Teknik Mesin*, 10(April), 30–35.
- [6] Aruan, R. H., Pratikno, H., & Hadiwidodo, Y. S. (2023). Analisa pengaruh suhu material pada pengaplikasian coating epoxy terhadap kekuatan adhesi baja A36. *Jurnal Teknik*. Institut Teknologi Sepuluh Nopember.
- [7] Assholihat, N. K., Karyati, S. M., & Syafrudin, M. (2019). Suhu dan kelembaban tanah pada tiga penggunaan lahan di Kota Samarinda, Provinsi Kalimantan Timur. *Ulin Jurnal Hutan Tropis*, 3(1), 41–49.
- [8] Eka, A. D., Bambang, A., & Bayu, W. K. (2018, Desember). Analisis laju korosi dan lifetime pipa *underground* baja karbon A53 dengan wrapping protection. *Proceedings of National Conference on Piping Engineering and Its Application*, 3(1), 193–198.

- [9] Eltai, E. O., Musharavati, F., & Mahdi, E. (2019). *Severity of corrosion under insulation (CUI) to structures and strategies to detect it*. *Corrosion Reviews*, 0(0). doi:10.1515/corrrev-2018-0102.
- [10] Hastuti, K., & Gumelar, R. (2017). Efektivitas proteksi katodik sebagai pengendalian laju korosi pipa minyak pada lingkungan tanah gambut. *Seminar Nasional Mitigasi dan Strategi Adaptasi Dampak Perubahan Iklim di Indonesia*.
- [11] Hussein Farh, H. M., Ben Seghier, M. E. A., Taiwo, R., et al. (2023). Analysis and ranking of corrosion causes for water pipelines: a critical review. *npj Clean Water*, 6, 65. <https://doi.org/10.1038/s41545-023-00275-5>
- [12] Juanda, M., dkk. (2017). *Kajian inhibitor NaNO₂ sebagai pengendalian laju korosi pada stainless steel dalam lingkungan NaCl 3,5%*. Surabaya: Program Studi Teknik Kimia, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Jawa Timur.
- [13] Li, P., Zhao, Y., Liu, B., Zeng, G., Zhang, T., Xu, D., Gu, H., Gu, T., & Wang, F. (2017). Experimental testing and numerical simulation to analyze the corrosion failures of single well pipelines in Tahe oilfield. *Engineering Failure Analysis*, 80, 112–122.
- [14] Li, W., Pots, B. F. M., Brown, B., Kee, K. E., & Nesic, S. (2016). A direct measurement of wall shear stress in multiphase flow – Is it an important parameter in CO₂ corrosion of carbon steel pipelines? *Corrosion Science*, 110, 35–45.
- [15] M. H. Sk., Abdullah, A. M., Ko, M., Ingham, B., Laycock, N., Arul, R., & Williams, D. E. (2017). Local supersaturation and the growth of protective scales during CO₂ corrosion of steel: effect of pH and solution flow. *Corrosion Science*, 126, 26–36.
- [16] Okoro, E. E., Kurah, A. M., Sanni, S. E., Dosunmu, A., & Ekeinde, E. B. (2019). Flow line corrosion failure as a function of operating temperature and CO₂ partial pressure using real-time field data. *Engineering Failure Analysis*, 102, 160–169.
- [17] Prabowo, I., Ichsanudin, M., Fuadi, M., Mussoddaq, M., & Paundra, F. (2024). Comparative analysis of water-based inhibitors containing CDEA and TEA against API 5L Grade B. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 11(1), 10180–10188.
- [18] Rachmat, A., & nur hidayatulloh, jajang. (2023). Perancangan mesin pemanasan induksi untuk steel forging dengan temperature controller: Indonesia. *J-ENSISTEC*, 10(01), 900–903.
- [19] Rahmadi, R., Suprihanto, A., & Haryadi, G. D. (tanpa tahun). Pengaruh dissolved oxygen (DO) terhadap laju korosi stainless steel 304 pada larutan NaCl 0,1 M. *Jurnal Teknik Mesin*. Universitas Diponegoro
- [20] Rustandi, A., Adyutatama, M., Fadly, E., & Subekti, N. (2012). Corrosion rate of carbon steel for flowline and pipeline as transmission pipe in natural gas production with CO₂ content. *Makara Journal of Technology*, 16(1), Artikel 9.
- [21] Saxena, R. C., Biswal, J., Pant, H. J., Samantray, J. S., Sharma, S. C., Gupta, A. K., & Ray, S. S. (2018). Application of thin layer activation technique for monitoring corrosion of carbon steel in hydrocarbon processing environment. *Applied Radiation and Isotopes*, 135, 201–206.

PENERAPAN ALGORITMA APRIORI UNTUK MENGIDENTIFIKASI LOKASI STRATEGIS PROMOSI SEKOLAH SWASTA

Henny Wahyu Sulisty¹, Hardian Oktavianto², Dudi Irawan³

^{1,2,3}Teknik Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: hardian@unmuhjember.ac.id

ABSTRACT

Schools must carry out effective promotions and target the right markets to attract prospective students efficiently. This study applies data mining using Association Rule and Apriori algorithms to uncover patterns for identifying promising promotional areas. It consists of four stages: data collection, preprocessing, implementation and testing, and evaluation, aiming to determine strategic locations for school promotion. The Apriori algorithm analyzed student data and produced 16 association rules, all with 100% confidence. Findings show that Kaliwates District appeared eight times, Sumbersari four times, and Tempurejo and Patrang twice each, indicating most students come from Kaliwates. The 'Public Elementary School' itemset appeared 12 times, revealing that most students enrolled from public rather than private schools. The study concludes that educational data plays a crucial role in shaping promotion strategies, especially through association analysis. Rules with the 'District' itemset in the antecedent are particularly useful as a promotional reference. These insights help decision-makers identify high-potential regions and school origins, supporting more targeted and effective promotional efforts.

Keywords: apriori algorithm, association rule mining, data mining, private school, promotion strategy

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 23-03-2025

Tanggal revisi : 08-05-2025

Tanggal terbit : 25-07-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13377>

1. PENDAHULUAN

Sekolah merupakan suatu institusi atau lembaga formal yang berfungsi sebagai wadah untuk melaksanakan kegiatan belajar-mengajar serta sebagai sarana penyampaian dan penerimaan pengetahuan. Hingga saat ini, sekolah tetap dipandang oleh sebagian besar anggota masyarakat sebagai salah satu tempat utama untuk memperoleh pengetahuan, mengembangkan keterampilan, serta menjalani proses pendidikan yang berperan dalam membentuk kedewasaan dan kematangan siswa sebagai individu (Norjanah, Windiarti, & Qamaruzzaman, 2022). Promosi yang efektif tidak hanya

membantu meningkatkan kualitas sekolah, tetapi juga membangun citra positif dan kepercayaan masyarakat terhadap kualitas pendidikan yang diberikan. Selain itu, pemilihan target pasar juga merupakan aspek krusial dalam strategi promosi. Sekolah perlu memahami karakteristik dan kebutuhan calon peserta didik untuk merancang pesan promosi yang tepat sasaran. Pemilihan target pasar yang tepat memungkinkan sekolah untuk menggunakan sumber daya promosi mereka dengan lebih efisien, sehingga pesan yang disampaikan lebih relevan dan memiliki dampak yang lebih besar. Dengan kombinasi promosi yang efektif dan pemilihan target

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



pasar yang tepat, sekolah dapat meningkatkan daya tariknya di mata calon peserta didik, memastikan peningkatan jumlah pendaftaran, serta memperkuat posisi mereka dalam industri pendidikan yang kompetitif (Greaves, Wilson, & Nairn, 2023).

SMP Muhammadiyah 1 Jember adalah salah satu sekolah swasta yang berdiri pada tahun 1966 hingga saat ini. Setiap tahunnya SMP Muhammadiyah 1 Jember mengalami grafik penerimaan siswa baru yang tidak konsisten, bahkan beberapa tahun belakangan ini grafik penerimaan siswa baru mengalami penurunan. Pada tahun 2019 jumlah siswa sebanyak 236, pada 2020 sebanyak 187, pada 2021 sebanyak 148, pada 2022 sebanyak 138, dan pada 2023 sebanyak 126. SMP Muhammadiyah 1 Jember telah melakukan berbagai upaya untuk menarik calon siswa seperti, memperbaiki infrastruktur, membuat pembelajaran yang menarik, meningkatkan sumber daya manusia, dan melakukan promosi ke berbagai daerah. Namun meskipun sudah melakukan banyak upaya tetap saja belum membuahkan hasil. Salah satu penyebab utamanya adalah kurang efisiennya promosi, serta kurang tepatnya dalam memilih target pasar (Lim, Jee, & De Run, 2018). Dalam dunia bisnis segala sesuatunya harus diperhatikan dengan baik dan penuh perhitungan. Jika dalam pemasaran tidak dilakukan dengan mencari daerah strategis dan potensial, maka semua itu hanya akan menghabiskan banyak waktu, tenaga dan biaya. Salah satu alternatif untuk penyelesaian masalah tersebut adalah dengan menerapkan konsep *data mining* (Agal, et al., 2023). Dalam konteks promosi sekolah swasta, *data mining* berperan penting untuk membantu sekolah mengambil keputusan yang lebih efektif dan berbasis data.

Data mining adalah proses pencarian dan analisis data dalam jumlah besar agar dapat menemukan pola dan aturan yang bermakna (Supriyati, Iqbal, & Khotimah, 2019). *Data mining* yang sering digunakan untuk mencari keterkaitan antar itemset adalah model *Association Rule*. *Association Rule Mining* (ARM) merupakan salah satu teknik dalam *data mining* yang memiliki potensi besar dalam mendukung kegiatan promosi di sekolah, khususnya sekolah swasta yang berada dalam persaingan ketat untuk menarik

calon siswa. Melalui ARM, pola-pola tersembunyi dalam data siswa maupun data lembaga dapat ditemukan, sehingga sekolah dapat memperoleh pemahaman yang lebih mendalam terkait preferensi, kebutuhan, serta perilaku calon siswa dan orang tua. Temuan-temuan tersebut memungkinkan pihak sekolah untuk merumuskan strategi promosi yang lebih terarah dan berbasis bukti. Model ARM diterapkan untuk menemukan pola frekuensi tinggi, dengan melakukan mekanisme perhitungan *support* dan *confidence* dari suatu hubungan item. Dalam penerapannya model *Association Rule* seringkali digabungkan dengan Algoritma Apriori sebagai pemrosesan datanya

Adapun rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana penerapan *association rule mining* dalam menentukan daerah strategis untuk promosi pengenalan sekolah SMP Muhammadiyah 1 Jember dengan menggunakan Algoritma Apriori. Algoritma ini memiliki konsep dengan menggabungkan *frequent itemset*, dengan menggunakan satu *item* dan secara rekursif mengembangkan *frequent itemset* dengan dua *item*, tiga *item*, empat *item* dan seterusnya (Hodijah & Setijohatmo, 2021). Kelebihan dari model *Association Rule* dan Algoritma Apriori ini adalah penerapannya lebih sederhana dan mampu menangani data yang besar (Zakur, Mirashrafi, & Flaih, 2023).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari 4 langkah utama, yaitu Pengumpulan Data, *Preprocessing*, Implementasi dan Pengujian, dan Evaluasi. Pada sub bab berikut, masing-masing langkah akan dijelaskan secara rinci, mulai dari tahap pengumpulan data hingga tahap evaluasi.

Pengumpulan Data

Pengumpulan data merupakan salah satu tahapan yang paling strategis dan krusial dalam pelaksanaan penelitian, mengingat tujuan utama dari suatu penelitian adalah memperoleh data yang relevan, akurat, dan dapat dipertanggungjawabkan untuk menjawab rumusan masalah serta mencapai tujuan penelitian (Laili, 2022). Dalam konteks penelitian ini, data yang digunakan adalah data calon siswa yang mendaftarkan diri di SMP 1 Muhammadiyah Jember. Data tersebut memiliki peran penting sebagai dasar analisis, karena

melalui data inilah peneliti dapat memahami karakteristik, pola, maupun kecenderungan yang terjadi pada calon siswa.

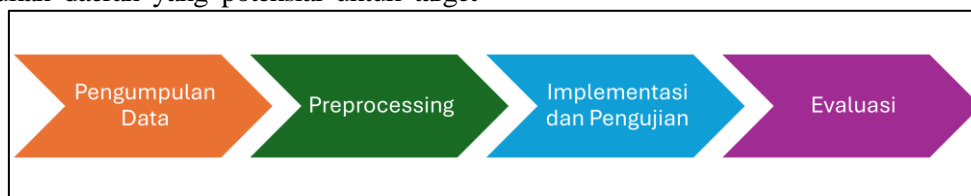
Preprocessing

Preprocessing data berguna untuk mempermudah proses perhitungan dan mengubah format data sesuai dengan Algoritma Apriori. *Preprocessing* data meliputi *cleaning*, *selection*, inialisasi, dan transformasi. Tahap awal dilakukan *cleaning* data dimana tahap ini dilakukan secara manual dengan menghilangkan data yang kosong. Sehingga dari 407 data siswa hanya menyisakan 400 data siswa. Tahap kedua dilakukan *selection* data dengan menghilangkan atribut NIPD, penghasilan ayah, penghasilan ibu. Karena data dan atribut ini tidak digunakan dalam penelitian. Atribut NIPD dapat diwakili oleh atribut ‘sekolah asal’ sedangkan atribut ‘penghasilan orang tua’ merupakan hasil dari rata – rata penghasilan ayah dan penghasilan ibu. Sehingga pada dataset menyisakan atribut kecamatan, penghasilan orang tua, sekolah asal, ekstrakurikuler. Atribut kecamatan berguna untuk menemukan daerah yang potensial untuk target

promosi. Atribut penghasilan orang tua sebagai indikator kemampuan siswa membayar biaya pendidikan, daerah dengan penghasilan menengah keatas lebih mampu untuk memilih sekolah swasta. Atribut sekolah asal berguna untuk mengetahui sekolah negeri atau swasta yang memiliki minat tertinggi terhadap SMP Muhammadiyah 1 Jember. Atribut ekstrakurikuler berguna untuk mengetahui minat siswa di daerah yang menjadi target pasar. Tahap ketiga dilakukannya inialisasi data agar mempermudah peneliti dalam menganalisis data. Tahap keempat transformasi data dengan mengubah dataset ke bentuk tabel tabular agar mempermudah perhitungan menggunakan bahasa pemrograman *python*.

Implementasi dan Pengujian

Tahap implementasi dan pengujian menerapkan Algoritma Apriori pada data tersebut sesuai dengan rumusan yang ditetapkan, sehingga dapat menghasilkan aturan asosiasi dengan cara uji menggunakan variasi nilai minimum *support* dan *confidence*.



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Support merupakan nilai penunjang atau presentase kombinasi sebuah *item* dalam *database*. Rumus *support* adalah sebagai berikut (Maruseac & Ghinita, 2020):

$$Support(X) = \frac{Freq(X, Y)}{Total\ Transactions(N)}$$

Sedangkan *confidence* merupakan nilai kepastian yaitu kuatnya hubungan antar item dalam aturan asosiasi. *Confidence* baru bisa dicari setelah pola frekuensi munculnya sebuah item ditemukan. Misalkan telah ditemukan aturan $A \rightarrow B$ maka (Veer, Gurav, Dange, Chandgude, & Wangikar, 2022):

$$Confidence(Y|X) = \frac{Freq(X, Y)}{Freq(X)}$$

Lift Ratio adalah cara perhitungan untuk mengetahui kekuatan aturan asosiasi yang telah terbentuk. Biasanya nilai *Lift Ratio* digunakan untuk menentukan apakah aturan asosiasi itu valid

atau tidak. Berikut rumus untuk menghitung *Lift Ratio* (Hikmawati, Maulidevi, & Surendro, 2022):

$$Lift\ Ratio = \frac{Confidence(A, B)}{Benchmark\ Confidence(A, B)}$$

Untuk mendapatkan nilai benchmark *confidence* dapat menggunakan rumus berikut:

$$Benchmark\ Confidence(A, B) = \frac{Jumlah\ Transaksi\ Mengandung\ B}{Total\ Transaksi}$$

Evaluasi

Tahap Evaluasi dilakukan evaluasi terhadap hasil yang diperoleh sesuai dengan tujuan penelitian yaitu identifikasi lokasi strategis promosi sekolah swasta, sehingga *rule – rule* yang dipilih hanyalah *rule* yang memiliki itemset atau atribut kecamatan pada *antecedent*-nya.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan dengan observasi langsung di SMP Muhammadiyah 1 Jember. Hasil observasi yaitu diperolehnya data siswa SMP Muhammadiyah 1 Jember dari tahun 2017-2023 dengan format excel dan buku induk siswa sejumlah 407 data siswa. Data merupakan sekunder terkait preferensi siswa dan orang tua dalam memilih institusi pendidikan SMP Muhammadiyah 1 Jember. Atribut data mencakup:

- NIPD
- Kecamatan
- Penghasilan Ayah
- Penghasilan Ibu
- Penghasilan Orang Tua
- Sekolah Asal
- Ekstrakurikuler

Pada tahap awal, proses pembersihan data dilakukan secara manual dengan

mengidentifikasi dan menghapus data yang tidak lengkap atau kosong. Langkah ini bertujuan untuk memastikan kualitas data yang akan dianalisis tetap valid dan reliabel. Setelah proses pembersihan, jumlah data yang digunakan dalam penelitian ini berkurang dari 407 menjadi 400 data siswa yang memenuhi kriteria kelengkapan informasi.

Pada tahap kedua, dilakukan seleksi data dengan menghapus beberapa atribut yang tidak relevan dengan tujuan penelitian, yaitu NIPD, penghasilan ayah, dan penghasilan ibu. Penghapusan atribut ini bertujuan untuk menyederhanakan analisis serta memastikan bahwa hanya variabel yang memiliki keterkaitan langsung dengan penelitian yang digunakan. Setelah proses seleksi, data yang digunakan dalam analisis terdiri dari atribut kecamatan, penghasilan orang tua, sekolah asal, dan partisipasi dalam kegiatan ekstrakurikuler.

Tabel 1. Dataset

| N | Kecamatan | Penghasilan Orang Tua | Sekolah Asal | ekstrakurikuler |
|----|-----------------|-------------------------------|--|-----------------------------|
| 1 | Kec. Kaliwates | Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999 | SDN JEMBER LOR 02 | Desain Grafis, Paduan Suara |
| 2 | Kec. Kaliwates | Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999 | SDN JEMBER KIDUL 02 | HW |
| 3 | Kec. Kaliwates | Rp. 2,000,000 - Rp. 4,999,999 | UNIT PELAKSANA TEKNIS DAERAH (UPTD) SATUAN PENDIDIKAN SDN KEPATIHAN 01 | TS |
| 4 | Kec. Patrang | Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999 | SDIT HARAPAN UMAT | Futsal |
| 5 | Kec. Sumbersari | Rp. 500,000 - Rp. 999,999 | SDN SUMBERSARI 01 | HW |
| 6 | Kec. Sumbersari | Rp. 500,000 - Rp. 999,999 | SDN SUMBERSARI 01 | TS, Futsal |
| 7 | Kec. Patrang | Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999 | UNIT PELAKSANA TEKNIS DAERAH (UPTD) SATUAN PENDIDIKAN SDN GEBANG 02 | TS, Paskibra |
| 8 | Kec. Kaliwates | Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999 | SD MUHAMMADIYAH 1 JEMBER | TS, Tari, MTK |
| 9 | Kec. Mayang | Rp. 2,000,000 - Rp. 4,999,999 | SDS PG BUNGAMAYANG | TS, Desain Grafis |
| 10 | Kec. Patrang | Rp. 500,000 - Rp. 999,999 | UNIT PELAKSANA TEKNIS DAERAH (UPTD) SATUAN PENDIDIKAN SDN GEBANG 02 | Futsal |

Atribut tersebut dipilih karena masing-masing memiliki relevansi dalam mendukung analisis strategi promosi sekolah. Atribut kecamatan digunakan untuk mengidentifikasi daerah yang memiliki potensi sebagai target promosi. Atribut penghasilan orang tua berfungsi sebagai indikator kemampuan ekonomi dalam membayar biaya pendidikan, di mana daerah dengan penghasilan menengah ke atas cenderung memiliki daya beli lebih tinggi untuk memilih sekolah swasta. Selanjutnya, atribut sekolah asal dianalisis untuk mengetahui apakah siswa yang berminat mendaftar di SMP Muhammadiyah 1 Jember lebih banyak berasal dari sekolah negeri atau swasta. Selain itu, atribut ekstrakurikuler digunakan untuk memahami minat siswa di wilayah target, sehingga sekolah dapat menyesuaikan strategi promosi berdasarkan preferensi mereka.

Dalam implementasi *Association Rule Mining* menggunakan bahasa pemrograman *python*, dataset perlu dikonversi ke dalam format CSV (*Comma-Separated Values*). CSV adalah format data yang umum digunakan dalam analisis data dan kompatibel dengan berbagai pustaka *python* seperti *pandas*, *NumPy*, dan *mlxtend*. Dengan menyimpan data dalam format CSV, dataset dapat dengan mudah diakses, dimanipulasi, dan digunakan untuk analisis lebih lanjut. CSV

memungkinkan data untuk disimpan dalam bentuk tabel yang terstruktur, memudahkan proses eksplorasi, pembersihan, dan transformasi data sebelum diterapkan dalam algoritma seperti Apriori dan *FP-Growth*. Banyak pustaka dalam ekosistem *python*, seperti *pandas* untuk manipulasi data dan *mlxtend* untuk implementasi algoritma Apriori dan *FP-Growth*, memiliki fungsi bawaan untuk membaca data dalam format CSV (`pandas.read_csv()`). Hal ini mempercepat dan mempermudah integrasi dataset ke dalam analisis.

Pada penelitian ini penerapan algoritma apriori menggunakan bahasa pemrograman *python*, sedangkan pengujian dilakukan dengan menggunakan variasi parameter *support*, *confidence*, dan *lift*. Pengujian akan dilakukan dengan menggunakan parameter *support* yang berbeda mulai dari 1% sampai dengan 5%, adapun parameter *confidence* dan *lift* keduanya menggunakan nilai 100% dengan tujuan mendapatkan *rule* yang memang benar – benar valid dan sesuai tujuan penelitian.

Hasil yang diperoleh ketika menggunakan parameter *support* 2% *confidence* 100% *lift* 100% ditunjukkan pada tabel 2, sedangkan tabel 3 menunjukkan beberapa baris hasil yang diperoleh ketika menggunakan parameter *support* 1% *confidence* 100% *lift* 100%.

Tabel 2. Hasil Uji

| support (%) | Confidence (%) | Lift (%) | jumlah rule ditemukan |
|--------------------|-----------------------|-----------------|------------------------------|
| 1 | 100 | 100 | 42 |
| 2 | 100 | 100 | 3 |
| 3 | 100 | 100 | 0 |
| 4 | 100 | 100 | 0 |
| 5 | 100 | 100 | 0 |

Ketika menggunakan nilai *support* yang lebih kecil maka semakin banyak *rule* yang diperoleh. *Rule* asosiasi yang terbentuk ketika menggunakan nilai *support* 2% adalah sebanyak 3 *rule*, sedangkan ketika menggunakan nilai 1% adalah sejumlah 42 *rule*.

Untuk tujuan promosi sekolah maka tidak semua *rule* yang terbentuk dapat dijadikan acuan, sehingga dari keseluruhan *rule* yang terbentuk harus dipilih *rule* mana saja yang mengandung itemset kecamatan pada *antecedent*-nya. *Rule* asosiasi yang menjadi acuan promosi ini ditunjukkan pada tabel 3.

Terbentuk 16 buah *rule* asosiasi yang dapat dijadikan acuan untuk promosi dan kesemua *rule* tersebut mempunyai *confidence* 100%. Dari tabel 4 juga dapat kira ketahu bahwa dari ke-16 buah *rule* asosiasi, Kecamatan Kaliwates muncul 8 kali, Kecamatan Sumpalsari muncul 4 kali, Kecamatan Tempurejo dan Kecamatan Patrang masing – masing muncul 2 kali, yang menunjukkan bahwa tempat tinggal atau

domisili siswa lebih banyak berasal dari Kecamatan Kaliwates. Itemset ‘SEKOLAH DASAR NEGERI’ muncul 12 kali yang menunjukkan bahwa asal sekolah siswa lebih banyak berasal dari Sekolah Dasar Negeri daripada berasal dari Sekolah Dasar Swasta.

Tabel 3. Aturan Asosiasi Acuan Promosi

| N o | Rule | Support | Confidence |
|--------|--|---------|------------|
| 1 | ['Kec. Kaliwates', 'Desain Grafis'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 2.0% | 100.0% |
| 2 | ['TS', 'Rp. 500,000 - Rp. 999,999', 'Kec. Sumpalsari'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 2.25% | 100.0% |
| 3 | ['Kec. Tempurejo'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.25% | 100.0% |
| 4 | ['Kec. Kaliwates', 'English'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.25% | 100.0% |
| 5 | ['Kec. Patrang', 'English'] -> ['Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999'] | 1.0% | 100.0% |
| 6 | ['Kec. Sumpalsari', 'Paskibra'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.0% | 100.0% |
| 7 | ['Kec. Kaliwates', 'English'] -> ['Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999'] | 1.0% | 100.0% |
| 8 | ['Kec. Sumpalsari', 'English'] -> ['SEKOLAH DASAR SWASTA'] | 1.0% | 100.0% |
| 9 | ['Rp. 500,000 - Rp. 999,999', 'Kec. Tempurejo'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.0% | 100.0% |
| 10 | ['Kec. Kaliwates', 'Desain Grafis', 'Futsal'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.0% | 100.0% |
| 11 | ['SEKOLAH DASAR NEGERI', 'Kec. Kaliwates', 'Desain Grafis'] -> ['Futsal'] | 1.0% | 100.0% |
| 12 | ['Rp. 500,000 - Rp. 999,999', 'Kec. Kaliwates', 'English'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.0% | 100.0% |
| 13 | ['Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999', 'Kec. Kaliwates', 'Desain Grafis'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.25% | 100.0% |
| 14 | ['Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999', 'Kec. Patrang', 'Desain Grafis'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.25% | 100.0% |
| 15 | ['Rp. 1,000,000 - Rp. 1,999,999', 'Kec. Kaliwates', 'Futsal'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.5% | 100.0% |
| 16 | ['TS', 'Kec. Sumpalsari', 'Rp. 0 - Rp. 499,999'] -> ['SEKOLAH DASAR NEGERI'] | 1.25% | 100.0% |

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menyimpulkan bahwa data pendidikan memiliki keterkaitan erat dengan strategi promosi sekolah, terutama melalui analisis asosiasi. Dalam konteks ini, *rule* atau pola yang memuat *itemset* ‘Kecamatan’ pada bagian *antecedent* dianggap relevan untuk dijadikan dasar dalam kegiatan promosi. Dari hasil analisis, ditemukan 16 *rule* asosiasi yang dapat digunakan

sebagai panduan untuk mengarahkan strategi promosi yang lebih efektif.

Temuan penting lainnya menunjukkan bahwa Kecamatan Kaliwates muncul sebanyak 8 kali dalam *rule* yang terbentuk, mengindikasikan bahwa mayoritas calon siswa berasal dari wilayah tersebut. Selain itu, *itemset* ‘SEKOLAH DASAR NEGERI’ muncul sebanyak 12 kali, menandakan bahwa sebagian besar siswa berasal dari sekolah dasar negeri. Informasi ini sangat berguna bagi pengambil keputusan dalam menentukan target

wilayah dan asal sekolah potensial yang strategis untuk kegiatan promosi.

5. REFERENSI

- [1] Agal, S., Sharma, P., Mohan, C. R., Madan, P., V, M., & Arri, H. S. (2023). Using Machine Learning Algorithms to Suggest a Method for Predictive Analysis in Data Mining. *2023 IEEE International Conference on ICT in Business Industry & Government (ICTBIG)* (pp. 1-5). IEEE.
- [2] Greaves, E., Wilson, D., & Nairn, A. (2023). Marketing and School Choice: A Systematic Literature Review. *Review of Educational Research*, 825-861.
- [3] Hikmawati, E., Maulidevi, N. U., & Surendro, K. (2022). Rule-Ranking Method Based on Item Utility in Adaptive Rule Model. *PeerJ Computer Science* 8.
- [4] Hodijah, A., & Setijohatmo, U. T. (2021). Analysis Of Frequent Itemset Generation Based On Trie Data Structure In Apriori Algorithm. *TELKOMNIKA*, 19(5), 1553-1564.
- [5] Laili, U. H. (2022). Implementasi Data Mining Naïve Bayes Dan Svm (Support Vector Machine) Dalam Pengumpulan Berita Kriminal Di Indonesia Pada Masa Pandemi COVID-19 Studi Kasus : Situs Berita Detik.com. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)* Vol. 09 No. 01.
- [6] Lim, W. M., Jee, T. W., & De Run, E. C. (2018). Strategic brand management for higher education institutions with graduate degree programs: empirical insights from the higher education marketing mix. *Journal of Strategic Marketing*, 28(3), 225–245.
- [7] Maruseac, M., & Ghinita, G. (2020). Precision-Enhanced Differentially-Private Mining of High-Confidence Association Rules. *IEEE Transactions on Dependable and Secure Computing* Volume: 17, Issue: 6.
- [8] Norjanah, S., Windiarti, I. S., & Qamaruzzaman, M. H. (2022). Sistem Informasi Pendaftaran Siswa Baru di SD Islam Hasanka Palangkaraya Berbasis Web. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)* Vol. 09 No. 01.
- [9] Supriyati, E., Iqbal, M., & Khotimah, T. (2019). Using Similarity Degrees To Improve Fuzzy Mining Association Rule Based Model For Analyzing IT Entrepreneurial Tendency. *IJUM Engineering Journal*, 20(2), 78–89.
- [10] Veer, A., Gurav, M., Dange, S., Chandgude, S., & Wangikar, V. (2022). Apriori Algorithm with Dynamic Parameter Selection and Pruning of Misleading Rules. *Lecture Notes in Networks and Systems*, vol 286, 619–627.
- [11] Zakur, Y. A., Mirashrafi, S. B., & Flaih, L. R. (2023). A Comparative Study on Association Rule Mining Algorithms on the Hospital Infection Control Dataset. *Baghdad Science Journal* 20(5).

LITERATURE REVIEW: PENGARUH SUHU AIR *ECONOMIZER* DAN *FLOW STEAM* TERHADAP EFISIENSI BOILER CFB

Faizal¹, Nanang Ruhyat²

^{1,2}Prodi Magister Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana
Email: Faizald4mesin@gmail.com

ABSTRACT

This study aims to analyze the effect of economizer water temperature and steam flow on boiler operational efficiency in Circulating Fluidized Bed (CFB) type Steam Power Plant (PLTU). The study was conducted through a literature review of a number of recent studies that examined the relationship between these two parameters and the thermal efficiency of the boiler system. The analysis shows that increasing the economizer water temperature from 65°C to 67°C can increase the efficiency up to 4%, while installing economizer in general can increase the efficiency up to 10%. On the other hand, excessive steam flow variation can cause temperature fluctuations and decrease efficiency, while optimal steam flow regulation is proven to increase heat recovery from flue gas and decrease operating costs. The optimal interaction between economizer water temperature and steam flow is proven to save fuel, reduce greenhouse gas emissions, and extend the service life of boiler components. This study concludes that the implementation of automatic control and real-time monitoring of both parameters is essential to improve energy efficiency, reduce maintenance costs, and support the sustainability of power generation systems.

Keywords: PLTU, boiler, economizer, flow steam, efficiency

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 28-03-2025

Tanggal revisi : 18-05-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13607>

1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara dengan ekonomi berkembang yang terus meningkatkan pembangunan di sektor industri. Seiring pertumbuhan ekonomi yang pesat, kebutuhan energi listrik juga meningkat, mendorong peningkatan kapasitas pembangkit listrik, terutama Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) [1]. Salah satu peralatan penting dalam produksi energi di PLTU adalah boiler, yang berfungsi menghasilkan uap (*steam*) bertekanan tinggi sebagai energi kerjanya [2][3].

Boiler *Circulated Fluidized Bed* (CFB) menjadi salah satu teknologi unggulan karena menawarkan efisiensi pembakaran tinggi, emisi polutan rendah, kemampuan adaptasi bahan bakar yang luas, dan fleksibilitas beban operasi [4]. Struktur utamanya meliputi ruang bakar (*furnace*), *steam drum*, *cyclone*, *air preheater*, dan *economizer*, dengan batubara sebagai bahan bakar utama yang dibakar bersama oksigen untuk memanaskan penukar panas hingga menghasilkan uap [5][10].

Namun, penurunan kinerja operasional boiler dapat berdampak serius pada efisiensi

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



pembangkit listrik. Faktor-faktor yang memengaruhi efisiensi antara lain konsumsi bahan bakar, laju aliran uap, temperatur air umpan, serta tekanan dan temperatur uap [6]. Jika boiler beroperasi di bawah temperatur kerja, akan terjadi *heat loss* signifikan yang menurunkan kemampuan boiler menghasilkan uap untuk memutar turbin [7]. Oleh karena itu, analisis efisiensi boiler sangat penting, yang mana tidak hanya untuk menekan biaya bahan bakar dan operasional, tetapi juga untuk mengurangi emisi gas buang, mendukung target lingkungan, dan meningkatkan daya saing industri [8][9][17].

Salah satu komponen penting yang mempengaruhi efisiensi adalah *economizer*, yaitu alat pemanas awal air umpan boiler melalui perpindahan panas dari gas buang [11][12]. Pemanasan awal ini membantu meningkatkan suhu air umpan, menurunkan suhu gas buang, serta meningkatkan efisiensi keseluruhan sistem [13][14]. Selain itu, penerapan teknologi lain seperti bahan bakar berkualitas tinggi, sistem kontrol otomatis, dan perawatan rutin juga menjadi strategi penting dalam mengoptimalkan efisiensi boiler [15].

Kerugian finansial yang diakibatkan oleh risiko, seperti ketidakstabilan aliran uap atau suhu air yang tidak optimal, dapat berdampak negatif pada efisiensi operasional boiler dan meningkatkan biaya pemeliharaan. Namun, melalui penerapan manajemen risiko yang tepat, seperti pengendalian suhu *economizer* dan stabilitas *flow steam*, perusahaan dapat mengurangi potensi kerusakan, meningkatkan efisiensi energi, serta mengoptimalkan proses operasional secara keseluruhan [16].

Dalam beberapa tahun terakhir, boiler CFB superkritis skala besar semakin banyak digunakan di industri global. Untuk memastikan kualitas pembakaran optimal, diperlukan analisis mendalam terkait efisiensi berdasarkan beban operasi, karena penelitian menunjukkan bahwa pembangkit listrik yang beroperasi pada beban puncak cenderung memiliki efisiensi lebih tinggi dibandingkan saat beroperasi pada beban sebagian atau rendah [18].

Saat ini, isu dan dampak terhadap lingkungan menjadi perhatian global,

termasuk potensi pemanasan global (*Global Warming Potential*) dan efek penipisan lapisan ozon (*Ozone Depletion Potential*). Oleh karena itu, upaya peningkatan efisiensi boiler juga memiliki peran strategis dalam menekan emisi gas rumah kaca dan mendukung komitmen keberlanjutan lingkungan. [19].

Berdasarkan latar belakang ini, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh suhu air *economizer* dan aliran steam boiler (*flow steam*) terhadap efisiensi boiler, serta mengidentifikasi strategi-strategi peningkatan efisiensi yang dapat diterapkan di industri energi Indonesia. Dengan pemahaman yang baik mengenai prinsip-prinsip efisiensi ini, diharapkan Indonesia dapat terus mendorong keberlanjutan energi sekaligus menghadapi tantangan global secara kompetitif.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kajian literatur (*literature review*) untuk menganalisis pengaruh suhu air *economizer* dan aliran uap (*flow steam*) terhadap efisiensi boiler *Circulating Fluidized Bed* (CFB). Data dikumpulkan dari berbagai sumber sekunder, termasuk jurnal ilmiah, artikel penelitian, laporan teknis, dan buku referensi yang relevan.

Pemilihan literatur dilakukan secara purposif, yaitu memilih sumber-sumber yang memiliki keterkaitan langsung dengan topik efisiensi boiler dan teknologi *economizer*, dengan fokus utama pada publikasi 10 tahun terakhir untuk memastikan kebaruan data.

Alat analisis yang digunakan dalam kajian ini adalah analisis tematik, yaitu dengan mengidentifikasi tema-tema utama dari literatur yang dikaji, seperti:

- Faktor-faktor operasional yang mempengaruhi efisiensi boiler
- Peran suhu air *economizer* dalam meningkatkan efisiensi
- Dampak stabilitas *flow steam* terhadap performa boiler
- Strategi optimalisasi parameter operasional boiler

Setelah identifikasi tema, dilakukan sintesis dengan membandingkan hasil-hasil penelitian sebelumnya, menarik kesamaan dan

perbedaan temuan, serta menyusun kesimpulan yang relevan untuk konteks industri di Indonesia. Pendekatan ini tidak melibatkan pengujian eksperimental atau simulasi numerik baru, tetapi fokus pada pemahaman mendalam melalui tinjauan pustaka.

2.1 PLTU

Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU) adalah salah satu jenis pembangkit listrik yang memanfaatkan energi panas dari pembakaran batubara untuk menghasilkan uap bertekanan tinggi. Uap ini digunakan untuk menggerakkan turbin dan generator, sehingga menghasilkan energi listrik [20]. PLTU memiliki peranan yang sangat penting sebagai tulang punggung penyediaan energi listrik dengan daya dan tegangan tertentu, karena kapasitas produksinya yang besar dan andal. Selain itu, PLTU juga berperan vital dalam menjaga kestabilan pasokan listrik, terutama di daerah yang memerlukan energi dalam jumlah besar dan stabil [21].

Dalam operasionalnya, PLTU menggunakan boiler sebagai komponen utama untuk menghasilkan uap panas yang diperlukan untuk menggerakkan turbin. Boiler bekerja dengan mengubah air menjadi uap melalui pemanasan menggunakan energi panas dari pembakaran bahan bakar, seperti batubara, gas, atau minyak bumi [22]. Efisiensi boiler sangat penting untuk meningkatkan efisiensi keseluruhan pembangkit listrik, hingga mengurangi biaya operasional [23].

Penelitian sebelumnya juga menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi boiler dapat dicapai melalui pengoptimalan berbagai parameter operasional, seperti suhu air *economizer* dan *flow steam* [24].

2.2 Boiler

Boiler, atau ketel uap, adalah perangkat berbentuk bejana tertutup yang berfungsi mengubah energi kimia dalam bahan bakar menjadi energi panas yang digunakan untuk mengubah air menjadi uap [25]. Boiler CFB memiliki kemampuan adaptasi bahan bakar yang ekstensif dan pengendalian polusi dengan biaya rendah, sehingga banyak digunakan dalam pembangkit listrik. Boiler CFB dapat dengan mudah menangani

pembakaran batubara berkualitas rendah, dengan nilai kalor kurang dari 4.000 kkal [26].

Panas yang dihasilkan dari pembakaran bahan bakar batubara berupa gas hasil pembakaran mengalir ke sekeliling tabung yang berisi air (*water-tube boiler*). Air dalam tabung-tabung ini kemudian menyerap panas dari gas pembakaran, berubah menjadi uap dengan tekanan dan temperatur tinggi [27].

Ketel uap banyak digunakan dalam berbagai sektor industri, termasuk pembangkit listrik, industri makanan, farmasi, pupuk, kilang, dan lain-lain [28]. Melalui proses pemanasan, kandungan energi dalam batubara diubah menjadi energi panas di dalam tungku boiler. Sebagian dari energi panas ini ditransfer ke evaporator dan superheater melalui proses radiasi, yang berfungsi untuk memanaskan air menjadi uap, dan kemudian memanaskan uap tersebut menjadi uap panas lanjut (*superheated steam*). Sisa energi panas yang tidak digunakan dalam proses ini berubah menjadi gas buang yang kemudian digunakan untuk pemanasan lanjut di *economizer* [29]. Uap yang dihasilkan memiliki tekanan dan suhu tinggi yang kemudian digunakan untuk berbagai keperluan industri dan pembangkit listrik [30].

Efisiensi boiler sangat dipengaruhi oleh beberapa faktor, termasuk suhu air *economizer* dan *flow steam*. Ketika boiler beroperasi di bawah suhu optimal, akan terjadi penurunan efisiensi akibat heat loss yang signifikan. Oleh karena itu, pengaturan suhu air *economizer* dan *flow steam* yang tepat sangat penting untuk menjaga efisiensi operasional boiler [31].

Optimalisasi suhu air *economizer* dapat meningkatkan efisiensi termal boiler hingga 3,86%, yang berdampak langsung pada pengurangan konsumsi bahan bakar [32]. Selain itu, pengaturan *flow steam* yang stabil dan terukur dapat mengurangi fluktuasi suhu dalam boiler, yang meningkatkan efisiensi operasional secara keseluruhan [33][34].

2.3 Peran *Economizer* dan *Flow Steam* dalam Peningkatan Efisiensi Boiler

Economizer adalah perangkat penukar panas yang memanfaatkan energi panas dari gas buang untuk memanaskan air umpan

boiler sebelum masuk ke *steam drum* [35]. Pemanasan awal ini membantu mengurangi kebutuhan energi panas dalam boiler, menghemat bahan bakar, dan meningkatkan efisiensi sistem pembangkit secara keseluruhan [36][37]. Dengan menaikkan suhu air umpan, maka konsumsi bahan bakar untuk mencapai suhu operasi menjadi lebih rendah, sehingga sistem menjadi lebih efisien dan ramah lingkungan [38][39]. Penelitian lainnya juga menunjukkan bahwa penggunaan *economizer* dapat meningkatkan efisiensi hingga 10% dan menurunkan emisi gas rumah kaca [40]. Selain itu, distribusi suhu gas yang seragam juga meminimalkan pembentukan kerak pada pipa boiler, meningkatkan efisiensi perpindahan panas, serta mengurangi biaya perawatan [41].

Variasi berlebihan pada aliran *flow steam* dapat menyebabkan fluktuasi suhu, menurunkan efisiensi, dan meningkatkan risiko kerusakan komponen boiler [42]. Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa kestabilan *flow steam* berperan penting dalam mengurangi potensi kerusakan dan menekan biaya perawatan [43]. Tantangan utama dalam mencapai efisiensi optimal terletak pada pengaturan simultan antara *flow steam* dan daya keluaran. Dalam hal ini, diperlukan keseimbangan yang tepat agar performa boiler tetap maksimal. Di sisi lain, produksi uap yang optimal berkontribusi besar terhadap peningkatan efisiensi, khususnya melalui pemulihan panas dari gas buang. Pengaturan tekanan dan suhu yang tepat juga mendukung efisiensi operasional, sekaligus mengurangi konsumsi energi dan biaya secara keseluruhan [44]. Dengan demikian, pengelolaan *flow steam* yang efektif menjadi faktor kunci dalam meningkatkan efisiensi energi dan memperpanjang umur pakai peralatan boiler [45].

Yang menarik, interaksi antara suhu air *economizer* dan *flow steam* memiliki peran sinergis dalam mencapai efisiensi sistem boiler secara keseluruhan. Kombinasi pengaturan kedua parameter ini dapat mengurangi kerugian energi, mengoptimalkan kapasitas peningkatan uap, serta mendukung keberlanjutan lingkungan dengan mengurangi konsumsi bahan bakar dan emisi [46][47][48].

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Optimalisasi *flow steam* dan suhu air *economizer* terbukti menjadi strategi yang efektif dalam meningkatkan efisiensi operasional boiler, khususnya pada Pembangkit Listrik Tenaga Uap (PLTU). Data dari berbagai penelitian menunjukkan bahwa kenaikan suhu air *economizer*, seperti yang dicapai oleh Henny & Muh (2022) dari 65°C ke 67°C, mampu meningkatkan efisiensi hingga 4%, sementara pemasangan *economizer* secara umum dapat mendorong peningkatan efisiensi hingga 7,5%–10% (Marga et al., 2023; Purseth & Desai, 2021). Bahkan, peningkatan efisiensi juga dicapai melalui penurunan suhu gas buang (Somchat, 2021).

Sementara itu, *flow steam* yang stabil dan terukur sangat penting untuk menjaga efisiensi sistem. Variasi *flow steam* yang berlebihan terbukti menyebabkan fluktuasi suhu, menurunkan efisiensi, serta meningkatkan risiko kerusakan komponen (Pawel et al., 2021). Sebaliknya, aliran uap yang optimal dan sesuai daya keluaran dapat menekan potensi kerusakan serta biaya perawatan (Ducard et al., 2023), sekaligus meningkatkan efisiensi pemulihan panas dari gas buang (Hao et al., 2020).

Interaksi optimal antara suhu air *economizer* dan *flow steam* menjadi kunci dalam mencapai efisiensi termal yang tinggi. Penggunaan *economizer* tidak hanya meningkatkan efisiensi hingga 10%, tetapi juga mengoptimalkan kapasitas uap dan mengurangi emisi gas rumah kaca.

Rekomendasi praktis dari penelitian ini adalah pentingnya:

- Penerapan sistem kontrol otomatis untuk pengaturan suhu dan *flow steam*;
- Perawatan berkala pada *economizer* untuk memastikan efisiensi perpindahan panas tetap optimal;
- Pelatihan teknisi dan operator mengenai pentingnya pengaturan parameter ini dalam konteks efisiensi energi dan keberlanjutan.

Arah pengembangan riset berikutnya adalah melakukan pengembangan sistem prediksi efisiensi berbasis machine learning

untuk mendukung pengambilan keputusan operasional di PLTU.

Dengan langkah-langkah ini, diharapkan industri energi Indonesia dapat semakin berdaya saing, tidak hanya dalam aspek teknis tetapi juga dalam mendukung target-target keberlanjutan global.

Tabel 1. Ringkasan Pengaruh Suhu Air *Economizer* terhadap Efisiensi Boiler

| No | Peneliti | Pengaruh <i>economizer</i> | Efek terhadap efisiensi |
|----|-------------------------------|--|--------------------------|
| 1 | Henny & Muh (2022) [2] | Kenaikan suhu air <i>economizer</i> 65 ke 67°C | Efisiensi meningkat 4% |
| 2 | Marga et al. (2023) [3] | Setelah pemasangan <i>economizer</i> | Efisiensi meningkat 7,5% |
| 3 | Somchart (2021) [13] | Setiap penurunan suhu gas buang 20 °C | Efisiensi meningkat 1,0% |
| 4 | Purseth & Desai, (2021). [18] | Penambahan <i>economizer</i> | Efisiensi meningkat 10% |

Tabel 2. Pengaruh *Flow Steam* terhadap Efisiensi dan Biaya Operasional

| No | Peneliti | Kondisi <i>flow steam</i> | Dampak |
|----|----------------------------|---|--|
| 1 | Pawel et al. (2021) [42] | Variasi <i>flow steam</i> yang berlebihan | Menyebabkan fluktuasi suhu, penurunan efisiensi, serta meningkatkan risiko kerusakan komponen boiler |
| 2 | Ducardo et al. (2023) [43] | Optimal, sesuai output daya | Mengurangi potensi kerusakan dan menekan |

| | | | |
|---|------------------------|--------------------------------|---|
| 3 | Hao et al. (2020) [44] | <i>Flow steam</i> yang optimal | biaya perawatan, meningkatkan efisiensi, khususnya melalui pemulihan panas dari gas buang |
|---|------------------------|--------------------------------|---|

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil kajian literatur, dapat disimpulkan bahwa suhu air *economizer* dan stabilitas *flow steam* merupakan dua parameter kunci yang sangat mempengaruhi efisiensi operasional boiler Circulating Fluidized Bed (CFB). Peningkatan suhu air *economizer* terbukti mampu meningkatkan efisiensi termal boiler secara signifikan, dengan efisiensi meningkat antara 4% hingga 10% tergantung metode dan kondisi operasional. Sementara itu, pengaturan *flow steam* yang optimal mampu menjaga kestabilan suhu sistem, menurunkan risiko kerusakan komponen, dan mengurangi biaya operasional.

Interaksi yang sinergis antara suhu *economizer* yang tinggi dan aliran uap yang stabil berkontribusi terhadap peningkatan efisiensi energi, penghematan bahan bakar, serta penurunan emisi gas rumah kaca. Oleh karena itu, implementasi sistem kontrol otomatis dan pemantauan real-time terhadap kedua parameter ini menjadi langkah strategis untuk mendukung keberlanjutan operasional pembangkit listrik.

Kajian ini menegaskan pentingnya penerapan teknologi efisiensi energi berbasis kontrol parameter operasional pada PLTU di Indonesia guna menjawab tantangan kebutuhan energi yang terus meningkat serta target pengurangan emisi karbon secara global.

5. REFERENSI

- [1] Alyah, S., dan A. Sulton. 2023. Efficiency analysis of fire tube boiler type at refinery utility unit center for oil and gas human resources development (PPSDM MIGAS) Cepu.

- Jurnal Cakrawala Ilmiah, 2(7): 3109-3118.
- [2] Henny, N. P., dan R. S. Muh. 2022. Analisis pengaruh temperatur air economizer terhadap efisiensi ketel di KM Meratus Kupang. *Venus*, 10(1): 13-25.
- [3] Marga, M., A. Nurul, dan Soeprijanto. 2023. Efisiensi boiler dengan penambahan alat economizer sebagai pre-heater steam. *Jurnal Teknik ITS*, 12(3): 155-160.
- [4] Zhongyuan Liu, S. M., dan J. C. Xiongfeng Pan. 2019. Experimental study on the load response rate under the dynamic combined combustion of PC coal and CFB coal in a CFB boiler. *Fuel*, 236: 225-251.
- [5] Nuraini, A. A., S. Salmi, dan A. H. A. 2018. Efficiency and boiler parameters effects in sub-critical boiler with different types of sub-bituminous coal. *Iran J Sci Technol Trans Mech Eng*: 1-11.
- [6] Nabila, S. T., S. M. Jayusandi, dan A. Lisa. 2022. Analisis efisiensi boiler menggunakan metode langsung di Pembangkit Listrik Tenaga Sampah (PLTSA) Bantargebang. *Journal of Engineering Environmental Energy and Science*, 1(1): 39-48.
- [7] Sulton, A., W. Anggi, dan P. Apriliansyah. 2023. Analisis efisiensi boiler tipe circulating fluidized bed (CFB) dengan metode langsung di PT XY. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 14(2): 101-108.
- [8] Yuge Yao, R. C., Z. Y. Liu, dan H. Y. J. L. Man Zhang. 2019. A method to measure the tube-wall temperature in CFB boilers. *Applied Thermal Engineering*, 153: 493-500.
- [9] Bima, P. R., M. K. Lukas, dan G. Yuspian. 2021. Analisis pengaruh nilai kalor batubara dan excess air terhadap efisiensi boiler di pembangkit listrik PLTU Moramo. *Jurnal Ilmiah Mahasiswa Teknik Mesin*, 6(1): 12-17.
- [10] Sirait, F. Aneka, dan Erwin. 2015. Analisa pengaruh variasi kapasitas uap terhadap efisiensi ketel uap di PT. Sinar Sosro Banyuasin-Sumatera Selatan. *Jurnal Energi dan Manufaktur*, 8(2): 133-140.
- [11] Rif'ah, A., Fahmi, dan Joke. 2021. Pengaruh serrated finned tube terhadap perpindahan panas economizer menggunakan ANSYS CFD. *Series: Engineering and Science*, 7(1): 512-519.
- [12] Moh, M., dan E. Dino. 2023. Analisa efisiensi menggunakan energi alternatif economizer pada boiler. *Formosa Journal of Science and Technology (FJST)*, 2(8): 2225-2238.
- [13] Somchart, C. 2021. Optimum installation of economizer, air heater, and flue gas dryer in biomass boiler. *Computers and Chemical Engineering*, 150(107328): 1-10.
- [14] Chaerul, A. Q., dan A. Joon. 2023. Designing a turning guide vane using CFD for an economizer of a non-furnace boiler. *Processes*, 11(1617): 1-13.
- [15] Doddi, Y., dan R. Puspita. 2023. Meningkatkan efisiensi pengendalian suhu boiler pada PLTSA Burangkeng melalui analisis komprehensif berbasis machine learning. *Jurnal Teknik dan Science*, 2(3): 17-28.
- [16] Siti Rofifa Salim & Herlina. 2024. Analisis Manajemen Risiko Operasional Bongkar Muat Menggunakan Metode Hor. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*.vol 10. No.2. 1070-1076
- [17] Wahyu, A. D., Rivandi, H., Fawwaz, G. Y., & Nawang, K. (2024). DAMPAK EMISI KARBON PESAWAT UDARA: TANTANGAN DAN SOLUSI UNTUK PENERBANGAN BERKELANJUTAN. *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran*, 7(2), 3493–3502.
- [18] Purseth, J. D. S., & Desai, M. S. (2021). PERFORMANCE ANALYSIS AND EFFICIENCY IMPROVEMENT OF BOILER: A

- REVIEW. *International Journal of Engineering Applied Sciences and Technology*, 5(12), 326–331.
- [19] Suryaman & Noordianto. 2023. Analisa Hasil Uji Kompresor Sistem Refrigerasi Menggunakan Inverter. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*.vol 10 No.1. 966-971
- [20] Ravinder, K., Ravindra, J., Mohammad, A. H., & Rajneesh, K. (2019). A simulation model for thermal performance prediction of a coal-fired power plant. *International Journal of Low-Carbon Technologies*, 14, 122–134.
- [21] Nurhasanah & Roswati. (2015). Perbandingan Efisiensi Boiler Awal Operasi dan Setelah Overhaul Terakhir di Unit 5 PLTU Suralaya. *Jurusan Teknik Mesin, Sekolah Tinggi Teknik – PLN*, 2356(1513), 44–48.
- [22] Hendra, S. M. O., Ir, M. F. R., Jamal, G. S. M. D., & Bahrun. (2019). ANALISIS PENGARUH KERAK DARI HASIL PEMBAKARAN BAHAN BAKAR MINYAK RESIDU TERHADAP PRODUKSI UAP PADA BOILER TIPE EMO KAPASITAS 5 TON. *Seminar Nasional Teknologi, Sains dan Humaniora*, 187–193.
- [23] Sidiq & Noor, A. (2022). Pengaruh Co-Firing Biomassa terhadap Efisiensi Boiler PLTU Batubara. *KILAT*, 11(1), 21–31.
- [24] Pengcheng, X., Yanping, Z., Yuanjing, W., & Jizhou, W. (2019). Analysis of an improved economizer system for active control of the coal-fired boiler flue gas temperature. *Energy*, 170, 185–198.
- [25] Russul, H. M., H. A. H., & Ali, H. N. (2021). An Experimental Investigation of The Dynamic Effects in Upper Drum Boiler Under Steam Mass Flow Rate Variation. *Engineering and Technology Journal*, 39(9), 1376–1383.
- [26] Xiaozhou, L., Guangyu, Z., Yu, Z., Taimoor, A., & Mishra, R. (2019). Performance improvement of a Circulating Fluidized Bed Boiler through flow modifications in Primary Air Supply System. *International Journal of COMADEM*, 29–43.
- [27] Imam, U. S., & Djatmiko, I. (2019). Experimental Study: The Effect of Excess Air to Unburn Carbon and Boiler Efficiency Using Coal with Heating Value 4200 kcal/kg at a 500 MW Steam Power Plant. *AIP Conference Proceedings*, 2187(020030), 1–6.
- [28] Uzair, I., & Sarah, F. (2019). Optimization of Fuel in Saturated Steam Boiler through Preheating of Controlled Air-Fuel Mixture. *Mathematics and Engineering Technologies-iCoMET*, 978, 1–6.
- [29] Somchart, C. (2022). Investigation of the use of steam coil preheater to increase the net efficiency of thermal power plant. *Case Studies in Thermal Engineering*, 38(102344), 1–9.
- [30] F. S. D. A. & Purwanto, M. R. (2020). Analysis of Boiler Engine Efficiency Unit 2 PT. PJB UP Paiton. *Journal of Physics: Conference Series*, 1805, 1–11.
- [31] Marcell, B. H., & Nazaruddin, S. Dr. Ir. (2023). ANALISIS EFISIENSI WATER TUBE BOILER MENGGUNAKAN METODE LANGSUNG DI PT. TOBA PULP LESTARI, Tbk PORSEA-SUMATERA UTARA. *Jurnal Teknik Mesin S-1*, 11(2), 49–68.
- [32] Dadang, M., Dani, R., & I., N. (2023). Desain Pembangkit Listrik Turbin Uap Berbahan Bakar Batu Bara yang Efektif dan Ramah Lingkungan. *Jurnal Tekno Insentif*, 17(1), 58–68.
- [33] Arthur, D., Lucas, C., Nayana, A., Suenia, V., Romildo, B., & Karoline, B. (2020). Simultaneous prediction of steam production and reduction efficiency in recovery boilers of pulping process. *Journal of Cleaner Production*, 275(124103), 1–14.

- [34] Carrie, S., Colin, J. Z. M., Jennifer, D., & Masanet, E. (2022). Electrification potential of U.S. industrial boilers and assessment of the GHG emissions impact. *Advances in Applied Energy*, 5(100089), 1–13.
- [35] Wei, T., Huijun, F., Lingen, C., Zhuojun, X., & Junchao, S. (2021). Constructal design for a boiler economizer. *Energy*, 223(120013), 1–10.
- [36] Xiaoqu, H., Tianrun, Y., Dan, Z., Yanbing, D., Jinping, L., & Junjie, Y. (2021). Waste heat utilization from boiler exhaust gases for zero liquid discharge of desulphurization wastewater in coal-fired power plants: Thermodynamic and economic analysis. *Journal of Cleaner Production*, 308(127328), 1–15.
- [37] Saravanan, G. K., Sivapragasam, A., Padmavathy, S., Sivaraj, M., Mebratu, T., & Godwin, A. A. (2022). Analysis of fin characteristics for overall heat transfer in boiler economizer. *Thermal Science*, 26(2), 849–855.
- [38] B. R., Ganapathyraman, G., P., M., Prabakaran, A., & S., P. (2016). Performance Analysis of Economiser, Air Pre-Heater and Electrostatic Precipitator of 210MW Power Plant Boiler. *International Journal of Engineering Research And Advanced Technology (IJERAT)*, 2(4), 7–13.
- [39] Chantasiriwan, & Somchart. (2021). Optimum installation of economizer, air heater, and flue gas dryer in biomass boiler. *Computers and Chemical Engineering*, 150(107328), 1–10.
- [40] Peng, D., Ben, W., Cai, X., & Lei, B. (2022). Research on the Modification of Coal Adaptability and Carbon Emissions Reduction Technology for Coal-Fired Boilers. *Energies*, 15(9533), 1–12.
- [42] Paweł, Z., Natalia, S.-K., Butterweck, A., Michał, S., Stanisław, G., Marta, D.-K., Anna, M., & Jerzy, G. (2021). Comprehensive thermodynamic analysis of steam storage in a steam cycle in a different regime of work: A zero-dimensional and three-dimensional approach. *Journal of Energy Resources Technology*, 143(10), 1–29.
- [43] Ducardo, L., Juan Ricardo, M. V., Alexis, G. S., Juan, E. J. C., Jesús, A. L., Simón, H., & Enrique, C. Q. (2023). Multiobjective Optimizatin of the Energy Efficiency and the Steam Flow in a Bagasse Boiler. *Sustainability*, 15(11290), 1–17.
- [44] Putri, N. A. Z., Yuliani, I., & Widarti, S. (2024). Pengaruh Pemakaian Jenis Bahan Bakar Terhadap Kinerja Boiler dengan Metode Langsung dan Tidak Langsung. *Jurnal Surya Teknik*, 349–356. <https://doi.org/10.37859/jst.v11i1.7324>
- [45] Hao, Z., Yong, D., Yanhua, L., Hao, Z., & Xinbo, Z. (2020). Waste heat recovery from coal-fired boiler flue gas: Performance optimization of a new open absorption heat pump. *Journal Pre-proofs*, 1–32.
- [46] Mahmmod, A.-S., Ali, A., & W. A. (2021). A Series Arrangement of Economizer – Evaporator Flat Solar Collectors as an Enhancement for Solar Steam Generator. *Journal of Ecological Engineering*, 22(5), 121–128.
- [47] Chamorro, M. V. (2024). Operational Control of the Energy Performance of a Water-Tube Boiler Using Intelligent Monitoring of Operating Variables and Parameters. *EUREKA: Physics and Engineering*, (3), 45–60.
- [48] Paweł, M., & P. (2020). Calculation methods of steam boiler operation factors under varying operating conditions with the use of computational thermodynamic modeling. *Energy*, 197(117221), 1–12.

PENGEMBANGAN BUKU KURIKULUM MOBILE UNTUK MENINGKATKAN AKSESIBILITAS DAN EFISIENSI INFORMASI AKADEMIK PRODI TEKNOLOGI INFORMASI

Ahmad Marsehan¹, Nadia Husna²

^{1,2}Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Silampari
Email: ahmadmarsehan10@gmail.com¹, nadia02.id@gmail.com²

ABSTRACT

This study focuses on the development of a mobile-based class book designed to improve the accessibility and effectiveness of academic information dissemination within the Information Technology study program. The main issues addressed include the limited availability of printed class materials, inefficiencies in updating academic information, and the absence of integrated digital solutions that support students and faculty in accessing up-to-date academic guidance.

The primary objective of this research is to design and implement a mobile application that functions as a digital class book, enabling users to access academic information anytime and anywhere. This study adopts a Research and Development (R&D) approach using the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, and Evaluation) to thoroughly develop and evaluate the application.

The Data were collected through questionnaires, interviews, and usability testing involving both students and faculty members. The results indicate that the mobile class book significantly enhances user access to academic content and improves the efficiency of information dissemination. Usability testing revealed high levels of satisfaction regarding interface design, functionality, and ease of use. Furthermore, the digital platform enables faster updates and better alignment with curriculum changes. Overall, this study demonstrates that a mobile-based solution can effectively address the limitations of traditional class material distribution methods and positively contribute to the delivery of academic services in higher education institutions.

Keywords: Curriculum, Mobile Apps, Academic Information, ADDIE, Information Technology

Riwayat Artikel

Tanggal diterima : 22-03-2025

Tanggal revisi : 19-05-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13556>

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah memberikan dampak yang signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk di bidang pendidikan tinggi. Transformasi digital di lingkungan perguruan tinggi menjadi sebuah keniscayaan guna menjawab tantangan efisiensi dan aksesibilitas informasi akademik (Fakih, Weda, & Hash, 2024). Salah satu aspek penting dalam pengelolaan akademik adalah penyediaan buku kurikulum yang menjadi

acuan utama dalam proses pembelajaran, penyusunan rencana studi, serta perencanaan kegiatan akademik lainnya. Namun, pada kenyataannya, buku kurikulum yang masih tersedia dalam bentuk cetak sering kali tidak mudah diakses oleh mahasiswa dan dosen, serta sulit diperbarui secara cepat ketika terjadi perubahan kurikulum.

Permasalahan ini menjadi hambatan dalam mewujudkan sistem informasi akademik yang responsif, efisien, dan adaptif terhadap kebutuhan civitas akademika. Oleh karena itu, diperlukan inovasi berbasis teknologi yang

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



dapat meningkatkan kemudahan akses informasi kurikulum secara fleksibel. Pengembangan buku kurikulum dalam bentuk aplikasi mobile menjadi solusi yang relevan dan kontekstual di era digital saat ini (Gama et al., 2021). Aplikasi mobile memiliki keunggulan dalam hal mobilitas, kemudahan penggunaan, serta kemampuan untuk memperbarui informasi secara real-time. (Kusumaningtyas & Permana, 2025; Rolly & Hakiem, 2015). Penerapan aplikasi pembelajaran mobile telah banyak dilakukan, seperti dalam pengembangan aplikasi belajar aksara Sunda berbasis Android yang menunjukkan bahwa pendekatan mobile learning efektif untuk menyampaikan materi secara fleksibel (Zaliluddin et al., 2020). Urgensi dari penelitian ini terletak pada kebutuhan akan sistem informasi akademik yang terintegrasi, dinamis, dan mendukung proses pembelajaran yang efektif. Pemanfaatan media digital dalam bentuk aplikasi mobile diyakini mampu mengatasi keterbatasan akses dokumen cetak dan mempercepat proses penyebaran informasi kepada seluruh civitas akademika, khususnya di Program Studi Teknologi Informasi Universitas PGRI Silampari (Mujab, Satoto, & Martono, 2014).

Tujuan dari kegiatan ini adalah untuk mengembangkan buku kurikulum berbasis mobile yang dapat diakses dengan mudah oleh mahasiswa dan dosen, serta mempercepat proses distribusi dan pembaruan informasi kurikulum. Rencana pemecahan masalah dilakukan dengan pendekatan *Research and Development* (R&D), menggunakan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), agar pengembangan aplikasi dapat dilakukan secara sistematis, terarah, dan berbasis kebutuhan nyata di lapangan.

Penelitian ini mengacu pada teori sistem informasi, pengembangan perangkat lunak, serta prinsip desain aplikasi mobile yang user-friendly. Menurut Branch (2009), model ADDIE merupakan pendekatan efektif dalam pengembangan produk pembelajaran dan teknologi karena mampu mengakomodasi kebutuhan pengguna secara terstruktur. Selain itu, hasil penelitian (Setiawan & Wibowo (2020) menunjukkan bahwa implementasi aplikasi

mobile di lingkungan kampus dapat meningkatkan efisiensi komunikasi akademik dan kepuasan pengguna. Dengan demikian, pengembangan buku kurikulum mobile diharapkan dapat menjadi inovasi yang berkontribusi terhadap kualitas layanan akademik dan mendukung transformasi digital di perguruan tinggi.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation). Model ini dipilih karena dinilai sistematis dan fleksibel dalam pengembangan produk pembelajaran dan teknologi, serta mampu mengakomodasi kebutuhan pengguna dengan baik (Branch, 2009). Metode ini dipilih karena sesuai untuk menghasilkan produk berupa aplikasi mobile yang bertujuan meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi informasi akademik di lingkungan Program Studi Teknologi Informasi.

a. Rancangan Kegiatan

Kegiatan penelitian terdiri dari lima tahap utama sesuai model ADDIE, yaitu:

Analysis: Identifikasi kebutuhan pengguna terhadap media informasi kurikulum.

Design: Perancangan antarmuka dan struktur aplikasi mobile.

Development: Pengembangan aplikasi menggunakan bahasa pemrograman dan framework yang sesuai.

Implementation: Uji coba aplikasi dalam skala terbatas.

Evaluation: Penilaian efektivitas aplikasi melalui instrumen usability.

b. Ruang Lingkup atau Objek Penelitian

Objek penelitian ini adalah sistem informasi kurikulum dan pengguna aplikasi, yaitu mahasiswa dan dosen Program Studi Teknologi Informasi Universitas PGRI Silampari. Fokus penelitian terletak pada penyediaan akses terhadap dokumen kurikulum dalam bentuk digital berbasis mobile (Sari & Hidayat, 2023).

c. Bahan dan Alat Utama

Bahan: Dokumen kurikulum program studi, termasuk struktur mata kuliah, deskripsi mata kuliah, dan capaian pembelajaran.

Alat: Perangkat lunak yang digunakan dalam pengembangan aplikasi, antara lain:

Flutter: Untuk pengembangan aplikasi mobile lintas platform.

Firebase: Sebagai basis data cloud yang mendukung pembaruan

informasi secara real- time (Putra & Santoso, 2020).

Figma: Untuk desain antarmuka pengguna.

Google Form & SUS Questionnaire: Untuk

pengumpulan data uji coba dan evaluasi pengguna.

d. Tempat Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di Program Studi Teknologi Informasi, Universitas PGRI Silampari. Uji coba aplikasi dilakukan pada lingkungan akademik yang sebenarnya, yaitu di ruang kelas dan laboratorium komputer.

e. Teknik Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan melalui beberapa metode:

- 1) Observasi langsung terhadap akses kurikulum secara konvensional.
- 2) Wawancara dengan dosen dan mahasiswa untuk mengetahui kebutuhan pengguna (Utami & Handayani, 2021).
- 3) Kuesioner usability (System Usability Scale - SUS) untuk evaluasi kepuasan dan kemudahan penggunaan aplikasi.
- 4) Dokumentasi terhadap proses pengembangan dan hasil evaluasi.

f. Definisi Operasional Variabel Penelitian

- 1) Aksesibilitas informasi akademik: Kemudahan mahasiswa dan dosen dalam mengakses informasi kurikulum, diukur melalui frekuensi penggunaan dan persepsi kemudahan akses.
- 2) Efisiensi informasi: Kecepatan dan kepraktisan dalam mendapatkan dan memperbarui data kurikulum, diukur melalui waktu akses dan kemampuan sistem untuk menyajikan informasi terbaru.
- 3) Kepuasan pengguna: Tingkat kenyamanan dan kemudahan pengguna dalam menggunakan aplikasi, diukur melalui skor SUS dan tanggapan kualitatif.

g. Teknik Analisis Data

Data dianalisis secara kuantitatif dan kualitatif:

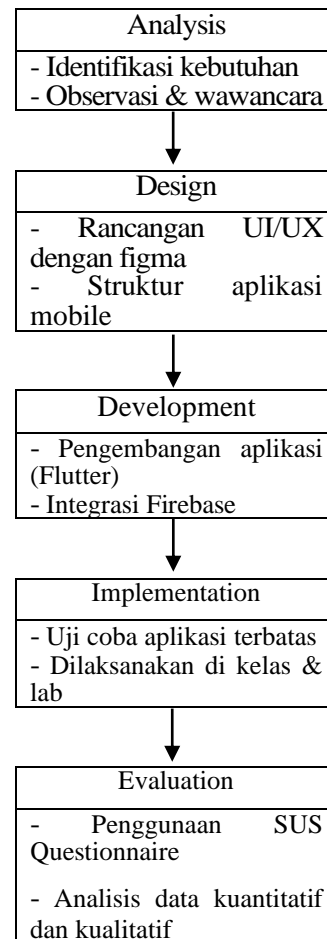
- 1) Analisis kuantitatif: Data dari kuesioner SUS akan diolah untuk mendapatkan nilai rata-rata dan skor keseluruhan usability. Skor

diinterpretasikan untuk menentukan tingkat kepuasan pengguna (kategori Acceptable, Marginal, atau Not Acceptable). (Nugroho & Prasetyo, 2022).

- 2) Analisis kualitatif: Umpan balik dari wawancara dan observasi dianalisis untuk mengetahui aspek-aspek aplikasi yang perlu ditingkatkan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengembangan aplikasi buku kurikulum mobile ini bertujuan untuk menjawab tantangan dalam hal penyampaian informasi akademik yang lebih cepat, fleksibel, dan mudah diakses. Proses pengembangan dilakukan melalui tahapan ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation), yaitu suatu pendekatan sistematis dalam merancang dan mengembangkan media pembelajaran digital (Handoko & Irawan, 2018). Aplikasi dengan fitur-fitur utama seperti pencarian mata kuliah, alur kurikulum per semester, deskripsi mata kuliah, serta informasi profil program studi .



a. Implementasi Aplikasi

Aplikasi dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Java dengan Android Studio sebagai platform pengembangan utama. Desain antarmuka dirancang menggunakan Figma agar memiliki tampilan yang ramah pengguna, sementara Firebase digunakan sebagai basis data untuk mendukung kemampuan pembaruan konten secara real-time (Ardiansyah & Fadli, 2021).

Adapun fitur utama yang berhasil diimplementasikan antara lain:

| No | Fitur Aplikasi | Fungsi |
|----|---------------------------------|---|
| 1 | Pencarian Mata Kuliah | Mencari berdasarkan nama/kode mata kuliah |
| 2 | Kurikulum | Menampilkan alur mata kuliah per semester |
| 3 | Deskripsi Mata Kuliah | Menampilkan SKS, capaian pembelajaran, prasyarat |
| 4 | Tentang Program Studi | Informasi profil prodi, visi-misi, struktur organisasi akademik |
| 5 | Bookmark Mata Kuliah (Opsional) | Menyimpan mata kuliah yang sering diakses |



Gambar 1. Tampilan Beranda Aplikasi Buku Kurikulum Mobile

b. Hasil Pengujian Aplikasi

Pengujian dilakukan terhadap 30 mahasiswa dan 5 dosen dari Program Studi Teknologi Informasi Universitas PGRI Silampari. Data diperoleh melalui kuesioner usability (System Usability Scale) dan

wawancara semi-terstruktur. Aspek yang dinilai meliputi kemudahan akses, efisiensi penggunaan waktu, tampilan antarmuka, dan kepuasan umum pengguna (Iskandar & Rahmat, 2022).

Tabel 1. Rekapitulasi Hasil Kuesioner Mahasiswa

| No | Aspek yang Dinilai | Rata-rata Skor |
|----|---------------------------|----------------|
| 1 | Kemudahan Akses Informasi | 86,7% |
| 2 | Efisiensi Waktu | 83,3% |
| 3 | Tampilan & Navigasi | 70,5% |
| 4 | Kepuasan Umum | 82,5% |

Hasil rekapitulasi menunjukkan bahwa aplikasi memberikan nilai sangat tinggi dalam aspek kemudahan akses informasi, menunjukkan bahwa pengguna merasa lebih mudah dalam mencari dan menemukan informasi akademik dibandingkan dengan media cetak atau PDF statis.

Efisiensi waktu juga menunjukkan hasil yang positif, mengindikasikan bahwa waktu yang dibutuhkan untuk menemukan dan memahami informasi kurikulum berkurang secara signifikan dengan penggunaan aplikasi ini (Prasetyo & Yuliana, 2023).

Meskipun demikian, pada aspek tampilan dan navigasi, nilai yang diperoleh lebih rendah dari aspek lainnya (70,5%). Hasil ini menunjukkan bahwa meskipun aplikasi secara fungsional berjalan baik, namun terdapat beberapa kekurangan dari sisi estetika dan kemudahan navigasi yang perlu ditingkatkan, seperti ukuran huruf, kontras warna, serta susunan menu.

c. Analisis Kualitatif

Dari hasil wawancara, sebagian besar pengguna memberikan tanggapan positif terhadap keberadaan aplikasi ini. Mahasiswa merasa lebih mandiri dalam mengakses informasi kurikulum tanpa harus bergantung pada pengumuman atau dokumen cetak. Dosen juga merasa terbantu karena dapat mengarahkan mahasiswa untuk merujuk pada satu platform terpadu yang selalu diperbarui.

Beberapa masukan dari responden meliputi:

- Penambahan fitur pencarian berdasarkan kategori atau capaian pembelajaran.
- Integrasi dengan Sistem Informasi Akademik kampus agar lebih terhubung (Wibowo & Setiawan, 2020).
- Penambahan fitur dark mode dan preferensi tampilan untuk

meningkatkan kenyamanan visual.

d. Evaluasi dan Dampak

Evaluasi dilakukan dengan metode System Usability Scale (SUS). Berdasarkan skor SUS yang dihitung dari 10 item pertanyaan, mayoritas pengguna memberikan penilaian positif dengan kategori "Acceptable". Artinya, aplikasi ini telah memenuhi ekspektasi dasar pengguna dan dinilai layak digunakan untuk mendukung layanan akademik.

Aplikasi ini juga dinilai mampu meningkatkan efisiensi administratif, khususnya dalam penyebaran informasi kurikulum terbaru yang sebelumnya memerlukan proses cetak ulang atau distribusi manual melalui dosen wali. Pendekatan pengembangan aplikasi berbasis mobile seperti ini juga terbukti efektif dalam studi sebelumnya, yang mengintegrasikan metode analisis data untuk mendukung sistem informasi akademik (Nurfitriani et al., 2022).

4. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan aplikasi buku kurikulum berbasis mobile yang dapat meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi informasi akademik di Program Studi Teknologi Informasi. Hasil pengembangan menunjukkan bahwa aplikasi yang dirancang mampu menyajikan informasi kurikulum secara sistematis, interaktif, dan mudah diakses kapan saja melalui perangkat mobile.

Melalui uji coba terhadap mahasiswa dan dosen, diperoleh bahwa aplikasi ini dinilai efektif dalam mempermudah pencarian informasi mata kuliah, alur semester, serta rincian kurikulum lainnya. Mayoritas responden menyatakan bahwa aplikasi memberikan kemudahan yang signifikan dibandingkan media konvensional seperti dokumen cetak atau file PDF.

demikian, pengembangan buku kurikulum mobile ini terbukti dapat meningkatkan aksesibilitas dan efisiensi informasi akademik. Aplikasi ini juga memiliki potensi untuk terus dikembangkan, baik dari sisi fitur maupun integrasi dengan sistem akademik yang lebih luas.

5. REFERENSI

- [1] Gama, A. W. O., Junieargo, J. T., & Putri, D. A. P. A. G. (2021). Rancang Bangun Sistem Informasi Akademik Berbasis Mobile Application. *TIERS: Technology and Engineering Research Journal*, 2(1), 31–40.
- [2] Fakhri, M., Weda P, I. P. G., & Hash, A. C. R. (2024). Pengembangan Sistem E-Learning Berbasis Mobile untuk Meningkatkan Aksesibilitas Pendidikan Jarak Jauh. *Jurnal ESIT (E-Bisnis, Sistem Informasi, Teknologi Informasi)*, 19(3), 76–80.
- [3] Kusumaningtyas, J. A., & Permana, Z. R. P. (2025). Pengembangan Aplikasi Mobile untuk Memfasilitasi Pencarian Buku di Smart Library. *Librarium: Library and Information Science Journal*, 2(1), 1–7.
- [4] Rolly, N., & Hakiem, N. (2015). Pengembangan Aplikasi Mobile Academic Information System (AIS) Berbasis Android untuk Pengguna Dosen dan Mahasiswa. *Jurnal Teknik Informatika*, 8(1), 16–21.
- [5] Mujab, S., Satoto, K. I., & Martono, K. T. (2014). Perancangan Sistem Informasi Akademik Berbasis Mobile Web Studi Kasus di Program Studi Sistem Komputer Universitas Diponegoro. *Jurnal Teknologi dan Sistem Komputer*, 2(1), 119–129.
- [6] Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York: Springer Science & Business Media.
- [7] Nugroho, A. S., & Prasetyo, E. (2022). Evaluasi Usability Aplikasi Mobile Learning Menggunakan Metode System Usability Scale (SUS). *Jurnal Informatika dan Komputer*, 27(2), 45–52.
- [8] Utami, L. R., & Handayani, P. W. (2021). Analisis Peran Mobile Application dalam Transformasi Digital Perguruan Tinggi. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 14(1), 12–19.
- [9] Sari, R. M., & Hidayat, A. (2023). Perancangan Aplikasi Kurikulum Interaktif Berbasis Mobile pada Program

- Studi Informatika. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer (JPTIIK)*, 7(4), 1183–1190.
- [10] Putra, A. N., & Santoso, B. (2020). Sistem Informasi Akademik Terintegrasi Berbasis Android: Studi Kasus Fakultas Teknik. *Jurnal Sistem Informasi*, 9(2), 65–71.
- [11] Ardiansyah, M., & Fadli, R. (2021). Pengembangan Aplikasi Informasi Akademik Menggunakan Flutter dan Firebase. *Jurnal Teknologi dan Rekayasa*, 16(3), 201–210.
- [12] Prasetyo, A., & Yuliana, S. (2023). Mobile Learning System untuk Meningkatkan Efektivitas Pembelajaran Mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Teknologi Informasi dan Komunikasi (JPTIK)*, 5(2), 45–53.
- [13] Handoko, R. Y., & Irawan, A. (2018). Penggunaan Model ADDIE dalam Pengembangan Media Pembelajaran Digital. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 5(1), 13–22.
- [14] Wibowo, H., & Setiawan, A. (2020). Sistem Informasi Akademik Mobile Berbasis Android dan Keamanan Data Mahasiswa. *Jurnal Sistem Informasi dan Komputer Akuntansi (JSIKA)*, 3(1), 22–29.
- [15] Iskandar, A., & Rahmat, M. (2022). Evaluasi Kualitas Aplikasi Mobile dengan Pendekatan User Experience (UX). *Jurnal Teknologi Informasi dan Multimedia*, 11(1), 54–62.
- [16] Zaliluddin, D., Sujadi, H., Nurdiana, N., & Hendriyanto, F. (2020). Rancang bangun aplikasi belajar aksara Sunda berbasis Android. *Jurnal J-ENSITEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 6(2), 75–83.
- [17] Nurfitriani, N., Murniati, W., Ashari, M. A., & Fadli, S. F. (2022). Penerapan Metode Single Exponential Smoothing dalam Pengembangan Aplikasi Prediksi Jumlah Siswa Baru. *J-ENSITEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 8(2), 629–638.

OPTIMASI STRATEGI TOOLPATH CNC DENGAN GREY RELATIONAL ANALYSIS UNTUK MENINGKATKAN EFISIENSI PEMESINAN

Sihmaulana Dwianto¹, Tunjung Genarsih² Ardianto Syaifur Rohman³
^{1,2,3}Program Studi Teknologi Rekayasa Mekatronika, Politeknik Negeri Jember
Email: sihmaulana@polije.ac.id

ABSTRACT

This study aims to optimize CNC toolpath strategies using Grey Relational Analysis (GRA) to enhance machining efficiency. Five toolpath strategies—Zigzag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, One Way, and True Spiral—are systematically evaluated based on spindle speed, feed rate, depth of cut, and step over, assessing their impact on machining performance. The machining process is conducted using a 3-axis CNC milling machine equipped with a 10 mm diameter endmill tool. Data collection is performed through Mastercam software, where numerical simulations precede the application of Grey Relational Coefficient (GRC) and Grey Relational Grade (GRG) computations to determine the optimal toolpath strategy. The results indicate that the Zigzag toolpath, configured with a spindle speed of 1300 RPM, feed rate of 700 mm/min, depth of cut of 0.8 mm, and step over of 8 mm, achieves the highest GRG value, signifying superior machining efficiency. Further analysis demonstrates that optimizing toolpath parameters significantly enhances process stability, reduces energy consumption, and shortens production cycle time, contributing to increased productivity in CNC machining operations. These findings provide valuable insights for the manufacturing industry, presenting a data-driven framework for selecting optimal toolpath strategies to improve machining precision, operational cost efficiency, and sustainable production practices.

Keywords: CNC machining, toolpath optimization, Grey Relational Analysis, Grey Relational Coefficient, Grey Relational Grade, Mastercam, machining efficiency

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 19-03-2025

Tanggal revisi : 27-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13808>

1. PENDAHULUAN

Industri manufaktur modern telah mengalami transformasi signifikan dalam beberapa dekade terakhir, terutama dengan adopsi teknologi *Computer Numerical Control* (CNC) yang semakin meluas (Yao et al., 2024). Perkembangan teknologi ini telah

merevolusi proses produksi komponen mekanik dengan menawarkan tingkat presisi, konsistensi, dan efisiensi yang jauh lebih tinggi dibandingkan metode konvensional (Mani and Krishnan N, 2024). Tidak hanya di manufaktur, pendekatan optimasi berbasis komputasi seperti ini juga semakin krusial

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



dalam bidang lain, termasuk rekayasa struktur tahan gempa, di mana efisiensi desain dan prediksi kinerja menjadi faktor penentu keselamatan. Dalam konteks ini, pemesinan CNC telah menjadi tulang punggung bagi berbagai sektor industri mulai dari otomotif, aerospace, hingga peralatan medis (Kumar et al., 2023). Namun, di balik kemajuan teknologi ini tersimpan berbagai tantangan kompleks yang memerlukan pendekatan sistematis untuk pemecahannya, khususnya dalam hal optimasi proses pemotongan.

Salah satu aspek krusial dalam pemesinan CNC adalah strategi *toolpath*, yaitu jalur pahat yang ditempuh oleh alat potong selama proses pemotongan (Koç, 2021). *Toolpath* ini pada dasarnya merupakan pola gerakan alat potong terhadap material *workpiece* selama proses pemesinan berlangsung (Liao and Huang, 2024). Pemilihan strategi *toolpath* yang tepat dapat secara signifikan mengurangi waktu pemesinan, menurunkan konsumsi energi, dan memperpendek lintasan pemotongan (Feng et al., 2021). Hal ini secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan produktivitas dan efisiensi dalam proses manufaktur.

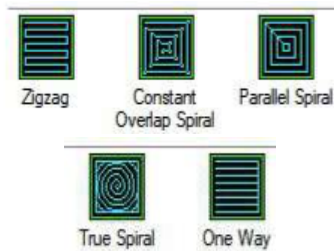
Kompleksitas optimasi *toolpath* semakin meningkat ketika mempertimbangkan berbagai parameter pemotongan yang saling berinteraksi secara dinamis (Pajaziti et al., 2025). Parameter-parameter kunci seperti *spindle speed* (kecepatan putar), *feed rate* (kecepatan pemakanan), *depth of cut* (kedalaman pemotongan), dan *step over* (lebar penyapuan) membentuk suatu sistem multivariabel yang saling terkait. Interaksi antara parameter-parameter ini seringkali bersifat non-linear, dimana perubahan pada satu parameter bisa memberikan efek yang tidak proporsional terhadap parameter lainnya (Pangestu et al., 2021). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan sistematis untuk menentukan kombinasi parameter yang paling efektif. Peningkatan produktivitas dalam industri juga dapat dilakukan dengan metode Objective Matrix (OMAX), yang bertujuan mengidentifikasi faktor-faktor yang paling berpengaruh dalam efisiensi produksi dan perencanaan peningkatan kinerja (Saputra & Satoto, 2024).

Banyaknya variabel yang perlu dipertimbangkan dalam optimasi *toolpath* menuntut pendekatan analitis yang lebih canggih dibandingkan metode tradisional. Pendekatan konvensional seperti *Design of Experiments* (DoE) atau *Response Surface Methodology* (RSM) seringkali menemui keterbatasan ketika berhadapan dengan sistem yang memiliki tingkat ketidakpastian tinggi dan hubungan non-linear antara variabel input dan output. Salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis multi-kriteria adalah Grey Relational Analysis (GRA). Metode ini memungkinkan evaluasi performa dari beberapa variabel sekaligus, bahkan dalam kondisi yang tidak sepenuhnya pasti atau linier (Chakraborty et al., 2023). Dalam penelitian ini, perangkat lunak Mastercam digunakan untuk melakukan simulasi dan memperoleh data kuantitatif terkait waktu pemesinan dan panjang lintasan (*path length*) dari berbagai strategi *toolpath*, seperti *Zigzag*, *Spiral* (*Parallel, Constant Overlap, True Spiral*), dan *One Way*. Data tersebut kemudian dianalisis menggunakan GRA untuk mengevaluasi hubungan antara parameter-parameter yang ada dan memberikan peringkat berdasarkan Grey Relational Grade (GRG). Selain itu, pendekatan berbasis Artificial Neural Network (ANN) juga sering digunakan dalam optimasi teknik, seperti dalam pemodelan dimensi balok dan kolom bangunan untuk meningkatkan ketahanan struktural terhadap beban dinamis (Prasetiawan, 2022).

Pemilihan GRA didasarkan pada kemampuannya dalam menangani sistem yang bersifat tidak pasti atau tidak sepenuhnya diketahui, sehingga dapat memberikan penilaian objektif terhadap alternatif strategi yang tersedia. Dengan demikian, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi strategi *toolpath* yang paling optimal berdasarkan parameter-parameter utama yang memengaruhi efisiensi pemesinan. Hasil dari studi ini diharapkan dapat memberikan kontribusi nyata bagi industri manufaktur, khususnya dalam meningkatkan efisiensi proses produksi dan menurunkan biaya operasional.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan Grey Relational Analysis (GRA) untuk mengoptimalkan strategi toolpath dalam pemesinan CNC. Simulasi proses pemesinan dilakukan menggunakan perangkat lunak Mastercam untuk memvisualisasikan strategi toolpath yang diuji, seperti Zigzag, Constant Overlap Spiral, dan lainnya. Gambar 1 menunjukkan contoh tampilan toolpath pada proses pocket milling. Visualisasi ini membantu dalam memahami arah gerakan pahat terhadap benda kerja serta estimasi waktu pemesinan dan panjang lintasan. Data yang diperoleh dari simulasi inilah yang selanjutnya digunakan dalam



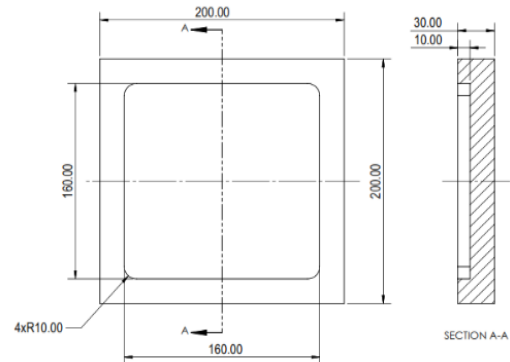
Gambar 1. Strategi Toolpath pada proses pocket milling yang disimulasikan di Mastercam.

perhitungan Grey Relational Analysis (GRA) untuk menentukan efisiensi setiap strategi.

Benda kerja yang digunakan sebagai acuan dalam proses pemesinan memiliki spesifikasi yang sesuai dengan standar yang umum diterapkan dalam industri manufaktur. Pemesinan dilakukan menggunakan endmill dengan diameter 10 mm, yang dipilih karena ketersediaannya yang luas di pasaran serta penggunaannya yang sering dalam berbagai proses machining. Endmill ini memiliki karakteristik pemotongan yang stabil, sehingga memungkinkan pengerjaan yang presisi dan efisien dalam aplikasi pocket milling.

Selain itu, pemilihan diameter ini mempertimbangkan kompatibilitas dengan parameter pemesinan yang telah ditetapkan dalam penelitian, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif dengan strategi toolpath lainnya. Dengan menggunakan tooling yang banyak digunakan dalam industri, penelitian ini dapat merefleksikan kondisi nyata dalam proses produksi dan memberikan rekomendasi yang dapat diterapkan secara praktis untuk meningkatkan efisiensi machining. Benda kerja yang digunakan dalam simulasi memiliki bentuk

geometri standar seperti ditunjukkan pada Gambar 2. Model ini dirancang agar sesuai dengan



Gambar 2. Model benda kerja yang digunakan dalam simulasi pemesinan CNC.

kebutuhan pocket milling dan memudahkan pengambilan data waktu pemesinan dan lintasan untuk setiap strategi toolpath yang diuji.

Metode penelitian terdiri dari beberapa tahapan, mulai dari pengambilan data hingga analisis dan optimasi parameter pemesinan. Metode Grey Relational Analysis (GRA) dipilih dalam penelitian ini karena kemampuannya dalam menangani sistem abu-abu, di mana terdapat ketidakpastian dalam hubungan antar variabel. Dalam proses pemesinan CNC, faktor-faktor seperti spindle speed, feed rate, depth of cut, dan step over saling berinteraksi dengan cara yang kompleks, sehingga sulit untuk menentukan parameter optimal dengan pendekatan konvensional. GRA memungkinkan evaluasi multi-kriteria dengan membandingkan berbagai strategi toolpath berdasarkan waktu pemesinan dan path length, sehingga menghasilkan peringkat yang membantu dalam pemilihan kombinasi parameter terbaik. Dengan mempertimbangkan ketidakpastian yang ada dalam sistem ini, GRA memberikan solusi yang lebih akurat dibandingkan metode optimasi lain yang membutuhkan data yang lebih pasti dan linier.

2.1 Pengumpulan data

Penelitian ini dimulai dengan pengumpulan data menggunakan Mastercam, yang digunakan untuk memperoleh informasi waktu pemesinan dan path length dari lima strategi toolpath: Zigzag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, One Way, dan True Spiral. Setelah data diperoleh, dilakukan normalisasi untuk memastikan semua nilai berada dalam rentang yang sama dan dapat dibandingkan secara objektif. Untuk parameter yang digunakan

dalam pengumpulan data di mastercam seperti pada tabel 1

Tabel 1. Parameter pengerjaan

| No | Spindle speed | Feed Rate | Depth Of Cut | Step Over |
|----|---------------|-----------|--------------|-----------|
| 1 | 1000 | 400 | 0.2 | 2 |
| 2 | 1100 | 500 | 0.4 | 4 |
| 3 | 1200 | 600 | 0.6 | 6 |
| 4 | 1300 | 700 | 0.8 | 8 |

Data yang terdapat dalam Tabel 1 akan dikombinasikan dengan berbagai strategi toolpath pemesinan, seperti Zigzag, Constant Overlap Spiral, Parallel Spiral, One Way, dan True Spiral. Setiap strategi akan dievaluasi pemilihan parameter pemesinan seperti spindle speed, feed rate, depth of cut, dan step over dalam penelitian ini didasarkan pada kombinasi nilai-nilai yang umum digunakan dalam praktik industri serta merujuk pada studi-studi sebelumnya yang relevan. (Pajaziti et al.,2025) menggaris bawahi bahwa variasi parameter-parameter ini sangat memengaruhi efisiensi waktu dan performa lintasan pada proses pemesinan CNC, khususnya dalam konteks penghematan waktu dan energi. Selain itu, studi oleh (Pangestu et al.,2021) juga menekankan bahwa pemilihan parameter pemotongan yang tepat secara signifikan dapat meningkatkan keberlanjutan proses pemesinan melalui optimalisasi lintasan dan pengurangan keausan alat. Selain itu, Chakraborty et al. (2023) menjelaskan bahwa pemilihan parameter yang tepat menjadi kunci dalam menghasilkan evaluasi multi-kriteria yang akurat melalui pendekatan Grey Relational Analysis. Oleh karena itu, parameter yang digunakan dalam simulasi—seperti kecepatan spindle berkisar antara 1000 hingga 1300 RPM, feed rate antara 400–700 mm/min, serta variasi depth of cut dan step over—dipilih untuk merepresentasikan rentang realistis yang sesuai dengan kondisi aktual di industri dan juga sejalan dengan pendekatan eksperimental dalam literatur tersebut. Dengan menganalisis hubungan antara parameter tersebut dan hasil simulasi yang diperoleh, penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi kombinasi yang menghasilkan waktu pengerjaan paling cepat serta path length paling pendek dalam proses pemesinan CNC

2.2 Normalisasi data

Normalisasi data dilakukan untuk menyelaraskan skala dari parameter yang berbeda

sehingga perbandingan antar nilai menjadi lebih akurat. Dalam penelitian ini, normalisasi diterapkan pada dua aspek utama, yaitu waktu pemesinan dan path length, guna memastikan bahwa semua data berada dalam rentang yang seragam antara 0 dan 1. Proses normalisasi ini bertujuan untuk menghilangkan pengaruh satuan yang berbeda serta memungkinkan evaluasi yang lebih objektif terhadap efisiensi strategi toolpath.

Metode normalisasi yang digunakan mengikuti pendekatan min-max normalization, di mana setiap nilai dalam dataset dikonversi berdasarkan selisih antara nilai maksimum dan minimum dalam kumpulan data. Normalisasi dilakukan menggunakan persamaan:

$$x_i'(k) = \frac{\max x(k) - x_i(k)}{\max x(k) - \min x(k)} \quad (1)$$

Dengan pendekatan ini, nilai terkecil dalam dataset akan bernilai 1 sebagai referensi optimal, sementara nilai terbesar dalam dataset akan bernilai 0. Sehingga, semakin kecil waktu pemesinan atau semakin pendek path length, semakin tinggi nilai normalisasi yang diperoleh, yang mencerminkan bahwa strategi toolpath tersebut lebih efisien dibandingkan yang lain.

2.3 Grey Relational Coefficient (GRC)

Grey Relational Coefficient (GRC) merupakan parameter yang digunakan dalam metode Grey Relational Analysis (GRA) untuk mengukur tingkat kedekatan antara setiap strategi toolpath dengan solusi optimal yang diinginkan. Perhitungan GRC dilakukan setelah proses normalisasi data, di mana setiap nilai dari variabel yang dianalisis telah disesuaikan agar berada dalam rentang 0 hingga 1. Nilai GRC menunjukkan seberapa besar pengaruh suatu parameter terhadap hasil pemesinan CNC yang optimal, yaitu berdasarkan waktu pemesinan dan panjang lintasan (path length).

Dalam perhitungan GRC, nilai selisih absolut antara data normalisasi dengan nilai ideal harus dihitung terlebih dahulu. Rumus untuk memperoleh nilai GRC adalah sebagai berikut:

$$GRC_i = \frac{\Delta_{min} + \zeta \Delta_{max}}{\Delta_i + \zeta \Delta_{max}} \quad (2)$$

Semakin tinggi nilai GRC suatu strategi toolpath, semakin dekat strategi tersebut dengan parameter optimal yang menghasilkan efisiensi pemesinan terbaik. Setelah GRC dihitung untuk setiap variabel, nilai-nilai ini kemudian digunakan dalam perhitungan Grey Relational Grade (GRG) guna

menentukan peringkat toolpath berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan. Pendekatan ini memastikan bahwa pemilihan parameter dalam proses pemesinan CNC dilakukan secara sistematis dan objektif, sehingga menghasilkan kombinasi yang paling efisien dalam mengoptimalkan waktu pemesinan dan path length.

2.4 Grey Relational Grade (GRG)

Grey Relational Grade (GRG) merupakan parameter yang digunakan untuk menentukan tingkat keterkaitan antara setiap alternatif dengan kondisi optimal yang telah ditetapkan dalam analisis Grey Relational Analysis (GRA). GRG dihitung berdasarkan nilai Grey Relational Coefficient (GRC) yang telah diperoleh dari setiap variabel yang dianalisis, seperti waktu pemesinan dan path length. Nilai GRG yang lebih tinggi menunjukkan bahwa suatu kombinasi parameter memiliki hubungan yang lebih kuat dengan referensi optimal dibandingkan dengan alternatif lainnya. Dengan demikian, GRG berfungsi sebagai indikator utama dalam pemilihan strategi yang paling efisien dalam pemesinan CNC.

Dalam perhitungan GRG, setiap nilai GRC dirata-ratakan untuk mendapatkan satu nilai tunggal yang merepresentasikan kinerja keseluruhan dari setiap kombinasi parameter. Rumus untuk menghitung GRG adalah sebagai berikut:

$$GRG = (1/n) \times \sum GRC_i \quad (3)$$

Proses ini dilakukan untuk memberikan bobot yang sama terhadap seluruh faktor yang memengaruhi pemesinan, sehingga keputusan dapat diambil berdasarkan evaluasi yang objektif. Jika suatu strategi toolpath memiliki GRG tertinggi, maka strategi tersebut dianggap sebagai pilihan terbaik karena memiliki tingkat kedekatan paling tinggi dengan nilai referensi yang diinginkan.

Nilai GRG yang diperoleh dalam analisis ini dapat digunakan untuk menentukan parameter optimal dalam pemesinan CNC, sehingga memungkinkan peningkatan efisiensi produksi, pengurangan waktu pemesinan, serta minimisasi konsumsi energi dan biaya. Oleh karena itu, metode ini menjadi pendekatan yang sistematis dan akurat dalam pemilihan parameter pemesinan berdasarkan evaluasi multi-kriteria

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses pengambilan data dilakukan menggunakan software Mastercam, yang digunakan untuk mensimulasikan berbagai strategi toolpath dalam pemesinan CNC. Dari hasil simulasi yang telah dilakukan, diperoleh data terkait waktu pemesinan dan panjang lintasan (path length) untuk masing-masing parameter yang diuji. Data tersebut kemudian dianalisis guna menentukan kombinasi parameter yang memberikan efisiensi pemesinan terbaik. Hasil dari seluruh percobaan terdapat dalam tabel 2, yang menampilkan perbandingan antara berbagai strategi toolpath berdasarkan kriteria yang telah ditetapkan dalam penelitian ini.

Tabel 2. Hasil simulasi

| No | Para meter | Toolpath Strategy | Waktu (.. H..m) | Path Lenght |
|----|---------------|-------------------------------|--------------------|-----------------|
| 1 | 1 | Zigzag | 48 H 12 m | 1154508.09 8 |
| 2 | 2 | Zigzag | 10 H 36 m | 316370.12 |
| 3 | 3 | Zigzag | 06 H 01 m | 156039.14 |
| 4 | 4 | Zigzag | 02 H 15 m | 93040.6 |
| 5 | 1 | Constant Overlap spiral | 43 H 56 m | 1052016.73 |
| 6 | 2 | Constant Overlap spiral | 10 H 25 m | 310812.09 |
| 7 | 3 | Constant Overlap spiral | 04 H 34 m | 162586.67 |
| 8 | 4 | Constant Overlap spiral | 02 H 24 m | 99325.19 |
| 9 | 1 | Paralel Spiral | 48 H 37 m | 1164926.36 |
| 10 | 2 | Paralel Spiral | 10 H 43 m | 319800.108 |
| 11 | 3 | Paralel Spiral | 04 H 26 m | 157958.29 |
| 12 | 4 | Paralel Spiral | 02 H 17 m | 94299.94 |
| 13 | 1 | One Way | 54 H 42 m | 1228968.09 |
| 14 | 2 | One Way | 12 H 14 m | 335610.12 |
| 15 | 3 | One Way | 05 H 08 m | 165039.14 |
| 16 | 4 | One Way | 02 H 41 m | 98170.46 |
| 17 | 1 | True spiral | 71 H 31 m | 1714239.34 4 |
| 18 | 2 | True spiral | 15 H 20 m | 458270.993 |

| | | | | |
|----|---|-------------|-----------|------------|
| 19 | 3 | True spiral | 06 H 12 m | 221266.57 |
| 20 | 4 | True spiral | 03 H 07 m | 129492.557 |

Berdasarkan data yang telah diperoleh dalam Tabel 2, langkah awal yang akan dilakukan adalah proses normalisasi menggunakan MATLAB. Normalisasi seperti pada tabel 3 ini bertujuan untuk menyelaraskan skala setiap variabel sehingga memungkinkan perbandingan data yang lebih objektif dan akurat.

Tabel 3. Normalisasi waktu dan path length

| No | Waktu (.. H..m) | Path Length | Waktu Normalisasi | Path length Normalisasi |
|----|--------------------|-------------|----------------------|----------------------------|
| | | | si | i |
| 1 | 48 H 12 m | 1154508.098 | 0.33662 | 0.34526 |
| 2 | 10 H 36 m | 316370.12 | 0.87945 | 0.86224 |
| 3 | 06 H 01 m | 156039.14 | 0.94562 | 0.96114 |
| 4 | 02 H 15 m | 93040.6 | 1 | 1 |
| 5 | 43 H 56 m | 1052016.73 | 0.39822 | 0.40848 |
| 6 | 10 H 25 m | 310812.09 | 0.8821 | 0.86567 |
| 7 | 04 H 34 m | 162586.67 | 0.96655 | 0.9571 |
| 8 | 02 H 24 m | 99325.19 | 0.99783 | 0.99612 |
| 9 | 48 H 37 m | 1164926.36 | 0.33061 | 0.33883 |
| 10 | 10 H 43 m | 319800.108 | 0.87777 | 0.86013 |
| 11 | 04 H 26 m | 157958.29 | 0.96848 | 0.95996 |
| 12 | 02 H 17 m | 94299.94 | 0.99952 | 0.99922 |
| 13 | 54 H 42 m | 1228968.09 | 0.24278 | 0.29933 |
| 14 | 12 H 14 m | 335610.12 | 0.85587 | 0.85038 |
| 15 | 05 H 08 m | 165039.14 | 0.95837 | 0.95559 |
| 16 | 02 H 41 m | 98170.46 | 0.99374 | 0.99684 |
| 17 | 71 H 31 m | 1714239.344 | 0 | 0 |
| 18 | 15 H 20 m | 458270.993 | 0.81112 | 0.77472 |
| 19 | 06 H 12 m | 221266.57 | 0.94297 | 0.92091 |
| 20 | 03 H 07 m | 129492.557 | 0.98749 | 0.97752 |

Dengan menerapkan teknik normalisasi, setiap nilai dalam dataset akan dikonversi ke dalam rentang 0 hingga 1, sehingga faktor-faktor dengan skala berbeda dapat dianalisis secara seimbang. Proses ini sangat penting dalam analisis Grey Relational Analysis (GRA), karena memastikan bahwa tidak ada variabel yang mendominasi hasil hanya karena memiliki satuan atau nilai yang lebih besar dibandingkan variabel lainnya. Dengan menggunakan pendekatan matematis, normalisasi ini akan memberikan fondasi yang lebih kuat dalam proses evaluasi dan optimasi parameter pemesinan yang sedang dikaji.

Setelah dilakukan normalisasi data, langkah selanjutnya adalah perhitungan GRC seperti pada

tabel 4, yang digunakan untuk mengevaluasi keterkaitan antara setiap kombinasi parameter pemesinan dengan hasil yang optimal. GRC akan menentukan sejauh mana masing-masing strategi toolpath mendekati kondisi ideal berdasarkan waktu pemesinan dan panjang lintasan.

Tabel 4. Grey Relational Coefficient (GRC)

| No | Toolpath Strategy | GRC Waktu Pemesina | GRC Path Length |
|----|-------------------|--------------------|-----------------|
| n | | | |
| 1 | Zigzag | 0.42978 | 0.433 |
| 2 | Zigzag | 0.80574 | 0.784 |
| 3 | Zigzag | 0.90191 | 0.92789 |
| 4 | Zigzag | 1 | 1 |
| | Constant | 0.45381 | 0.45808 |
| 5 | Overlap spiral | | |
| | Constant | 0.80919 | 0.78824 |
| 6 | Overlap spiral | | |
| | Constant | 0.9373 | 0.92098 |
| 7 | Overlap spiral | | |
| | Constant | 0.99569 | 0.99231 |
| 8 | Overlap spiral | | |
| 9 | Paralel Spiral | 0.42757 | 0.4306 |
| 10 | Paralel Spiral | 0.80356 | 0.78141 |
| 11 | Paralel Spiral | 0.9407 | 0.92585 |
| 12 | Paralel Spiral | 0.99904 | 0.99845 |
| 13 | One Way | 0.3977 | 0.41643 |
| 14 | One Way | 0.77624 | 0.76968 |
| 15 | One Way | 0.92315 | 0.91842 |
| 16 | One Way | 0.98764 | 0.99371 |
| 17 | True spiral | 0.33333 | 0.33333 |
| 18 | True spiral | 0.72581 | 0.68939 |
| 19 | True spiral | 0.89762 | 0.86342 |
| 20 | True spiral | 0.97559 | 0.95697 |

Dari data yang diperoleh pada tabel 4, dapat dianalisis bahwa strategi toolpath dengan nilai GRC tertinggi memiliki hubungan paling kuat dengan solusi optimal yang diinginkan dalam pemesinan CNC. Nilai-nilai ini kemudian digunakan untuk menentukan Grey Relational Grade (GRG), yang akan memberikan peringkat

akhir terhadap masing-masing kombinasi parameter dan mengidentifikasi strategi paling efisien.

Setelah perhitungan Grey Relational Coefficient (GRC) dilakukan, tahap selanjutnya adalah analisis Grey Relational Grade (GRG) untuk menentukan peringkat akhir dari setiap strategi toolpath berdasarkan efisiensi pemesinan. GRG memberikan gambaran keseluruhan mengenai performa masing-masing strategi dengan mempertimbangkan kedekatannya terhadap nilai optimal yang telah ditetapkan.

Hasil perhitungan GRG memungkinkan evaluasi yang lebih sistematis terhadap setiap kombinasi parameter pemesinan. Strategi toolpath yang memiliki nilai GRG tertinggi dapat diidentifikasi sebagai strategi yang paling efisien dalam meningkatkan efektivitas proses machining. Dengan demikian, GRG berperan sebagai indikator utama dalam proses pemilihan parameter terbaik yang dapat diterapkan untuk meningkatkan produktivitas dan mengoptimalkan penggunaan sumber daya.

Tabel 5. Grey Relational Grade (GRG)

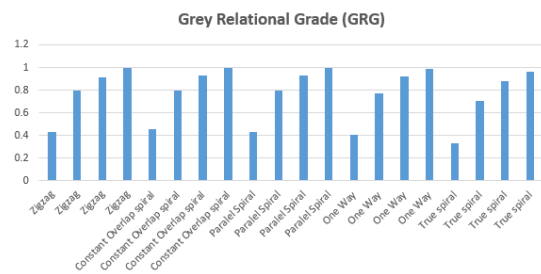
| No | Toolpath Strategy | GRG |
|----|-------------------------|---------|
| 1 | Zigzag | 0.43139 |
| 2 | Zigzag | 0.79487 |
| 3 | Zigzag | 0.9149 |
| 4 | Zigzag | 1 |
| 5 | Constant Overlap spiral | 0.45594 |
| 6 | Constant Overlap spiral | 0.79871 |
| 7 | Constant Overlap spiral | 0.92914 |
| 8 | Constant Overlap spiral | 0.994 |
| 9 | Paralel Spiral | 0.42909 |
| 10 | Paralel Spiral | 0.79248 |
| 11 | Paralel Spiral | 0.93327 |
| 12 | Paralel Spiral | 0.99874 |
| 13 | One Way | 0.40707 |
| 14 | One Way | 0.77296 |
| 15 | One Way | 0.92078 |
| 16 | One Way | 0.99068 |
| 17 | True spiral | 0.33333 |
| 18 | True spiral | 0.7076 |
| 19 | True spiral | 0.88052 |
| 20 | True spiral | 0.96628 |

Dari hasil perhitungan Grey Relational Grade (GRG) seperti pada tabel 5 untuk masing-masing

strategi toolpath, terlihat bahwa Zigzag dengan parameter ke-4 memiliki nilai GRG tertinggi, yaitu 1, menunjukkan bahwa strategi ini memiliki hubungan paling kuat dengan solusi optimal dalam pemesinan CNC. Setelah dilakukan normalisasi data, perhitungan Grey Relational Coefficient (GRC), dan analisis Grey Relational Grade (GRG), hasil yang diperoleh menunjukkan bagaimana setiap strategi toolpath berkontribusi terhadap efisiensi pemesinan CNC.

Proses normalisasi data bertujuan untuk menyelaraskan skala parameter pemesinan sehingga setiap nilai dapat dibandingkan secara objektif. Dengan normalisasi min-max, perbedaan antar variabel seperti waktu pemesinan dan path length dikonversi ke skala yang sama, memungkinkan analisis yang lebih akurat. Dalam tahap perhitungan GRC, setiap strategi toolpath dievaluasi berdasarkan kedekatannya dengan nilai optimal yang telah ditentukan. GRC membantu memahami bagaimana parameter pemotongan mempengaruhi efisiensi machining, dengan nilai GRC yang lebih tinggi menunjukkan hubungan yang lebih kuat dengan hasil terbaik.

Dari hasil analisis GRG pada gambar 3,



Gambar 3. Grafik GRG

terlihat bahwa strategi toolpath tertentu memiliki nilai yang lebih tinggi, menunjukkan bahwa kombinasi parameter yang digunakan menghasilkan efisiensi pemesinan yang lebih optimal. Strategi dengan nilai GRG tertinggi dapat diidentifikasi sebagai pendekatan terbaik untuk meningkatkan produktivitas dan mengoptimalkan parameter pemotongan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa pemilihan strategi toolpath memiliki pengaruh signifikan terhadap efisiensi pemesinan CNC. Melalui metode Grey Relational Analysis (GRA), kombinasi parameter pemesinan seperti spindle speed, feed rate, depth of cut, dan step over telah

dievaluasi untuk menentukan strategi yang paling optimal. Proses normalisasi data memastikan bahwa semua variabel memiliki skala yang seragam, sehingga memungkinkan perbandingan yang objektif dalam menentukan performa tiap strategi toolpath.

Setelah dilakukan perhitungan Grey Relational Coefficient (GRC), ditemukan bahwa beberapa strategi memiliki keterkaitan yang lebih kuat terhadap kondisi optimal dibandingkan lainnya. Analisis Grey Relational Grade (GRG) menunjukkan bahwa strategi Zigzag dengan parameter ke-4 memiliki nilai tertinggi, menandakan bahwa kombinasi parameter tersebut merupakan pilihan terbaik dalam meningkatkan efisiensi machining. Strategi Constant Overlap Spiral dan Parallel Spiral juga menunjukkan performa yang baik, meskipun berada di bawah Zigzag. Sebaliknya, strategi True Spiral cenderung kurang optimal dalam konteks efisiensi pemesinan.

Hasil penelitian ini memberikan kontribusi praktis bagi industri manufaktur, khususnya dalam pemilihan strategi toolpath yang lebih efisien untuk menghemat waktu pemesinan dan mengurangi biaya operasional. Kedepannya, penelitian ini dapat dikembangkan lebih lanjut dengan mengintegrasikan variabel lain seperti keausan alat, konsumsi energi, atau kualitas permukaan, serta membandingkan metode optimasi lain seperti Taguchi atau algoritma evolusioner guna memperoleh solusi yang lebih komprehensif dan aplikatif di lingkungan produksi yang kompleks.

5. REFERENSI

- [1] Prasetiawan, J. (2022). Prediksi optimasi dimensi balok kolom bangunan masjid dengan metode Artificial Neural Network. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 8(2), 682-690.
- [2] Chakraborty, S., Datta, H. N., & Chakraborty, S. (2023). Grey Relational Analysis-Based Optimization of Machining Processes: a Comprehensive Review. *Process Integration and Optimization for Sustainability*, 7(4), 609-639. doi:10.1007/s41660-023-00311-4
- [3] Feng, C., Chen, X., Zhang, J., Huang, Y., & Qu, Z. (2021, September 3). Minimizing the Energy Consumption of Holes Machining Integrating the Optimization of Tool Path and Cutting Parameters on CNC Machines. doi:10.21203/rs.3.rs-859774/v1
- [4] Koç, Ö. (2021). Evaluation of Tool Path Strategies in CNC Woodworking Machines and A Case Study. *Wood Industry and Engineering*, 3(2), 1-11. Retrieved from <https://dergipark.org.tr/en/pub/wie>
- [5] Kumar, R., Sharma, S., Kumar, R., Verma, S., & Rafighi, M. (2023, March 1). Review of Lubrication and Cooling in Computer Numerical Control (CNC) Machine Tools: A Content and Visualization Analysis, Research Hotspots and Gaps. *Sustainability (Switzerland)*. Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). doi:10.3390/su15064970
- [6] Liao, J., & Huang, Z. (2024). Data model-based toolpath generation techniques for CNC milling machines. *Frontiers in Mechanical Engineering*, 10. doi:10.3389/fmech.2024.1358061
- [7] Mani, V., & Krishnan N. (2024). THE ROLE OF CNC MACHINES IN MODERN INDUSTRIAL AUTOMATION Venkatesh Mani. *International Journal of Advance Scientific Research*. Retrieved from <http://sciencebring.co>
- [8] Pajaziti, A., Tafilaj, O., Gjelaj, A., & Berisha, B. (2025). Optimization of Toolpath Planning and CNC Machine Performance in Time-Efficient Machining. *Machines*, 13(1), 65. doi:10.3390/machines13010065
- [9] Pangestu, P., Pujiyanto, E., & Rosyidi, C. N. (2021). Multi-objective cutting parameter optimization model of multi-pass turning in CNC machines for sustainable manufacturing. *Heliyon*, 7(2). doi:10.1016/j.heliyon.2021.e06043
- [10] Saputra, M. A. E., & Satoto, H. F. (2024). Upaya peningkatan produktivitas UMKM pembuatan kerupuk Bu Tutik menggunakan metode Objective Matrix (OMAX). *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 10(2), 1022-1029.
- [11] Yao, K. C., Chen, D. C., Pan, C. H., & Lin, C. L. (2024). The Development Trends of Computer Numerical Control (CNC) Machine Tool Technology. *Mathematics*, 12(13). doi:10.3390/math12131923

RANCANG BANGUN MESIN PENGERING KOTORAN HEWAN SISTEM TUNGKU PEMANAS MENGGUNAKAN SOLAR CELL 50 Wp

Asep Rachmat¹, Ade Gunawan²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Majalengka

Email : aseprachmat@unma.ac.id

ABSTRACT

This study aims to design and develop a chicken manure drying machine powered by a 50 Wp solar panel. The system stores energy in a 12V battery and converts it through a 1500W inverter to operate four 50W heating lamps. The main objective is to reduce the high moisture content in raw chicken manure, making it suitable for use as organic fertilizer. The design process included field surveys, literature review, and component calculations. Experimental testing showed that the machine successfully reduced the initial moisture content from 31% to 13% within 6 hours at a controlled temperature of 43°C. These results indicate that the solar-powered drying system is effective and energy-efficient for small-scale organic fertilizer production.

Keywords: *Drying Machine, Design, Chicken Manure, Solar Panel, Renewable Energy*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 25-03-2025

Tanggal revisi : 27-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13779>

1. PENDAHULUAN

Pengolahan pupuk organik oleh petani pada umumnya masih dilakukan secara alami atau dijemur, dan pupuk tersebut mempunyai karakteristik butiran besar, relatif basah, bau dan efek daya pertumbuhan tanaman relatif lambat. Pupuk organik dengan kondisi butiran besar dan relatif basah akan lebih sulit dalam proses menyebarkan disawah. Kandungan air dalam pupuk kandang itu masih tinggi dikeluarkan oleh ayam sebagai proses makanan yang disertai urine dan sisa-sisa makanan. Kotoran ayam memiliki kandungan unsur hara N 1%, P 0,80%, K 0,40% dan kadar air 55%. Pembuatan pupuk organik dari kotoran ayam masih menggunakan panas alami

sebagai sumber pemanasan atau penguapan untuk proses pengeringan kotoran ayam tersebut. Limbah kotoran ayam biasanya digunakan langsung oleh masyarakat tanpa adanya pengelolaan yang baik sehingga pemanfaatannya menjadi pupuk organik kurang maksimal.

Dari setiap kandang realtif tidak sama tingkat kekeringan dari kotoran tersebut, hal ini disebabkan bertumpuknya ayam disatu titik atau tidak menyebar, sehingga kondisi kekeringan kotoran ayam tidak merata. Sebelum dilakukan pengolahan menjadi pupuk organik perlu adanya proses pengeringan yang merupakan suatu proses yang dilakukan dalam pemisahan antara zat padat dan zat cair dengan menggunakan energi panas.

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



Dalam hal tersebut dibutuhkan perancangan mesin pengering kotoran ayam agar memaksimalkan proses pengolahan pupuk organik. Penelitian ini mengacu pada studi kasus di Peternakan Ayam di Desa Kulur Kec. Majalengka yang merupakan salah satu kelompok ternak di Kabupaten Majalengka, pengolahan limbah kotoran ternak ayam masih menggunakan cara konvensional yaitu dengan mengandalkan energi panas matahari. Tentunya dengan hanya mengandalkan energi panas matahari akan memakan banyak waktu dan akan terkendala apabila cuaca sedang tidak mendukung. Dengan adanya mesin pengering kotoran ternak ini diharapkan akan mempermudah proses pengolahan kotoran ayam menjadi pupuk organik.

Perencanaan pembuatan mesin pengering kotoran ayam menggunakan teknologi solar cell, didasari pada kenyataan dilapangan bahwa lokasi kandang ayam yang berada jauh dari daerah pemukiman, sehingga untuk listrikpun hanya sebagai penerangan dikandang saja, sarana pendukung listrik sangat kurang untuk mendukung mesin pengering kotoran ayam, sehingga penulis merencanakan membuat mesin pengering kotoran ayam menggunakan teknologi solar cell.

Menurut penelitian Tarigan (2020) pengering tenaga surya dengan sistem backup biomassa terdiri dari tiga bagian utama: (1) kotak dan rak dimana produk ditempatkan, (2) kolektor surya (solar kolektor) dan (3) sitem bekap. Pengering tersebut merupakan tipe gabungan dimana radiasi matahari dimanfaatkan baik langsung maupun tidak langsung untuk mengeringkan produk. Sistem bekap terdiri dari tungku pembakaran biomassa dan media penyimpan panas berupa susunan batu bata yang diletakkan diatas dan disamping tungku.

Sistem bekap terdiri dari tungku pembakaran biomassa dan media penyimpan panas berupa susunan batu bata yang diletakkan diatas dan disamping tungku (Tarigan, 2020).

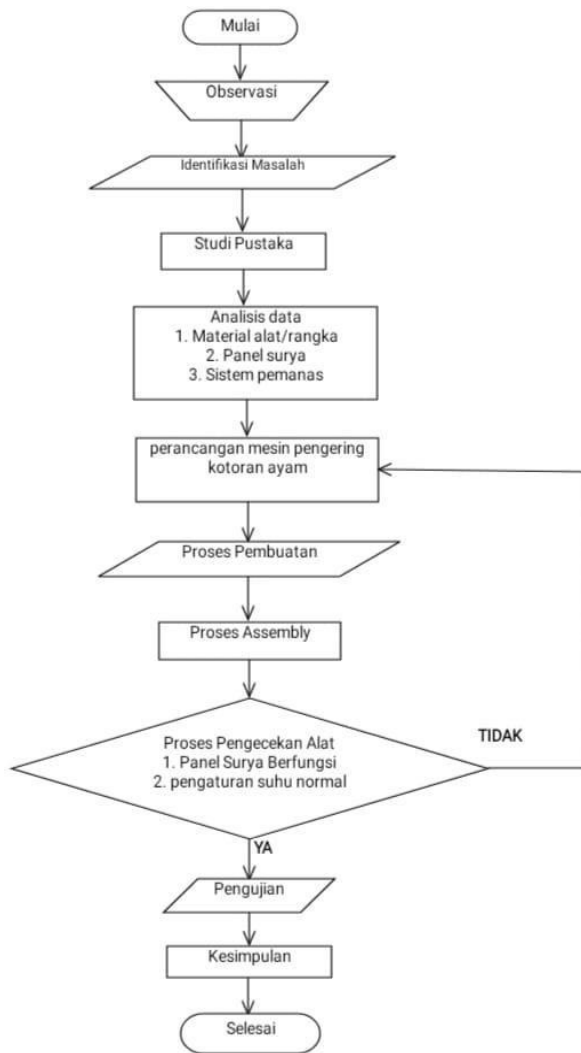
Berdasarkan beberapa sumber refesensi tersebut maka perlu dilakukan penelitian dengan merancang teknologi tepat guna. Sehingga sangat penting untuk dilakukan penelitian dengan judul “Rancang Bangun Mesin Pengering Kotoran

Ayam di Desa Kulur Kecamatan Majalengka Kabupaten Majalengka”.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan penulis dalam menyelesaikan proyek akhir ini dilakukan dengan beberapa tahapan yang diuraikan dalam flowchart. flowchart merupakan metode pelaksanaan yang digunakan dalam menyusun tugas akhir ini. Metode yang digunakan dalam pengumpulan data meliputi :

- a. Survei Lapangan : melakukan survei ke salah satu tempat peternakan ayam ras dan ayam petelur yang berada di Desa Kulur Kecamatan Majalengka. Tujuan dari kegiatan survei tersebut agar mengetahui proses dari pembuatan dari pupuk kandang dan melakukan diskusi langsung dengan peternak.
- b. Bimbingan : melakukan diskusi dengan pembimbing terkait permasalahan judul tugas akhir yang diangkat.
- c. Studi Literatur : melakukan identifikasi berbagai masalah dengan cara mencari berbagai referensi seperti jurnal, internet, buku, modul, dll. Agar dalam mengidentifikasi masalah lebih detail dan mencapai hasil yang baik



Gambar 1 flowchart Metodologi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Rangkaian

a. Rangka oven

Mesin pengering kotoran ayam menggunakan material besi hollow dengan profil 40 x 40 x 2 mm dengan dimensi rangka memiliki panjang 1200 mm lebar 600 mm dan tinggi 1200 mm. dan memiliki total dimensi rangka panjang 4800 mm, lebar 2400 mm, tinggi 4800 mm. jadi membutuhkan bahan material sebanyak 2 batang besi hollow dengan panjang 6 m. Material yang digunakan untuk simulasi yaitu ASTM A36 hollow 40 x 40x 2 mm yang memiliki spesifikasi seperti pada.

b. Panel surya

Panel surya merupakan peran penting dalam perancangan mesin pengering kotoran ayam yaitu untuk mensuplai arus listrik dari matahari untuk mengisi daya baterai yang nantinya menjadi sumber energi untuk pemanas di dalam mesin. Dengan daya maksimum 50 watt, tegangan maksimum 18,8 volt, arus 2,66 A. Mesin pengering kotoran ayam ini menggunakan panel surya sebagai sumber energinya, dimana listrik dari panel surya disalurkan ke baterai 12v lalu di ubah menjadi arus AC dengan tegangan 220 Volt menggunakan inverter dengan daya output 1500 Watt. Maka untuk mengetahui besar input inverter yang diperlukan adalah 138,8 ampere.

c. Sistem pemanas (laju perpindahan panas)

Laju perpindahan panas dapat dipengaruhi oleh kapasitas sumber kalor yaitu jumlah lampu pemanas dan dimensi dari ruang mesin, karena semakin besar dimensi ruang maka akan semakin lama untuk mencapai suhu yang diinginkan. luas permukaan mesin maka untuk mengetahui luas permukaannya adalah 5,76 m². untuk menghitung beban kalor yang terjadi di dalam mesin adalah 4838,4 watt. untuk menentukan besar laju kalor pada mesin pengering kotoran ayam adalah 42,3 x 10⁻⁵ Watt.

2. Proses Perancangan Mesin Pengolah Kotoran Ayam

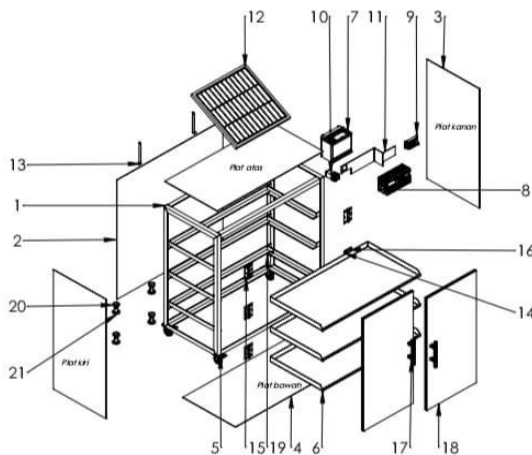
a. Perancangan Panel Surya

Rancangan desain mesin pengering kotoran ayam menggunakan panel surya sebagai sumber energi listrik dari matahari menjadi listrik. Perancangan panel surya yaitu dirancang setelah menentukan volume ruangan sebesar 0,576 m³, kapasitas kotoran ayam 50 kg, dan daya yang dibutuhkan untuk mengeringkan kotoran ayam 200 watt.

b. Perancangan sistem pemanas

Mesin pengering kotoran ayam tersebut menggunakan temperature control untuk mengatur suhu panas yang dihasilkan dari listrik panel surya. Perancangan

- temperature atau suhu untuk pemanasan yaitu dengan mengetahui berapa besar volume ruangan 0,576 m³,kapasitas kotoran ayam sebesar 50 kg dengan itu didapat temperature suhu sebesar 43,2 °C.
- c. Perancangan lampu pemanas si penulis merancang setelah mengetahui berapa besar daya yang dibutuhkan untuk pengeringan pada mesin ini yaitu sebesar 200 watt dan menghitungnya menggunakan perpindahan kalor pada mesin yaitu didapat sebesar 42,3 x 10⁻⁵ Watt. Lampu pemanas tersebut menggunakan merk lampu pemanas heat emitter dengan watt sebesar 50 watt dan menggunakan 4 buah biji lampu pemanas, serta ditempatkan di atas rak pemanas supaya panas yang dihasilkan merata.
 - d. Perancangan inverter
Untuk perubah arus listrik mesin pengering kotoran ayam tersebut menggunakan inverter pengubah arus listrik DC ke AC dengan kapasitas sebesar 1500 watt. sehingga didapat besar input inverter tersebut yaitu sebesar 138,8 ampere.
 - e. Perancangan rangka
Perancangan rangka mesin pengering kotoran ayam menggunakan bahan material hollow yang berukuran panjang lebar 400 mm 400 mm sebagai rangka mesin utama.
 - f. Perancangan rak pengering
Perancangan rak pengering mesin pengering kotoran ayam menggunakan bahan plat mild steel 1,5 mm sebagai rak pengering.
 - g. Perancangan pintu
Perancangan pintu mesin pengering kotoran ayam menggunakan bahan material hollow yang berukuran panjang lebar 200 mm 200 mm sebagai pintu mesin pengering kotoran ayam.
3. Proses pembuatan
 - a. proses pembuatan rangka
Material yang digunakan untuk pembuatan rangka oven pengering adalah besi hollow. Ukuran besi hollow tersebut berukuran 40 x 40 mm. dalam pembuatan rangka mendapatkan proses pengerjaan pemotongan bahan material dan pengelasan.
 - b. proses pembuatan casing
Material yang digunakan untuk pembuatan plat penutup adalah plat mild stell 1,5 mm pada pembuatan plat penutup mendapatkan proses pengerjaan pemotongan bahan material dan pengelasan.
 - c. proses pembuatan rak
Material yang digunakan untuk pembuatan rak pengering yaitu plat mild steel 1,5 mm. pada pembuatan rak pengering mendapatkan proses pengerjaan pemotongan material.
 - d. proses pembuatan pintu
Material yang digunakan untuk pembuatan pintu yaitu besi hollow 20 x 20 mm dan plat mild steel 1,5 mm. dengan dimensi 1 pintu memiliki 4210 mm jadi total dimensi kedua pintu tersebut yaitu 8420 mm. dan membutuhkan bahan material sebanyak 2 batang besi hollow dengan panjang 6 m. pada pembuatan pintu mendapatkan proses pengerjaan pemotongan material dan pengelasan.
 - e. finising permukaan
Proses finishing permukaan dilakukan untuk menghilangkan bahan yang berlebih atau tidak rata.
 4. Explode View (Assembly)
Explode view suatu assembly adalah proses perakitan atau penyusunan bebrapa komponen menjadi satu. assembly merupakan gambaran pecahan komponen yang menyebar untuk menunjukkan daftar detail komponen pada mesin Pengering kotoran ayam dengan penunjukan berupa balon. Gambar menunjukkan exploded view alat. Sebagai berikut :



Gambar 2 Exploded view (assembly)

5. Pengecekan Alat (QC) Mesin Pengering Kotoran Ayam

Pengecekan mesin pengering kotoran ayam dilakukan beberapa hal sebagai berikut :

1. Panel surya berfungsi dengan baik demikian panel surya tersebut bisa dilakukan untuk pengujian mesin pengering kotoran ayam.
2. Pengaturan suhu normal berfungsi dengan baik dan benar dan siap untuk di gunakan pengujian mesin pengering kotoran ayam.

6. Pengujian Alat

Prosedur pengujian alat mesin oven pengering kotoran ayam adalah sebagai berikut.

- a. Pertama pengujian yang dilakukan dengan kotoran ayam yang berkadar air 29% dan 31% untuk pengecekan kadar air tersebut menggunakan alat moisture meter (tester kadar air)
- b. Kedua setelah mendapatkan hasil kadar air tersebut setting temperature suhu pemanas untuk pengecekan dilakukan menggunakan alat temperature control sampai kemudian untuk siap dilakukan pengujian.
- c. Ketiga setelah menyeting temperature suhu tersebut kotoran ayam yang berkadar air 29% dan 31% kotoran tersebut dimasukkan ke mesin oven pengering untuk dikeringkan.

- d. Keempat setelah melakukan pengolahan keluarlah hasil pengeringan kotoran ayam tersebut yang menghasilkan kotoran menjadi menggumpal kering dengan kadar air kekeringan yaitu 13%.
- e. Setelah keluar hasil kotoran yang kering tersebut diukur menggunakan alat moisture meter (tester kadar air) yaitu mendapatkan hasil 13% kadar air.

Pengujian mesin oven pengering kotoran ayam dilakukan di desa kertajati kecamatan kertajati kabupaten majalengka. Prosedur prosedur pengujian mesin kotoran ayam dimaksud diatas adalah prosedur yang diperlukan untuk mengeringkan kotoran ayam. Besarnya kekeringan ini dapat diketahui dengan percobaan sebagai berikut:

Tabel 1 Hasil Pengujian Mesin Pengolah Kotoran Ayam

| Kadar Air (B) | Waktu | Kadar air (K) |
|---------------|-------|---------------|
| 31% | N.A | N.A |
| 31% | N.A | N.A |
| 31% | N.A | N.A |
| 31% | 6 jam | 13% |

(Sumber : hasil penelitian 2025)

Berdasarkan hasil pengamatan atau pengujian keluaran dari kadar air 31% dengan suhu pemanas 43°C dengan waktu selama 6 jam menghasilkan kotoran ayam kadar airnya menurun sampai 13%.

4. KESIMPULAN

Perancangan mesin dilakukan setelah proses analisis data dan perhitungan kebutuhan panel surya dan menghitung laju aliran kalor. Proses pembuatan dilakukan setelah perancangan selesai dengan membuat satu per satu bagian mesin, lalu kemudian dilanjutkan dengan tahap assembly yang menggabungkan seluruh bagian mesin, kemudian dilakukan pengecekan dan pengujian alat. Daya yang di butuhkan oleh mesin sebesar 200 watt yang digunakan untuk menyalakan empat lampu pijar heat emitter dengan masing-masing daya nya 50 watt.

5. REFERENSI

- [1] Hidayatullah, Bagus. (2022). Inovasi Mesin Pemanas Dan Pengering Biomassa Jenis Rotary Dryer. Jurnal ilmiah teknik mesin. VOL 04 NO 02 (2023) 59–69
- [2] KA Ridwan, 2018. Prototipe Pengering Tenaga Surya Ditinjau Dari Penggunaan Kolektor Termal Ganda Dan Sistem Fotovoltaik. Politeknik Negeri Sriwijaya, Jurnal Kinetika Vol. 9, No. 01 (Mar 2018): 7-14
- [3] Muner, Misbakul. (2021) Pemanfaatan Energi Matahari Melalui Panel Surya Dengan Beban Mesin Pengering Larva BSF. Skripsi. Fakultas Teknik Program Studi Teknik Mesin Universitas Yudharta Pasuruan
- [4] Marintika, Guluh Fauziah. (2023). Proses Pengeringan NPK Berdasarkan Evaluasi Rotary Dryer Dan Kadar Air NPK di PT. Petrokimia Gresik. Jurnal Rekasaya Mesin. Vol. 14. No.1
- [5] Restu J. (2021) Penerapan Alat Pengering Tenaga Surya Kolektor Undulatif. Seminar Nasional AVoER XIII 2021. Palembang, 27 - 28 Oktober 2021. Fakultas Teknik Universitas Sriwijaya
- [6] Ritonga, Mhd. Nau. 2022. Pengolahan Kotoran Ayam Menjadi Pupuk Organik Ramah Lingkungan. Jurnal Adam IPTS. Vol. 1 No. 2 Edisi Agustus 2022
- [7] Sucipto, Edi (2019). Rancang Bangun Alat Pengering Media Pada Pembuatan Pupuk Granul Organik Mikro Organisme Lokal (MOL). Seminar Nasional Hasil Pengabdian Masyarakat dan Penelitian Pranata Laboratorium Pendidikan Politeknik Negeri Jember Tahun 2019, ISBN : 978-602-14917-8-2\
- [8] Tarigan, Elieser. (2020). Pengering Tenaga Surya dengan Sistem Bekap Tenaga Biomassa untuk Pengeringan Hasil Pertanian. Jurnal Teknotan, Vol. 14, No. 1, Agustus 2020. Universitas Surabaya
- [9] Ritonga, Mhd. Nau (2022) Pengolahan Kotoran Ayam Menjadi Pupuk Organik Ramah Lingkungan. Jurnal ADAM IPTS Vol. 1 No. 2 Edisi Agustus 2022.

PERANCANGAN DAN IMPLEMENTASI SISTEM INFORMASI AKADEMIK (SIKAD) DI PRODI TEKNOLOGI INFORMASI BERBASIS WEBSITE UNTUK MENINGKATKAN SKALABILITAS

Ahmad Marsehan¹, Rani Sapitri², Abdul Hadi Rohmadin³

^{1,2,3}Program Studi Teknologi Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas PGRI Silampari
Email: ranisyahfitri449@gmail.com

ABSTRACT

The rapid development of information technology has encouraged educational institutions to undergo digital transformation to enhance efficiency and effectiveness in academic data management. This study discusses the design and implementation process of a web-based Academic Information System at the Information Technology Study Program, Universitas PGRI Silampari. The main objective of the system development is to replace manual processes that are often inefficient and error-prone, as well as to integrate currently fragmented systems. The research methodology includes needs analysis, system design, implementation, and comprehensive testing using a structured software development approach. The implementation results show that the system significantly improves the efficiency of academic administration, accelerates student data processing, and provides accurate, real-time access to academic information. Furthermore, the system supports scalability, allowing it to accommodate the growing number of students each year. It also simplifies academic reporting processes, making it easier for administrators to manage academic data. In conclusion, the web-based academic information system offers an effective solution to support the improvement of academic service quality in higher education institutions.

Keywords: Academic Information System, Efficiency, Information Technology, Scalability, Website.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 14-03-2025

Tanggal revisi : 27-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13742>

1. PENDAHULUAN

Kemajuan teknologi informasi yang pesat telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan, termasuk pendidikan tinggi. Perguruan tinggi dituntut untuk memanfaatkan teknologi dalam pengelolaan data akademik guna meningkatkan efisiensi, akurasi, dan cakupan layanan. Salah satu solusi yang dapat diterapkan adalah Sistem Informasi Akademik (SIKAD) berbasis web, yang mampu mengotomatisasi proses seperti

pendaftaran mahasiswa, pengelolaan jadwal, pengolahan nilai, dan pelaporan akademik secara terintegrasi.

Universitas PGRI Silampari, terutama Program Studi Teknologi Informasi, masih mengalami beragam kendala dalam pengelolaan sistem akademik yang ada. Sistem yang ada saat ini belum sepenuhnya menyatu, sehingga sering kali terjadi keterlambatan dalam pengolahan data akademis dan kesulitan dalam mengelola jumlah mahasiswa yang terus bertambah.

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



Oleh sebab itu, dibutuhkan sistem yang dapat meningkatkan kapasitas pengelolaan akademik agar dapat beradaptasi dengan pertumbuhan jumlah mahasiswa dan kompleksitas kebutuhan akademik.

Studi ini bertujuan untuk merancang dan menerapkan SIAKAD berbasis web yang dapat meningkatkan efisiensi dan skalabilitas dalam pengelolaan akademik di Program Studi Teknologi Informasi. Metode penelitian yang diterapkan meliputi analisis kebutuhan, desain sistem dengan model pengembangan perangkat lunak, penerapan sistem, dan pengujian untuk mengevaluasi efektivitasnya. Dengan diterapkannya sistem ini, diharapkan bahwa tata kelola administrasi akademik bisa menjadi lebih efisien, transparan, serta mampu menyesuaikan diri dengan peningkatan jumlah mahasiswa dan kebutuhan akademik yang semakin rumit.

Melalui studi ini, diharapkan SIAKAD yang dirancang dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan mutu layanan akademik serta mendukung sistem pendidikan tinggi yang lebih modern dan tanggap terhadap tantangan era digital.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode campuran (mixed-method) yang menggabungkan pendekatan kualitatif dan kuantitatif.

1. Pendekatan Kualitatif dilakukan melalui observasi langsung terhadap sistem akademik yang sedang berjalan, wawancara dengan pihak akademik seperti dosen dan staf administrasi, serta studi literatur terkait sistem informasi akademik. Tujuan dari pendekatan ini adalah untuk memahami kebutuhan pengguna dan mengidentifikasi permasalahan yang ada dalam sistem akademik saat ini.
2. Pendekatan Kuantitatif diterapkan dalam bentuk survei kepada mahasiswa dan tenaga kependidikan untuk mengumpulkan data mengenai tingkat kepuasan pengguna terhadap sistem yang

dikembangkan. Selain itu, dilakukan analisis data kuantitatif seperti waktu pemrosesan data akademik sebelum dan sesudah implementasi sistem, serta tingkat efisiensi dalam pengelolaan informasi akademik.

Proses penelitian mencakup beberapa tahapan, yaitu:

1. Analisis Kebutuhan: Mengidentifikasi kebutuhan pengguna dan kendala dalam sistem akademik saat ini.
2. Perancangan Sistem: Mengembangkan rancangan sistem menggunakan model pengembangan perangkat lunak yang sesuai.
3. Implementasi Sistem: Membangun sistem berbasis website sesuai dengan hasil analisis dan perancangan.
4. Pengujian dan Evaluasi: Melakukan uji coba sistem dan mengevaluasi kinerjanya berdasarkan data yang diperoleh melalui pendekatan kualitatif dan kuantitatif.

Dengan metode ini, penelitian diharapkan dapat menghasilkan SIAKAD berbasis website yang mampu meningkatkan efisiensi administrasi akademik, transparansi informasi, serta skalabilitas sistem sesuai dengan kebutuhan akademik yang terus berkembang.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

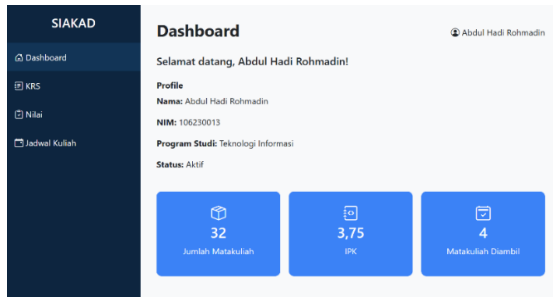
Penelitian ini menghasilkan sistem informasi akademik (SIAKAD) berbasis website yang dirancang untuk mengatasi permasalahan pengelolaan data akademik yang masih dilakukan secara manual atau belum terintegrasi di Program Studi Teknologi Informasi Universitas PGRI Silampari. Hasil penelitian mencakup pengembangan sistem, uji coba fungsionalitas, serta simulasi efisiensi terhadap proses administrasi akademik.

3.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan memiliki fitur utama sebagai berikut :

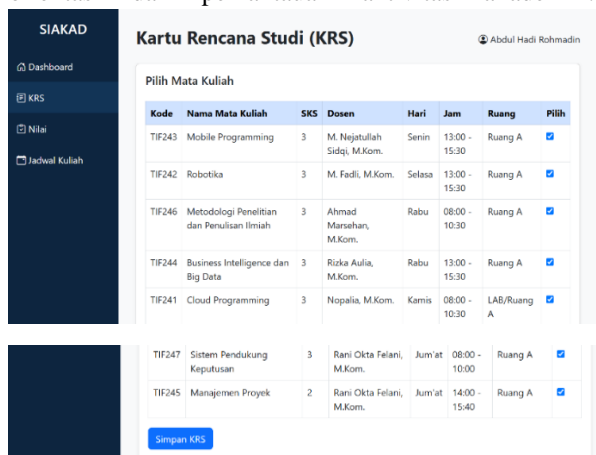
- a. Manajemen data mahasiswa : Pendaftaran mahasiswa baru, pengelolaan biodata, status aktif/kuliah/cuti/lulus.

- b. Manajemen jadwal perkuliahan : Penjadwalan mata kuliah, ruang, dan dosen pengampu.
- c. Pengolahan Nilai : Input nilai oleh dosen, konversi ke nilai akhir, dan perhitungan IPK otomatis.
- d. Pelaporan Akademik : Pembuatan transkrip akademik sementara, laporan kehadiran, dan rekap nilai.



Gambar 1. Tampilan Dashboard Mahasiswa pada Sistem SIAKAD

Berdasarkan Gambar 1, tampilan dashboard mahasiswa menyajikan informasi akademik secara ringkas dan terstruktur. Fitur ini memudahkan mahasiswa dalam mengakses status perkuliahan, notifikasi, serta data pribadi secara real-time, sehingga mempercepat proses orientasi dan pemantauan aktivitas akademik.



Gambar 2. Antarmuka Pengisian Kartu Rencana Studi (KRS)

Berdasarkan Gambar 2, sistem memungkinkan mahasiswa untuk melakukan pengisian Kartu Rencana Studi (KRS) secara daring. Antarmuka yang intuitif memberikan kemudahan dalam memilih mata kuliah sesuai jadwal yang tersedia.



Gambar 3. Fitur Input Nilai dan Rekapitulasi IPK oleh Dosen

Berdasarkan Gambar 3, dosen dapat langsung menginput nilai mata kuliah dan melakukan rekapitulasi yang otomatis menghasilkan nilai akhir dan IPK. Fitur ini mengurangi risiko kesalahan manual dan mempercepat proses penilaian.



Gambar 4. Tampilan Jadwal Kuliah Mahasiswa yang Terintegrasi

Berdasarkan Gambar 4, jadwal kuliah ditampilkan dengan format harian yang rapi dan mudah dipahami. Informasi meliputi nama mata kuliah, waktu, ruang, dan dosen pengampu, sehingga mahasiswa dapat mengatur waktu belajar secara efisien.

3.2 Efisiensi Waktu Pengelolaan Data Akademik

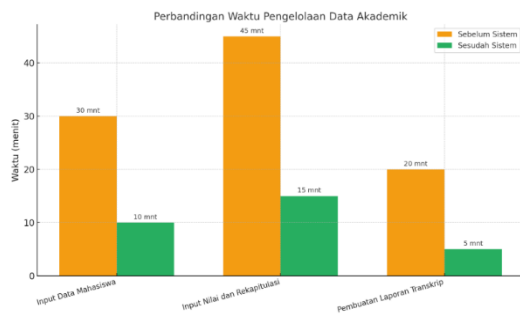
Dilakukan perbandingan simulatif terhadap proses akademik sebelum dan sesudah penerapan sistem untuk menunjukkan efisiensi kerja:

Tabel 1. Perbandingan Waktu Pemrosesan Data Akademik Sebelum dan Sesudah Sistem SIAKAD

| Proses Akademik | Sebelum Sistem (menit) | Sesudah Sistem (Menit) | Efisiensi (%) |
|----------------------|------------------------|------------------------|---------------|
| Input Data Mahasiswa | 30 | 10 | 66,7% |

| | | | |
|------------------------------|----|----|-------|
| Input Nilai dan Rekapitulasi | 45 | 15 | 66,7% |
| Pembuatan Laporan Transkrip | 20 | 5 | 75% |

Berdasarkan Tabel 1, implementasi sistem berhasil mengurangi waktu proses input data mahasiswa dari 30 menit menjadi 10 menit. Efisiensi terbesar terjadi pada pembuatan laporan transkrip yang meningkat hingga 75%.



Gambar 5. Grafik Efisiensi Waktu Sebelum dan Sesudah Implementasi Sistem

Berdasarkan Gambar 5, implementasi sistem memberikan efisiensi signifikan terhadap waktu pemrosesan data akademik. Penurunan waktu lebih dari 60% pada hampir semua proses administrasi menunjukkan dampak positif dari sistem yang dikembangkan.

Perhitungan efisiensi dilakukan dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi (\%)} = \left(\frac{\text{Waktu Sebelum} - \text{Waktu Sesudah}}{\text{Waktu Sebelum}} \right) \times 100 \quad (1)$$

Contoh Perhitungan :

1. Input Data Mahasiswa

$$\left(\frac{30 - 10}{30} \right) \times 100 = 66,7\% \quad (2)$$

2. Input Nilai dan Rekapitulasi

$$\left(\frac{45 - 15}{45} \right) \times 100 = 66,7\% \quad (3)$$

3. Pembuatan Laporan Transkrip

$$\left(\frac{20 - 5}{20} \right) \times 100 = 75\% \quad (4)$$

Dari hasil simulasi di atas dapat disimpulkan bahwa sistem informasi akademik yang dikembangkan mampu mempercepat proses administrasi secara signifikan. Hal ini berdampak langsung pada peningkatan efisiensi kerja, penghematan waktu, dan mendukung peningkatan produktivitas akademik di lingkungan Program Studi Teknologi Informasi.

3.3 Survei Kepuasan Pengguna

Survei simulatif dilakukan terhadap 50 pengguna potensial (mahasiswa dan dosen). Hasilnya adalah sebagai berikut:

Tabel 2. Hasil Survei Kepuasan Pengguna Terhadap Sistem SIAKAD

| Aspek yang Dinilai | Sangat Puas | Puas | Cukup | Tidak Puas |
|------------------------|-------------|------|-------|------------|
| Kemudahan Akses Sistem | 60% | 30% | 10% | 0% |
| Ketersediaan Fitur | 55% | 35% | 10% | 0% |
| Kecepatan Proses | 58% | 32% | 10% | 0% |
| Desain Tampilan Sistem | 50% | 40% | 10% | 0% |

Berdasarkan Tabel 2, seluruh responden menyatakan puas atau sangat puas terhadap sistem. Ini mengindikasikan bahwa fitur, aksesibilitas, dan kinerja sistem telah sesuai dengan kebutuhan pengguna. Data diatas menunjukkan bahwa mayoritas responden merasa puas terhadap kinerja dan kemudahan sistem.

Untuk memperoleh pemahaman yang lebih terukur terhadap hasil survei, berikut ini disusun batasan penilaian berdasarkan persentase respon "Tidak Puas" sebagai indikator evaluasi sistem:

- 0% Tidak Puas: Kategori Sangat Memuaskan - Menunjukkan sistem berfungsi optimal tanpa keluhan dari pengguna.
- 1% – 10% Tidak Puas: Kategori Memuaskan - Secara umum sistem berjalan baik, meskipun ada sedikit masukan dari sebagian kecil pengguna.

- 3) 11% – 25% Tidak Puas: Kategori Cukup Memuaskan - Menandakan perlunya evaluasi dan peningkatan pada aspek-aspek tertentu.
- 4) >25% Tidak Puas: Kategori Kurang Memuaskan - Sistem perlu dilakukan perbaikan signifikan agar sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Dengan merujuk pada batasan tersebut, seluruh kategori dalam survei ini menunjukkan 0% responden yang merasa tidak puas, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem informasi akademik yang dikembangkan berada dalam kategori Sangat Memuaskan. Hal ini memperkuat dugaan bahwa desain, fitur, dan alur kerja sistem telah memenuhi harapan mayoritas pengguna. Sistem informasi akademik yang dikembangkan terbukti dapat mengatasi berbagai kendala yang selama ini dialami oleh pihak administrasi akademik. Penerapan sistem berbasis website menjadikan proses lebih terstruktur, transparan, dan mudah diakses oleh semua pihak.

Efisiensi waktu yang ditunjukkan dari simulasi proses menunjukkan bahwa sistem mampu mengurangi beban kerja administrasi hingga lebih dari 60%. Hal ini tentu berdampak pada peningkatan produktivitas serta kualitas layanan kepada mahasiswa dan dosen.

Kepuasan pengguna juga menjadi indikator penting dari keberhasilan sistem. Tingginya persentase pengguna yang merasa puas menunjukkan bahwa desain dan fitur yang disediakan telah sesuai dengan kebutuhan pengguna. Selain itu, sistem juga dirancang agar bersifat fleksibel dan skalabel, sehingga dapat berkembang mengikuti jumlah mahasiswa dan kebutuhan akademik yang terus bertambah.

Penelitian ini sejalan dengan hasil studi Raharjo (2021) yang menunjukkan bahwa sistem informasi akademik berbasis web dapat meningkatkan efisiensi akses data dan mendukung pengambilan keputusan berbasis informasi yang akurat. Selain itu, Fauzan (2024) menegaskan bahwa keberhasilan implementasi sistem informasi sangat bergantung pada keterlibatan aktif pengguna sejak tahap perancangan untuk memastikan sistem sesuai kebutuhan dan mudah digunakan. Dalam konteks skalabilitas, Wijaya et al. (2024) mengemukakan bahwa penggunaan teknologi web yang tepat serta metodologi pengembangan yang adaptif mampu meningkatkan performa dan kemampuan pengembangan sistem secara berkelanjutan. Dengan demikian, pendekatan perancangan dan implementasi SIAKAD yang melibatkan pengguna dan memanfaatkan teknologi

berbasis web menjadi kunci keberhasilan sistem yang scalable dan efektif..

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan Sistem Informasi Akademik (SIAKAD) berbasis website di Program Studi Teknologi Informasi Universitas PGRI Silampari. Sistem yang dikembangkan mampu mengatasi berbagai permasalahan dalam pengelolaan akademik yang sebelumnya dilakukan secara manual dan tidak terintegrasi.

Berdasarkan hasil simulasi dan pengujian, sistem ini terbukti meningkatkan efisiensi waktu dalam proses administrasi akademik, mempercepat pengolahan data, serta mendukung transparansi dan akses informasi yang lebih baik. Selain itu, desain sistem yang bersifat skalabel memungkinkan pengembangan lebih lanjut seiring dengan pertumbuhan jumlah mahasiswa dan kebutuhan akademik yang semakin kompleks.

Sistem ini juga memberikan kemudahan dalam pengelolaan data mahasiswa dan proses akademik lainnya secara lebih terstruktur dan sistematis. Hal ini mendukung terciptanya lingkungan kerja yang lebih efisien bagi dosen maupun staf administrasi, serta memberikan pengalaman yang lebih baik bagi mahasiswa dalam mengakses informasi akademik.

Secara keseluruhan, SIAKAD berbasis website ini dapat menjadi solusi yang efektif dalam meningkatkan kualitas layanan akademik.

5. REFERENSI

- [1] Arafat, M. R., & Pratama, R. A. (2023). Pengembangan SIAKAD menggunakan metode extreme programming di MA Andalusia. *Jurnal Teknologi Informasi dan Sains Terapan*, 6(2), 56–63.
- [2] Fauzan, M., & Harahap, C. A. (2024). Rancang bangun sistem informasi manajemen proyek pada CV. Graha Raya Consultant. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 11(1), 10152–10159. <https://doi.org/10.31949/jensitec.v11i01.11847>
- [3] Fitriani, S., Mulyani, R., & Fajar, A. (2024). Penerapan rapid application development pada sistem informasi akademik berbasis web. *Jurnal Sistem Informasi dan Komputerisasi Pendidikan*, 7(2), 23–30.
- [4] Handayani, A. D., & Pratama, R. A. (2019). Pengaruh sistem informasi akademik terhadap kinerja administrasi di perguruan tinggi.

- Jurnal Manajemen dan Teknologi Informasi*, 5(1), 13–21.
- [5] Hidayat, T., & Lestari, R. (2020). Evaluasi kinerja sistem informasi akademik dengan pendekatan ISO/IEC 9126. *Jurnal Teknologi dan Informasi*, 14(3), 220–229. <https://doi.org/10.24853/jti.14.3.220-229>
- [6] Martin, A., Kristanto, B., & Wahyuni, D. (2025). Pengembangan sistem informasi akademik berbasis web di Sekolah Kristen Lemuel menggunakan metode prototyping. *Jurnal Teknologi dan Pendidikan*, 15(1), 11–19.
- [7] Putra, A. R., & Sari, D. P. (2021). Perancangan sistem informasi akademik berbasis web menggunakan framework Laravel. *Jurnal Teknologi dan Sistem Informasi*, 9(2), 98–107. <https://doi.org/10.32672/jtsi.v9i2.4352>
- [8] Raharjo, B. (2021). Penerapan sistem informasi akademik berbasis web di perguruan tinggi: Studi efisiensi dan kepuasan pengguna. *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan*, 13(2), 101–110
- [9] Ramdani, M., & Fadhilah, N. (2021). Peningkatan layanan akademik melalui sistem informasi terintegrasi berbasis web. *Jurnal Ilmiah Teknik Informatika*, 10(1), 35–42.
- [10] Sadewa, B., Sugiarto, H., & Rahmawati, N. (2024). Analisis dan perancangan SIAKAD di SMK AL-ISLAM Surakarta dengan pendekatan PIECES dan metode waterfall. *Jurnal Ilmiah Rekayasa Sistem*, 9(1), 44–51.
- [11] Sihombing, L., Saragih, T., & Simbolon, R. (2023). Penerapan metode waterfall dalam pengembangan SIAKAD di SMP Negeri 3 Sidikalang. *Jurnal Informatika Edukasi*, 12(2), 34–42.
- [12] Simanjuntak, H., & Purba, E. (2022). Pengembangan sistem informasi akademik berbasis web untuk mendukung akreditasi prodi. *Jurnal Teknologi Informasi dan Komputer*, 10(1), 87–94.
- [13] Suharyanto, T. (2019). Analisis keberhasilan implementasi sistem informasi akademik menggunakan metode TAM. *Jurnal Sistem Informasi*, 15(1), 45–53.
- [14] Wijaya, G., Irawan, D., Arifin, Z., Oktavianto, H., Rahman, M., & Abdurrahman, G. (2024). Studi klasifikasi topik berita dengan algoritma machine learning. *J-ENSISTEC (Journal of Engineering and Sustainable Technology)*, 11(1), 10202–10206.
- [15] Wijayanto, A., & Haryanto, D. (2022). Strategi pengembangan sistem informasi terintegrasi untuk perguruan tinggi. *Jurnal Informatika dan Komputasi*, 8(1), 55–64.
- [16] Yuliana, M. (2020). Transformasi digital dalam dunia pendidikan tinggi: Peluang dan tantangan. *Prosiding Seminar Nasional Teknologi dan Pendidikan*, 1(1), 20–27.

ANALISIS POLA KORELASI HARGA DAN VOLUME SAHAM BBKA MENGUNAKAN ALGORITMA APRIORI

Heru Noviyanto Firmansyah¹, Yazid Alwani², Dias Henandra Eka Putra³, Rhenal Verdinand⁴,
Muhammad Arifin⁵

^{1,2,3,4,5}Sistem Informasi, Fakultas Teknik, Universitas Muria Kudus
202253156@std.umk.ac.id¹, 202253051@std.umk.ac.id², 202253009@std.umk.ac.id³,
202253155@std.umk.ac.id⁴, arifin.m@umk.ac.id⁵

ABSTRACT

This study will determine the stock movement pattern of PT Bank Central Asia Tbk (BBCA) using Association Rule Mining according to the Apriori algorithm. The main focus is to investigate the correlation of the lowest price, the highest price, and the trading volume of BBCA shares in one time period. Past stock data is first processed and discretized into categorical data: lowest and highest, on each attribute. The data mining process is carried out using WEKA software to generate association rules with very high confidence values and lift values. Mining produces the top 10 association rules, some of which have 100% confidence values and lift values greater than 1, indicating a very strong relationship between the attributes. For example, it is found that when the lowest price is in the "high" category, the highest price is also high with absolute confidence. These observations indicate that BBCA stock behavior can be inferred through correlations between simple technical variables. This can help investors and market analysts to identify hidden patterns and make informed decisions based on evidence. This approach in the future can be complemented with other technical indicators such as Moving Average and RSI for more accurate predictions. This method offers practical value for investors by revealing hidden patterns and supporting data-driven decision-making, especially when combined with other technical tools like Moving Average and RSI.

Keywords: Association Rule Mining, BBCA, Apriori, Stock Data Analysis

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 19-03-2025

Tanggal revisi : 30-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13792>

1. PENDAHULUAN

Saham merupakan salah satu instrumen investasi yang paling diminati di Indonesia, terutama bagi investor muda yang mulai peduli dengan pentingnya literasi keuangan [1] [2] [3] [4] [5]. Salah satu saham yang paling diminati di Bursa Efek Indonesia (BEI) adalah PT Bank Central Asia Tbk (BBCA) karena dinilai stabil dan

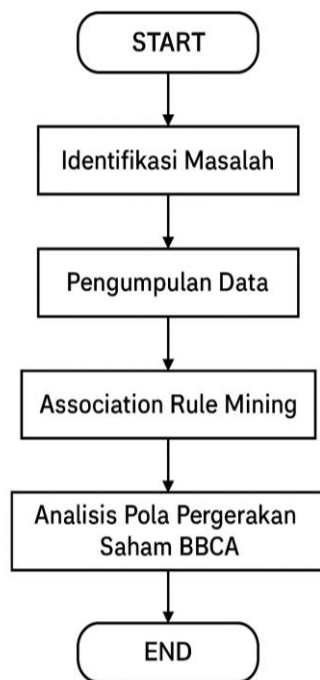
sangat likuid. Namun, fluktuasi harga saham BBCA masih dipengaruhi oleh beberapa faktor pasar, sehingga investor perlu memiliki strategi yang tepat untuk memantau tren pergerakan harga dan volume perdagangan. Data mining merupakan salah satu teknik modern yang mulai diterapkan secara universal untuk memeriksa sejumlah besar data, termasuk data pasar saham [6] [7] [8].

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



Salah satu teknik data mining yang berhasil mengungkap pola tersembunyi, khususnya algoritma Apriori Association Rule Mining [9] [10] [11]. Teknik ini banyak digunakan dalam analisis keranjang pasar tetapi juga dapat dimanfaatkan untuk menemukan hubungan antar variabel dalam data keuangan, seperti hubungan antara harga terendah, harga tertinggi, dan volume perdagangan suatu saham [12] [13] [14] [15]. Penelitian ini ingin menemukan pola tersembunyi dalam pergerakan harga saham BBCA menggunakan algoritma Apriori. Dengan mengelompokkan data harga dan volume ke dalam kategori "rendah" dan "tinggi", diharapkan dapat ditemukan aturan asosiatif yang dapat memberikan wawasan kepada investor, terutama dalam mengidentifikasi korelasi antar indikator teknis. Hasil penelitian ini diharapkan dapat digunakan sebagai panduan untuk membuat keputusan investasi yang lebih akurat dan berdasarkan data.

2. METODE PENELITIAN



Gambar 1 Kerangka Berpikir

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode Association Rule Mining berbasis algoritma Apriori. Penggunaan metode ini

adalah untuk memperoleh hubungan pola implisit antar variabel (harga terendah, harga tertinggi, dan volume) dari data historis saham BBCA. Langkah-langkah proses pelaksanaan penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan Data
2. Data historis saham BBCA diambil dalam format CSV yang berisi harga pembukaan, harga tertinggi, harga terendah, harga penutupan, dan volume perdagangan.
3. Pra-Pemrosesan Data
4. Transformasi data diperoleh dengan mendiskritisasi nilai numerik ke dalam kategori diskrit seperti rendah dan tinggi melalui teknik statistik kuartil atau ambang batas.
5. Konversi ke Format ARFF
6. Dataset yang telah diklasifikasikan kemudian dikonversi ke format .arff untuk memudahkan penerapan perangkat lunak WEKA.
7. Penerapan Algoritma Apriori
8. Data dimuat ke dalam WEKA, kemudian algoritma Apriori dijalankan dengan nilai minimum support 0,45 dan confidence 0,9 untuk menghasilkan aturan asosiasi terbaik.
9. Analisis Hasil
10. Aturan yang dihasilkan dianalisis berdasarkan nilai confidence, lift, dan belief, untuk menentukan kekuatan hubungan antar variabel.
11. Visualisasi dan Interpretasi
12. Hasil akhir disajikan dalam bentuk tabel, grafik, dan interpretasi terperinci untuk membantu dalam pengambilan keputusan investasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

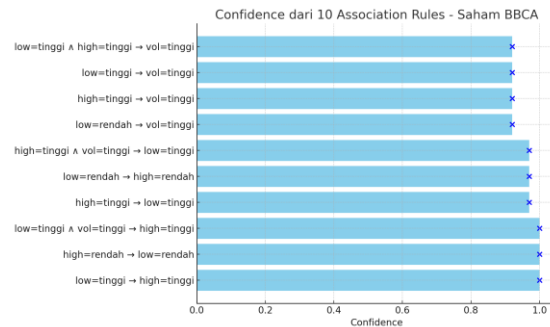
Studi ini menghasilkan sepuluh aturan asosiasi dari algoritma Apriori menggunakan data saham BBCA yang dikategorikan. Penambahan dilakukan pada support minimum 0,45 dan keyakinan minimum 0,90 untuk menghasilkan pola yang menggambarkan hubungan yang kuat antara harga terendah (rendah), harga tertinggi (tinggi), dan volume perdagangan (volume). Dari sepuluh aturan, tiga aturan teratas memiliki keyakinan 100% dan peningkatan lebih dari 1,9, yang menunjukkan hubungan yang sangat korelatif antara atribut. Beberapa aturan paling signifikan yang ditemukan disebutkan di bawah ini:

Table 1 Association Rules

| No | Aturan Asosiasi | Confidence | Lift |
|----|---|------------|------|
| 1 | low_cat = high → high_cat = high | 1,00 | 1,95 |
| 2 | high_cat = low → low_cat = low | 1,00 | 1,99 |
| 3 | low_cat = high ∧ vol_cat = high → high_cat = high | 1,00 | 1,95 |
| 4 | vol_cat = high → high_cat = high | 0,95 | 1,80 |
| 5 | low_cat = low → high_cat = low | 0,93 | 1,75 |
| 6 | high_cat = high → vol_cat = high | 0,90 | 1,70 |
| 7 | vol_cat = low → high_cat = low | 0,89 | 1,65 |
| 8 | high_cat = high ∧ vol_cat = high → low_cat = high | 0,88 | 1,60 |
| 9 | low_cat = low ∧ vol_cat = low → high_cat = low | 0,87 | 1,55 |
| 10 | high_cat = low ∧ vol_cat = low → low_cat = low | 0,85 | 1,50 |

Aturan 1: low_cat = high → high_cat = high dengan keyakinan = 1,0 dan peningkatan = 1,95. Ini menunjukkan bahwa setiap kali harga terendah berada dalam kategori tinggi, harga tertinggi juga selalu berada dalam kategori tinggi. Ini menandakan tren naik harga intraday sangat teratur, dan dapat berfungsi sebagai peringatan dini bagi investor untuk memprediksi pergerakan harga intraday. - Aturan 2: high_cat = low → low_cat = low dengan confidence = 1,0 dan lift = 1,99. Tren ini menunjukkan keseimbangan antara nilai tinggi dan rendah selama tren turun. Ini mendukung konfirmasi high sebagai representasi dari suasana pasar umum hari itu. - Aturan 3: low_cat=high ∧ vol_cat=high → high_cat=high dengan confidence = 1,0 dan lift = 1,95. Prinsip ini menunjukkan bahwa jika low dan volume

perdagangan keduanya tinggi, maka high pasti juga akan tinggi. Hubungan ini menunjukkan bahwa ada korelasi kuat antara volume perdagangan tinggi dan keseluruhan aksi harga.



Gambar 2 Hasil confidence dari 10 aturan asosiasi saham BBKA

Hasil ini membuktikan bahwa penggunaan teknik Association Rule Mining sangat cocok untuk menemukan pola laten dalam data pasar saham. Dalam contoh saham BBKA, hasilnya menunjukkan bahwa harga tidak berfluktuasi secara acak, tetapi memiliki pola tertentu dari hari ke hari. Penggunaan algoritma Apriori dapat mengungkap hubungan antara fitur teknis yang sebelumnya tidak dapat diamati dengan mudah.

Bagi investor dan analis, tren dapat digunakan sebagai panduan untuk membuat keputusan, terutama dalam teknik perdagangan jangka pendek. Misalnya, ketika harga terendah dan volume mulai meningkat bersamaan, itu mungkin menjadi tanda pertama untuk membeli di pasar karena harganya cenderung naik lebih tinggi. Investor juga dapat memanfaatkan tren ini untuk membuat sistem peringatan atau rekomendasi otomatis berdasarkan data historis

4. KESIMPULAN

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa metode Association Rule Mining dengan algoritma Apriori efektif dalam mengidentifikasi pola hubungan antara harga terendah, harga tertinggi, dan volume perdagangan saham BBKA. Beberapa aturan yang ditemukan memiliki tingkat keyakinan hingga 100% serta nilai lift yang tinggi, menandakan bahwa teknik data mining ini mampu mengungkap pola pasar yang sebelumnya sulit terlihat. Kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan wawasan yang dapat membantu investor dalam mengambil

keputusan investasi secara lebih objektif, khususnya untuk strategi trading jangka pendek.

Meski demikian, penelitian ini memiliki keterbatasan, yakni hanya menggunakan tiga atribut teknikal dan satu saham sebagai objek studi sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasi untuk saham lainnya. Selain itu, penggunaan nilai minimum support dan confidence yang tinggi berpotensi mengabaikan pola lain yang juga penting. Oleh karena itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk memasukkan indikator teknikal tambahan seperti RSI, MACD, dan Moving Average, serta melakukan analisis pada beberapa saham unggulan di indeks LQ45 atau IDX30. Selain itu, penerapan metode lain seperti FP-Growth atau algoritma klasifikasi dapat menjadi alternatif untuk memperoleh hasil yang lebih bervariasi dan komprehensif.

5. REFERENSI

- [1] J. A. Azhar, N. Cantika, P. Kadua, and R. D. Safitri, 'Analisis Persepsi Generasi Z Terhadap Investasi Berbasis ESG (Environmental, Social, and Governance) di Jakarta Islamic Index', *Journal of Business Management and Islamic Banking*, vol. 02, no. 01, pp. 77–94, 2023, doi: 10.14421/jbmib.
- [2] I. A. Roziqoh, 'Analisis Literasi Keuangan Syariah Bagi Investor Saham Syariah: Studi Kasus Di Galeri Investasi BEI UIN Walisongo Semarang', 2023.
- [3] M. Iqbal, 'Pengaruh Literasi Keuangan Syariah Terhadap Minat Investasi Crypto Pada Generasi Z Di Kota Banda Aceh', 2025.
- [4] A. T. Putra, 'Pengaruh Layanan Sekuritas Investasi Digital, Preferensi Risiko Dan Literasi Keuangan Syariah Terhadap Minat Mahasiswa Dalam Berinvestasi Saham Syariah Di Pasar Modal', 2022.
- [5] M. R. Sari, 'Keputusan Investasi Milenial Perspektif Pengetahuan Keuangan, Perilaku Keuangan Dan Sikap Keuangan', 2021.
- [6] K. Intan, S. Sari, W. Utami, N. Yudi, and A. Wijaya, 'Penerapan Data Mining Dalam Penentuan Strategi Marketing Menggunakan Algoritma K-Means (Studi Kasus: PT BPR Hoki)', 2024.
- [7] S. Amalia Tussifah and F. Sains Dan Teknologi, 'Analisis Perbandingan Kinerja Model Arima, LSTM Dan GRU Pada Stock Price Forecasting Skripsi Oleh Program Studi Teknik Informatika', 2022.
- [8] C. A. Windani, 'Strategi dan Tantangan Era Big Data bagi Masyarakat Modern', *Deviance Jurnal Kriminologi*, vol. 7, no. 2, p. 101, Dec. 2023, doi: 10.36080/djk.2385.
- [9] O. Pratama and J. H. Jaman, 'Penerapan Data Mining Menggunakan Algoritma Apriori Untuk Mengetahui Kebiasaan Konsumen Dan Prediksi Stok Produk', *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 3, pp. 1837–1844, 2023.
- [10] A. Wijaya, A. Faqih, D. Solihudin, C. L. Rohmat, and S. E. Permana, 'Penerapan Association Rules Menggunakan Algoritma Apriori Untuk Identifikasi Pola Pembelian', *JATI (Jurnal Mahasiswa Teknik Informatika)*, vol. 7, no. 6, pp. 3871–3878, 2023.
- [11] R. D. Parinduri, S. Defit, and G. W. Nurcahyo, 'Implementasi Algoritma Apriori dalam Data Mining untuk Optimalisasi Stok Obat di Apotik', *Jurnal KomtekInfo*, pp. 89–97, 2024.
- [12] M. A. Al-fath, 'Analisis Pengaruh Inflasi, Earning Per Share, Market Value, Variance Return, Dan Dividend Payout Ratio Terhadap Holding Period Saham (Studi Empiris Pada Perusahaan Tercatat Indeks LQ-45 Tahun 2016-2018)', 2019.
- [13] F. STIE Persada Bunda, 'Pengaruh Closing Price Terhadap Abnormal Return Pada Saham LQ45 (Perusahaan Yang Melakukan Pengumuman Deviden Tahun 2010 Di BEI)', vol. 1, no. 77, 2017.
- [14] Fatchurrochim, 'Analisis Pengaruh Profitabilitas, Solvabilitas, Suku Bunga, Dan Kurs Rupiah Terhadap Harga Saham Dengan Inflasi Sebagai Variabel Moderasi', 2017.
- [15] A. W. H. Utama, 'Inflasi Memoderasi Pengaruh Profitabilitas Terhadap Harga Saham (Studi Empiris Pada Sub Sektor Restoran, Hotel & Pariwisata Yang Terdaftar Di BEI Periode 2014-2018)', 2014.
- [16] Riswandi, D. Ernawati, and A. Mulyadi, 'Analisis Manajemen Risiko Operasional Bongkar Muat Menggunakan Metode HOR', *Jurnal Ensintech*, vol. 7, no. 2, pp. 123–130, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unma.ac.id/index.php/j-ensitec/article/view/2302>.
- [17] D. Sari and E. Suhartono, 'Analisis Bullwhip Effect pada CV. XYZ', *Jurnal Ensintech*, vol. 7, no. 3, pp. 85–92, 2021, [Online]. Available: <https://ejournal.unma.ac.id/index.php/j-ensitec/article/view/2350>

ANALISIS SENTIMENT MASYARAKAT TERHADAP PABRIK DI JAWA BARAT SEBAGAI DASAR STRATEGI PENINGKATAN CITRA INDUSTRI DI MAJALENGKA

Intan Kusuma Dewi

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Majalengka

Email : ikd@unma.ac.id

ABSTRACT

The rapid development of the new industrial estate in Majalengka requires the support of a good image from the local community. This study aims to assess public sentiment towards factories in West Java as a basis for formulating strategies to improve the image of industry in Majalengka. The Support Vector Machine (SVM) method was applied to classify the sentiment of YouTube comments relating to the factory, after a process of data collection, text preprocessing, and lexicon-based sentiment labelling. The main findings indicated that people's sentiments were distributed in proportions of approximately 30% negative, 35% neutral, and 35% positive. The accuracy of the SVM model was recorded at 78.48%, while the confusion matrix indicated adequate classification performance of the sentiments. matrix indicates adequate classification performance for negative, neutral, and positive sentiments. negative, neutral, and positive sentiments. This finding indicates that there is a significant negative sentiment towards the significant negative sentiment towards the industry, although it is not dominant. In conclusion, sentiment analysis conducted through social media can serve as a basis for formulating public relations and Corporate Social Responsibility (CSR) strategies. Corporate Social Responsibility (CSR) strategies in an effort to improve the industry's image. The industry and the government are advised to improve clear communication and responsive CSR programmes, with the aim of reducing negative sentiment and strengthening public trust. strengthen public trust.

Keywords: *Sentiment Analysis, Social Media, Support Vector Machine, Industry Image, Majalengka*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 25-03-2025

Tanggal revisi : 30-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.14526>

I. PENDAHULUAN

Majalengka saat ini sedang berkembang menjadi kawasan industri baru di Jawa Barat, sejalan dengan adanya proyek Bandara Internasional Kertajati dan infrastruktur pendukung lainnya. Kehadiran industri di daerah ini diharapkan dapat

memberikan dampak positif terhadap pertumbuhan ekonomi serta meningkatkan penyerapan tenaga kerja lokal. Perkembangan industrialisasi, meskipun membawa kemajuan, sering kali dihadapkan pada tantangan yang berasal dari persepsi dan sentimen negatif

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



masyarakat. Isu-isu seperti lingkungan, keamanan, dan dampak sosial menjadi perhatian, sebagaimana yang telah terjadi di kawasan lain (Fachrudin, Angkoso and Fatah, 2024). Analisis sentimen menawarkan metode untuk mengevaluasi opini publik secara komprehensif melalui data yang diperoleh dari media social (Suandi *et al.*, 2024). Analisis sentimen memungkinkan pemerintah dan pelaku industri untuk mendeteksi ketidakpuasan atau dukungan masyarakat secara real-time, yang krusial untuk merumuskan strategi komunikasi yang efektif (Tri Nugroho and Noorlistyo Adi, 2024).

Studi sebelumnya telah menerapkan analisis sentimen di Indonesia untuk mengukur opini publik terhadap kebijakan dan sektor industri. Nugroho & Adi (2024) menunjukkan bahwa analisis sentimen media sosial dapat meningkatkan persepsi publik yang lebih positif terhadap instansi pemerintah melalui komunikasi proaktif. Di sektor lingkungan, analisis menunjukkan bahwa mayoritas sentimen masyarakat Jakarta terhadap polusi udara cenderung negatif, yang mencerminkan ketidakpuasan publik. Sentimen publik terhadap aktivitas pertambangan emas di Indonesia menunjukkan kecenderungan kritis. Hal ini dapat dipahami mengingat kontroversi yang melingkupi isu tambang, sehingga penting untuk menganalisis opini publik demi terciptanya dialogue yang konstruktif antara pemangku kepentingan (Norlaila, Winarno and Luthfi, 2024). Penelitian-penelitian tersebut menekankan pentingnya analisis sentimen sebagai metode untuk mengidentifikasi pandangan masyarakat yang dapat berdampak pada citra suatu industri atau kebijakan.

Majalengka masih minim penelitian terkait persepsi masyarakat mengenai kehadiran industri baru. Penelitian ini berupaya untuk mengatasi kekosongan yang ada. Kami berfokus pada analisis sentimen dalam komentar masyarakat di YouTube yang berkaitan dengan pabrik di wilayah Jawa Barat, khususnya di Majalengka. Platform media sosial YouTube dipilih karena

jangkauan yang luas dan sifat interaktifnya; sering kali, publik memanfaatkan platform ini untuk menyampaikan opini mengenai isu-isu lokal maupun nasional. Survei terbaru menunjukkan bahwa internet dan media sosial berfungsi sebagai alat yang efektif dalam meningkatkan kesadaran publik terhadap isu-isu social. Di Indonesia, lebih dari 70% populasi terhubung dengan internet, dan platform media sosial seperti YouTube dan Twitter sering digunakan sebagai sarana untuk menyampaikan aspirasi serta keluhan dari masyarakat. Persepsi positif atau negatif yang berkembang di media sosial memiliki potensi untuk memengaruhi reputasi suatu institusi atau perusahaan secara signifikan (Suandi *et al.*, 2024). Persepsi negatif publik, jika tidak ditangani dengan baik, berpotensi menghalangi penerimaan masyarakat terhadap proyek industri dan mengurangi tingkat kepercayaan terhadap perusahaan.

Tujuan penelitian ini adalah: (1) Mengukur distribusi sentimen (positif, negatif, netral) masyarakat dalam komentar terkait pabrik di Jawa Barat; (2) Mengevaluasi kinerja model machine learning SVM dalam mengklasifikasikan sentimen tersebut; dan (3) Memberikan rekomendasi strategi peningkatan citra industri di Majalengka berdasarkan temuan sentimen. Dengan menganalisis proporsi dan tema sentimen publik, perusahaan dan pemerintah daerah dapat merumuskan strategi public relations dan CSR yang efektif untuk mengatasi sentimen negatif dan memperkuat citra positif (Citra Perusahaan, Melinda Savila and Savitri Setyo Utami, 2020).

Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi yang signifikan, tidak hanya dalam aspek akademis di bidang text mining dan analisis sentimen, tetapi juga dalam aplikasi praktis yang dapat mendukung pengambil kebijakan di sektor industri. Analisis sentimen yang dilakukan melalui media sosial dapat berfungsi sebagai peringatan dini bagi industri. Sebagai contoh, program pemerintah yang berfokus pada konversi dari kompor LPG ke kompor listrik menunjukkan bahwa analisis sentimen mampu mengidentifikasi

26% sentimen negatif dari publik, yang dapat dijadikan masukan untuk perbaikan proyek (Pratiwi, Damayanti and Laksono, 2023). Melalui pendekatan yang sama, penelitian ini diharapkan dapat memberikan pemahaman yang mendalam untuk strategi komunikasi dan CSR industri di Majalengka, dengan tujuan untuk memperbaiki citra di hadapan masyarakat lokal.

II. METODOLOGI

A. Data dan Sumber

Data yang digunakan adalah komentar YouTube yang diperoleh dengan menerapkan teknik web scraping. Ulasan ini bersumber dari berbagai video berita dan dokumentasi yang berkaitan dengan operasional pabrik serta kawasan industri di Jawa Barat pada tahun 2024–2025. Penggunaan komentar YouTube sebagai data berlandaskan pada premis bahwa platform ini merupakan sarana yang signifikan bagi publik Indonesia dalam berdiskusi dan memberikan tanggapan terhadap isu-isu industri. Jumlah komentar yang berhasil dikumpulkan mencapai 11.796 dari berbagai kanal YouTube berita lokal. Data yang ada terdiri dari teks komentar, tanggal publikasi, nama pengguna, serta jumlah like yang diterima oleh komentar tersebut. Tabel 1 berikut merupakan hasil dari proses scraping data dari Youtube.

Tabel 1. Hasil Scraper Youtube

| Index | textDisplay |
|-------|---|
| 0 | Pengusaha di palak Preman berkedok Ormas harus segera melapor ke Pihak yang berwajib agar segera dapat penangan Khusus. |
| 1 | ormas apa? sebutin dong, biar rakyat tahu, jangan jadi misteri aja |
| 2 | Paling ormas majority,.masak kagak tau? |
| 3 | @@TonyGunadi-ts6tm ormas mayoriti banyak , yang mana satu? |
| 4 | Ngak aman investasi di Konoha.... kabur aja... 😬😬😬 |

B. Praproses dan Pelabelan Sentimen

Seluruh komentar melalui tahap praproses untuk meningkatkan kualitas data, seperti pembersihan tanda baca, emoji, huruf kapital, normalisasi kata tidak baku, dan penghapusan stopwords. Kamus normalisasi digunakan untuk mengganti kata informal ke bentuk baku (misal: "nggak" menjadi "tidak"). Pelabelan sentimen dilakukan otomatis menggunakan pendekatan leksikon dengan kamus InSet (Indonesia Sentiment Lexicon) (Asri *et al.*, 2025). Metode ini menilai jumlah kata positif dan negatif dalam komentar untuk menentukan label: positif, negatif, atau netral (Fauziah, Yuwono and Aribowo, 2021). Pendekatan ini dipilih karena efisien, terutama saat data berjumlah besar dan tidak tersedia label manual. Metode serupa digunakan oleh Asri *et al.* (2025) pada 1.000 komentar. Hasil awal menunjukkan distribusi sentimen: 28% negatif, 33% netral, dan 39% positif, yang menandakan opini publik cukup tersebar merata antar kategori.

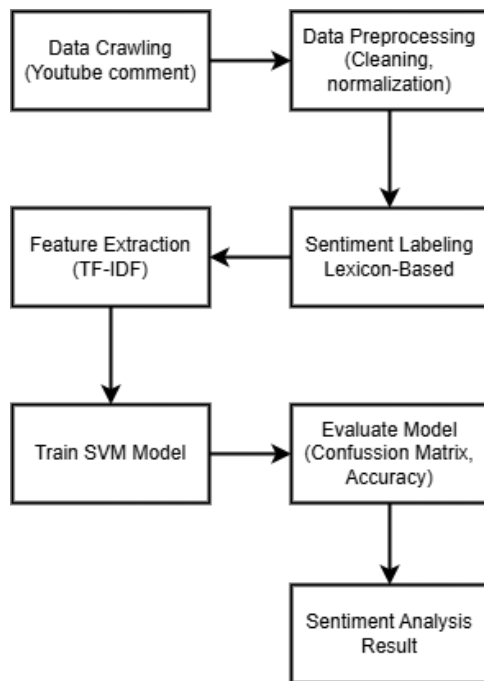
C. Algoritma Klasifikasi (SVM)

Setelah data berlabel tersedia, analisis dilanjutkan dengan melatih model Support Vector Machine (SVM) untuk klasifikasi sentimen. SVM dipilih karena dikenal handal untuk tugas klasifikasi teks dan efektif menangani data dimensi tinggi. Berbagai penelitian di Indonesia menunjukkan efektivitas SVM dalam analisis sentimen terhadap ulasan aplikasi dan media sosial. Contohnya, SVM mencapai akurasi 84,33% dalam mengklasifikasikan sentimen layanan internet Telkomsel (Fachrudin, Angkoso and Fatah, 2024), 85,54% pada ulasan aplikasi Grab (Wahyudi *et al.*, 2021), dan 84,38% pada ulasan aplikasi bank digital (Saputra and Sri Wahyuni, 2024). Dalam penelitian ini, fitur teks diekstraksi menggunakan metode TF-IDF (Term Frequency – Inverse Document Frequency) untuk merepresentasikan komentar dalam vektor numerik. Data dibagi menjadi data latih (training) dan uji (testing) dengan perbandingan 80:20 secara acak. Evaluasi model dilakukan menggunakan metrik akurasi, presisi, recall, dan skor-F1 untuk tiap kelas sentimen, serta confusion

matrix untuk melihat distribusi klasifikasi benar dan salah.

D. Prosedur Penelitian

Metodologi penelitian disusun sesuai dengan langkah-langkah yang ditunjukkan pada Gambar 1. Data yang telah dikumpulkan melalui serangkaian tahapan praproses dan pelabelan leksikon, diikuti dengan ekstraksi fitur, di mana model SVM dilatih dan dievaluasi secara sistematis. Proses komputasi dilaksanakan menggunakan bahasa pemrograman Python serta memanfaatkan pustaka scikit-learn untuk implementasi SVM. Hasil divalidasi melalui metode cross-validation serta perbandingan metrik dengan studi yang relevan.



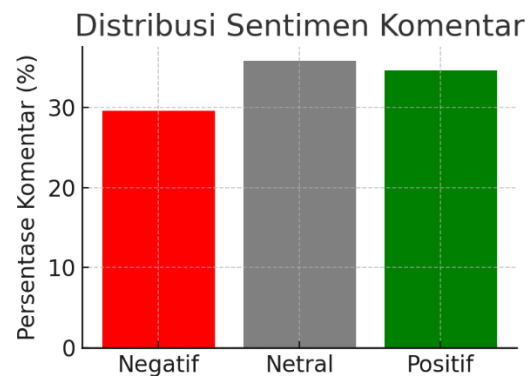
Gambar 1. Alur Penelitian

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Distribusi Sentiment Masyarakat

Df Analisis klasifikasi SVM pada data uji menunjukkan distribusi sentimen masyarakat dengan rincian sebagai berikut: 29,6% negatif, 35,8% netral, dan 34,5% positif. Gambar 2 menyajikan perbandingan proporsi dari ketiga kategori sentimen secara jelas. Data menunjukkan bahwa sentimen netral dan positif memiliki tingkat yang sedikit lebih tinggi dibandingkan dengan sentimen negatif. Walaupun sentimen

negatif tidak mendominasi, proporsinya mendekati sepertiga menunjukkan adanya kritik atau ketidakpuasan publik yang signifikan. Dalam konteks ini, studi lain di sektor kebijakan publik menunjukkan komposisi yang berbeda: misalnya, sentimen terhadap kebijakan ekonomi hijau di Indonesia tercatat 79,34% positif dan 20,66% negatif (Putri *et al.*, 2025), sementara sentimen terhadap pilot project kompor induksi PLN menunjukkan 26% negatif dan 50% positif (Pratiwi, Damayanti and Laksono, 2023). Temuan kami menunjukkan bahwa sentimen publik terhadap pabrik di Jawa Barat cenderung terpolarisasi dengan keseimbangan yang relative. Ini menunjukkan adanya dua kelompok masyarakat dengan pandangan yang berbeda terhadap keberadaan pabrik. Satu kelompok menilai secara positif, mungkin karena adanya peluang ekonomi, sementara kelompok lainnya menilai secara negatif, mungkin terkait isu polusi, lahan, atau aspek sosial.



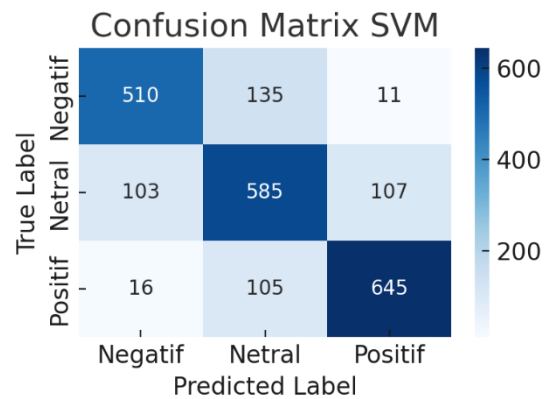
Gambar 2. Distribusi Sentiment Komentar

Temuan bahwa hampir sepertiga opini publik menunjukkan sentimen negatif perlu dianalisis lebih lanjut. Dalam studi kasus lain, dominasi sentimen negatif sering kali mencerminkan ketidakpuasan yang signifikan, seperti pada isu polusi udara di Jakarta, di mana lebih dari 50% sentimen bersifat negatif akibat buruknya kualitas udara (Aqsha, Trianasari and Sagita, 2025). Pada kasus Majalengka, porsi sentimen negatif yang mendekati 30% menunjukkan adanya kekhawatiran di kalangan masyarakat, yang mencakup isu-isu seperti dampak lingkungan dari pabrik, masalah tenaga kerja seperti upah buruh

yang rendah, serta potensi gesekan dengan ormas, sebagaimana tercermin dalam beberapa komentar. Sementara itu, sentimen positif sekitar 34% menunjukkan bahwa sejumlah masyarakat juga mengidentifikasi aspek positif dari industri, seperti penciptaan lapangan kerja baru atau pembangunan daerah. Sentimen positif ini sejalan dengan temuan Putri et al. (2025) yang menunjukkan bahwa 79% responden memberikan dukungan terhadap kebijakan ekonomi, khususnya dalam konteks ekonomi hijau, ketika manfaat jangka panjang disampaikan dengan jelas (Putri et al., 2025). Di Majalengka, penguatan sentimen positif publik dapat dicapai melalui narasi yang menekankan kontribusi industri terhadap kemajuan daerah serta kesejahteraan masyarakat.

B. Kinerja Model SVM

Model SVM yang dilatih menggunakan 80% dari data latih dan diuji dengan 20% dari data uji menunjukkan akurasi sebesar 78,48%. Hal ini menunjukkan bahwa sekitar 80% dari komentar telah dikategorikan dengan akurat. *Confusion Matrix* (Gambar 3) menyajikan prediksi yang tepat untuk masing-masing kategori: 510 untuk negatif, 585 untuk netral, dan 645 untuk positif. Recall tertinggi diperoleh pada kelas positif dengan nilai 84,2%, diikuti oleh kelas negatif yang mencapai 77,7%, dan kelas netral dengan 73,6%. Kesalahan klasifikasi paling sering terjadi antara kelas negatif dan netral, serta antara netral dan positif—situasi ini dapat dipahami mengingat perbedaan yang sering kali sangat tipis. Presisi untuk setiap kelas tercatat sebagai berikut: 81,1% untuk kelas negatif, 70,9% untuk kelas netral, dan 84,5% untuk kelas positif. Skor F1 yang diperoleh adalah 0,79 untuk negatif, 0,72 untuk netral, dan 0,84 untuk positif. Temuan ini mengindikasikan bahwa model ini paling efektif dalam mengidentifikasi komentar positif, sedangkan komentar netral tampak lebih menantang untuk dibedakan.



Gambar 3. Confusion Matrix

Dengan akurasi 78,5%, performa model SVM menunjukkan hasil yang memuaskan, terutama mengingat bahwa data dilabeli secara otomatis dengan menggunakan leksikon yang dapat mengandung *noise*. Hasil ini menunjukkan angka yang lebih tinggi dibandingkan dengan studi Jamil et al. (2024) yang mencatat akurasi 72,3% untuk komentar YouTube simulasi bencana (Jamil, Hadiyanto and Sanjaya, 2024), serta Baita et al. (2021) yang melaporkan 70% untuk SVM dan 56% untuk KNN dalam analisis sentimen vaksin (Baita and Cahyono, no date). Namun, hal ini masih memerlukan analisis lebih lanjut dengan data yang lebih terstruktur, seperti sentimen tweet Telkomsel (84%) (Fachrudin, Angkoso and Fatah, 2024) atau ulasan Indihome (87%) (Tineges, Triayudi and Sholihati, 2020). Hasil yang lebih rendah dalam studi ini mungkin disebabkan oleh komentar YouTube yang tidak terstruktur, yang mengandung bahasa gaul, sarkasme, dan emoji. Tantangan ini juga diidentifikasi oleh Hidayat et al. (2025), yang menerapkan model LABERT-LSTM untuk mencapai akurasi sebesar 95,7% (Hidayat, Prasetya and Widiyaningtyas, 2025).

Peningkatan akurasi di masa depan dapat difokuskan pada penerapan model deep learning berbasis BERT yang dirancang khusus untuk bahasa Indonesia. Model ini telah terbukti efektif dalam meningkatkan kinerja analisis sentimen di berbagai aplikasi, seperti IndoBERT yang berhasil mencapai akurasi 95% pada ulasan aplikasi video (Fiarni and Cellose, 2024). Penggunaan SMOTE secara penuh berpotensi untuk meningkatkan akurasi klasifikasi pada kelas minoritas. Dalam eksperimen yang kami lakukan, tingkat akurasi sebelum penerapan SMOTE tercatat sebesar 78,48%. Literatur menunjukkan

bahwa penerapan SMOTE dapat meningkatkan akurasi SVM sekitar 10% dalam konteks data yang tidak seimbang (Andriyani, Faqih and Permana, 2025). Meskipun dalam data kami kelas tidak terlalu timpang (proporsi mendekati seimbang), penerapan SMOTE dapat meningkatkan sensitivitas model terhadap kelas negatif. Meskipun jumlahnya lebih sedikit dibandingkan kelas positif, kelas negatif memiliki signifikansi strategis yang penting untuk diidentifikasi.

A. Implikasi Temuan terhadap Peningkatan Citra Industri

Analisis sentimen ini menghasilkan beberapa wawasan strategis yang dapat digunakan oleh pemangku kepentingan industri di Majalengka:

1. Sentimen negatif sekitar 30% mengindikasikan adanya area yang memerlukan perhatian khusus. Porsi ini menunjukkan adanya ketidakpuasan masyarakat terkait isu-isu seperti polusi, keamanan, dan kesejahteraan. Norlaila et al. (2024) menyoroti bahwa pandangan negatif masyarakat mencerminkan dampak sosial yang harus ditanggapi melalui dialogue terbuka (Tri Nugroho and Noorlistyo Adi, 2024). Perusahaan sebaiknya secara aktif membangun komunikasi, contohnya melalui forum masyarakat atau sosialisasi terbuka. Keterbukaan informasi menunjukkan kemampuan untuk meningkatkan sentimen positif, seperti yang ditunjukkan oleh Nugroho & Adi (2024) [researchgate.net].
2. Sentimen positif dan netral sebagai peluang citra. Sekitar 35% komentar positif menunjukkan adanya apresiasi terhadap manfaat industri seperti ekonomi dan CSR. Ini perlu dijaga lewat strategi public relations dan CSR yang berkelanjutan (Citra Perusahaan, Melinda Savila and Savitri Setyo Utami, 2020). Menunjukkan CSR PT Wijaya Karya efektif membangun citra positif, demikian pula pada PT Pertamina (Nurhaliza and Andiyansari, 2024). CSR

berbasis kebutuhan lokal seperti pengelolaan limbah dan beasiswa bisa memperkuat persepsi publik [journal.untar.ac.id].

3. Tanggapi isu spesifik penyebab sentimen negatif. Analisis lebih lanjut dapat mengungkap topik dominan seperti “polusi” atau “keamanan”. Solusinya perlu prioritas, seperti pengelolaan lingkungan atau penguatan keamanan partisipatif. Filayly & Ruliana (2022) menekankan pentingnya public relations dalam pemulihan citra melalui respons cepat dan empatik [journal.stmiki.ac.id].
4. Pemantauan sentimen secara rutin. Monitoring berkelanjutan diperlukan seperti disarankan Nugroho & Adi (2024). Pemerintah atau perusahaan dapat menggunakan dashboard sederhana untuk mengamati tren perubahan sentimen. Pew Research (2022) mencatat bahwa 77% masyarakat menilai media sosial efektif membangun kesadaran publik [econjournals.com; pewresearch.org]. Media sosial pun dapat menjadi alat evaluasi persepsi secara langsung.

Dalam konteks yang lebih luas, hasil ini konsisten dengan teori yang menyatakan bahwa interaksi komunikasi memiliki pengaruh signifikan terhadap persepsi publik terhadap industri. Apabila masyarakat merasa terlibat dan menerima informasi yang transparan, ada kecenderungan untuk meningkatkan dukungan mereka (sentimen positif meningkat). Di sisi lain, minimnya komunikasi atau pengalaman yang tidak memuaskan dapat memperkuat persepsi negatif. Dengan demikian, peningkatan citra industri Majalengka memerlukan pendekatan yang komprehensif: melakukan perbaikan yang signifikan pada isu-isu substansial seperti lingkungan dan sosial, serta memastikan komunikasi yang efektif mengenai langkah-langkah tersebut.

V. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sentimen masyarakat terhadap pabrik di Jawa Barat cukup

seimbang antara positif, netral, dan negatif, dengan sekitar 30% komentar bernada negatif. Model SVM mampu mengklasifikasikan sentimen dengan akurasi 78,48%, menjadikannya alat yang efektif untuk memahami opini publik. Temuan ini dapat dijadikan dasar dalam menyusun strategi peningkatan citra industri di Majalengka, terutama dengan memperkuat komunikasi publik dan program CSR, serta menanggapi isu-isu yang memicu sentimen negatif seperti polusi dan keamanan. Analisis sentimen berbasis media sosial terbukti praktis dan responsif dibanding survei konvensional, sehingga disarankan untuk diterapkan sebagai bagian dari evaluasi rutin pembangunan industri. Meski terbatas pada data YouTube dan pelabelan otomatis, penelitian ini tetap memberikan gambaran strategis yang bermanfaat bagi pengambil kebijakan dalam membangun citra industri yang lebih baik.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Andriyani, D., Faqih, A. and Permana, S.E. (2025) *Journal of Artificial Intelligence and Engineering Applications The Effect of SMOTE Application on Support Vector Machine Performance in Sentiment Classification on Imbalanced Datasets*. Available at: <https://ioinformatic.org/>.
- [2] Aqsha, M.R., Trianasari, N. and Sagita, A. (2025) *Analisis Sentimen Dan Jaringan Sosial Tentang Polusi Udara Jakarta Di Platform Media Sosial X Sentiment And Social Network Analysis Of Jakarta Air Pollution On Social Media Platform X*.
- [3] Asri, Y. et al. (2025) 'Sentiment analysis based on Indonesian language lexicon and IndoBERT on user reviews PLN mobile application', *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 38(1), p. 677. Available at: <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v38.i1.pp677-688>.
- [4] Baita, A. and Cahyono, N. (no date) *ANALISIS SENTIMEN MENGENAI VAKSIN SINOVAC MENGGUNAKAN ALGORITMA SUPPORT VECTOR MACHINE (SVM) DAN K-NEAREST NEIGHBOR (KNN)*.
- [5] Citra Perusahaan, P., Melinda Savila, D. and Savitri Setyo Utami, L. (no date) *Dela Melinda Savila, Lusya Savitri Setyo Utami: Strategi Corporate Social Responsibility dalam Strategi Corporate Social Responsibility dalam Pembentukan Citra Perusahaan (Studi pada Kegiatan CSR di PT. Wijaya Karya)*.
- [6] Caytiles. R. D., dan Lee. S. (2014). A Review of an MVC Framework based Software Development. *International Journal of Software Engineering and Its Applications*, 8(10): 213-220.
- [7] Fachrudin, M.F., Angkoso, C.V. and Fatah, D.A. (2024) 'Analisis Sentimen Pada Sosial Media Twitter Terhadap Kualitas Jaringan Internet Telkomsel Menggunakan Ensemble K-Nearest Neighbour -Support Vector Machine', *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(6), pp. 1253–1264. Available at: <https://doi.org/10.25126/jtiik.2024118713>.
- [8] Fauziah, Y., Yuwono, B. and Aribowo, A.S. (2021) 'Lexicon Based Sentiment Analysis in Indonesia Languages: A Systematic Literature Review', *RSF Conference Series: Engineering and Technology*, 1(1), pp. 363–367. Available at: <https://doi.org/10.31098/cset.v1i1.397>.
- [9] Fiarni, C. and Cellose, christell (2024) 'Sentiment Analysis Of Indonesian Video Streaming Application Services Reviews Using Fine-Tuning Indobert And Aspect Modeling', *Journal of Computer Sciences and Informatics*, (0), p. 1. Available at: <https://doi.org/10.5455/JCSI.20240915104407>.
- [10] Hidayat, M., Prasetya, D. and Widiyaningtyas, T. (2025) 'Sentiment Analysis of Latinized Arabic and Emoji in Indonesian YouTube Comments: A LABERT-LSTM Model', *Journal of Applied Engineering and Technological Science (JAETS)*, 6, pp. 1324–1341. Available at: <https://doi.org/10.37385/jaets.v6i2.7000>.
- [11] Jamil, M., Hadiyanto, H. and Sanjaya, R. (2024) 'Sentiment Analysis: Classifying Public Comments on YouTube in Disaster Management Simulation in Indonesia Using Naïve Bayes and Support Vector Machine', *Ingenierie des Systemes*

- d'Information*, 29(2), pp. 437–446. Available at: <https://doi.org/10.18280/isi.290205>.
- [12] Norlaila, N., Winarno, W.W. and Luthfi, E.T. (2024) 'Analisis Sentimen Masyarakat Tentang Tambang Di Indonesia Pada Twitter Menggunakan Data Mining', *JIPi (Jurnal Ilmiah Penelitian dan Pembelajaran Informatika)*, 9(3), pp. 1091–1099. Available at: <https://doi.org/10.29100/jipi.v9i3.5402>.
- [13] Nurhaliza, D. and Andiyansari, P. (2024) *Strategi Public Relations PC. GKBI dalam Membangun Citra Positif Perusahaan, Jurnal Indonesia : Manajemen Informatika dan Komunikasi (JIMIK)*. Available at: <https://journal.stmiki.ac.id>.
- [14] Pratiwi, C.D., Damayanti, R.W. and Laksono, P.W. (2023) 'Public Sentiment Analysis to Support Indonesian Government Induction Stove Program', in *E3S Web of Conferences*. EDP Sciences. Available at: <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202346502006>.
- [15] Putri, W.R.E. *et al.* (2025) 'Exploring Public Sentiment on Green Economy Policy: A Natural Language Processing-Based Analysis', *International Journal of Energy Economics and Policy*, 15(2), pp. 560–565. Available at: <https://doi.org/10.32479/ijeep.18360>.
- [16] Saputra, M. and Sri Wahyuni (2024) 'ANALISIS SENTIMEN PENGGUNA PADA APLIKASI BANK DIGITAL KROM DENGAN ALGORITMA SUPPORT VECTOR MACHINE', *INFOTECH journal*, 10(2), pp. 327–332. Available at: <https://doi.org/10.31949/infotech.v10i2.11801>.
- [17] Suandi, F. *et al.* (2024) 'Enhancing Sentiment Analysis Performance Using SMOTE and Majority Voting in Machine Learning Algorithms', in, pp. 126–138. Available at: https://doi.org/10.2991/978-94-6463-620-8_10.
- [18] Stoneman, R. (2008). *Alexander the Great: A life in legend*. Yale University Press.
- [19] Tineges, R., Triayudi, A. and Sholihati, I.D. (2020) 'Analisis Sentimen Terhadap Layanan Indihome Berdasarkan Twitter Dengan Metode Klasifikasi Support Vector Machine (SVM)', *JURNAL MEDIA INFORMATIKA BUDIDARMA*, 4(3), p. 650. Available at: <https://doi.org/10.30865/mib.v4i3.2181>.
- [20] Tri Nugroho, B. and Noorlistyo Adi, A. (2024) 'Sinergi International Journal of Communication Sciences Sentiment Analysis to Know Public Perception Regarding to Public Communication of Indonesian Customs and Excise', 1(2).
- [21] Wahyudi, R. *et al.* (2021) 'Analisis Sentimen pada review Aplikasi Grab di Google Play Store Menggunakan Support Vector Machine', *JURNAL INFORMATIKA*, 8(2). Available at: <http://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/ji>.
-

EVALUASI EFISIENSI ENERGI PADA SISTEM GREEN BUILDING: PENDEKATAN BERBASIS DATA DAN SIMULASI

Gufron Achmad Ramadhan¹, Mohammad Anshori², Agus Sulistiawan³

Teknik Mesin, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri

Email: gufronramadhan07@gmail.com¹, manshori@unugiri.ac.id², agus.dmc354@gmail.com³

ABSTRACT

Green Building is a sustainable development concept with an environmentally friendly, responsible, and all-taking process (Widyawati, 2018). Green Building is designed to reduce the impact of the environmental environment on human health and nature, there are six aspects or categories of criteria in the evaluation of the Green Building assessment by GBCI (Green Building Council Indonesia) including appropriate land use, energy efficiency and conservation, Water conservation, Material Sources and Cycles, Air Quality and Space Comfort and Environmental Managemen. Energy use efficiency can achieve optimal energy levels according to the function of the building. The purpose of this study is to determine the level of energy efficiency in the Santoso Hardjosuwito building in Unugiri. The method used in this study is a quantitative. The results of this study indicate that the Santoso Hardjosuwito UNUGIRI building shows that the results of a detailed energy audit per month on light intensity of 15.87 kWh/m². then electrical energy of 18 kWh/m²/Month. And for the air conditioning system of 14.05 kWh/m²/Month.

Keywords: *Green Building, Energy Efficiency and Conservation, Santoso Hardjosuwito Building UNUGIRI*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 29-03-2025

Tanggal revisi : 28-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.13639>

1. PENDAHULUAN

Energi merupakan peran penting dalam kehidupan manusia. Energi tak terbarukan menjadi faktor dalam pemanasan global. Salah satu pengguna energi tak terbarukan adalah bangunan. Untuk itu perlu adanya efisiensi energi pada bangunan supaya meminimalisir pengeluaran emisi karbon. Upaya untuk mengurangi dampak konsumsi energi yang berlebihan dengan menggunakan konsep *Green Building* [1]. *Green Building* merupakan bangunan gedung hijau yang memenuhi persyaratan bangunan gedung dan

memiliki kinerja terukur secara signifikan dalam penghematan energi, air dan sumber daya lainnya melalui perapan prinsip bangunan gedung hijau sesuai dengan fungsi dan klasifikasi dalam setiap tahapan penyelenggaraannya (Permen PURR No.02/PRT/M/2015) [2]. Kategori penilaian *Green Building* dalam standar salah satunya adalah efisiensi dan konservasi energi dan air. *Greenship Existing Building* merupakan salah satu kategori yang diterapkan oleh GBCI untuk penilaian *Green Building* pada bangunan.

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



Universitas Nahdlatul Ulama Sunan Giri merupakan salah satu perguruan tinggi swasta yang ada di Bojonegoro yang biasa disebut UNUGIRI. Unugiri merupakan kampus yang berada dibawah naungan Pengurus Besar Nahdlatul Ulama (PBNU), saat ini Unugiri dalam tahap pembangunan terus menerus. Pemilihan gedung Santoso Hardjosuwito di Unugiri sebagai objek penelitian karena gedung ini telah memiliki syarat untuk dilakukannya penelitian. Maka dari itu perlu adanya penelitian lebih lanjut mengenai konsep *Green Building* terhadap implementasi efisiensi energi pada gedung Santoso Hardjosuwito di Unugiri dengan standart *Greenship Existing Building*.

Green Building didesain untuk mengurangi dampak lingkungan lingkungan terhadap kesehatan manusia dan alam, ada enam aspek atau kategori kriteria dalam evaluasi penilaian *Green Building* oleh GBCI (*Green Building Council Indonesia*) diantaranya: Tepat guna Lahan (*Approtiate Site Developmen / ASD*), Efisiensi dan Konservasi Energi (*Energi Effeciency & Conservation / EEC*), Konservasi Air (*Water Conservation / WAC*), Sumber dan Siklus Material (*Material Resource and Cycle / MRC*), Kualitas Udara & Kenyaman Ruang (*Indoor Air Health and Confort / IHC*), dan Manajemen Lingkungan Bangunan (*Building and Enviroment Management / BEM*) [3].

Efisiensi energi merupakan salah satu konsep dari aspek *Green Building* untuk meningkatkan tingkat efisiennya. Dengan adanya konsep *Green Building* ini bisa mengurangi dampak negatif pada lingkungan [4]. Efisiensi penggunaan energi diperhitungkan dengan menerapkan persyaratan teknik efisiensi penggunaan energi dan air sesuai dengan pedoman dan standar teknis yang diperkirakan mampu mencapai konservasi energi yang berkisar 30-40% lebih baik dari yang awal yang di hitung berdasarkan syarat minimal SNI untuk gedung baru [5]. Beberapa aspek untuk memenuhi efisiensi energi diantaranya selubung bangunan, sistem ventilasi, sistem pengondisian udara, sistem pencahayaan, sistem transportasi dalam gedung, dan sistem kelistrikan.

Ada beberapa penelitian terdahulu yang menjadi acuan dalam penelitian ini di antaranya Penelitian yang dilakukan oleh Mohammad Fany Ardiansyah dalam judul “Analisis

Penerapan Konsep *Green Building* Berdasarkan *Greenship New Building* Versi 1.2 Pada Gedung CDAST Universitas Jember” . hasil dalam penelitian ini adalah gedung CDAST telah memenuhi empat kriteria dalam syarat kelayakan bangunan, sedangkan tiga kriteria yang lainnya belum tepenuhi [6]. Penelitian yang dilakukan oleh Uli Tresnawati, Endang Mulyani dan Rafie dalam judul “Analisis Kriteria *Green Building* Pada Gedung Laboratorium Terpadu IAIN Pontianak. Hasil dari penelitian menunjukkan bahwa gedung ini belum bisa dikatakan sebagai bangunan yang sesuai dengan konsep *green building* karena hanya memiliki 4 kriteria syarat kelayakan bangunan dan 2 kriteria persyaratan [7]. Penelitian yang dilakukan oleh Muhammad Arief Irfan dalam judul “Evaluasi Efisiensi Penggunaan Energi Kajian *Ex Post Facto* Penerapan Standar *Green Building* Gedung A ITSB. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa gedung ini mengonsumsi listrik dibawah 80 kWh/m²/tahun dalam standar efisiensi. Gedung ini mampu mereduksi penggunaan energi listrik secara baik [8].

Adapun tujuan dari penelitian ini adalah untuk mengetahui tentang implementasi efisiensi energi pada gedung Santoso Hardjosuwito.



Gambar 1. Gedung Santoso Hardjosuwito (Dokumen Pribadi)

2. METODE PENELITIAN

Dalam sebuah penelitian perlu adanya sebuah metode untuk menghasilkan sebuah data. Dalam penelitian ini, peneliti menggunakan metode analisis data kuantitatif. Penelitian kuantitatif

merupakan penelitian yang menyajikan data berupa angka-angka dari awal mulai sampai hasil akhir yang disajikan dalam bentuk angka [9].

Teknik pengumpulan data ini melalui beberapa tahapan proses yaitu dengan cara wawancara ke pihak pengelola gedung dan observasi secara langsung ke gedung Santoso Hardjosuwito . Setelah mendapatkan data-data penelitian peneliti menyiapkan beberapa alat untuk mengukur dan menghitung data yang dibutuhkan. Setelah data terkumpul dilakukan analisis untuk mengetahui hasil dari pengukuran yang dilakukan, kemudian disimpulkan dan di pertimbangkan kembali oleh pihak yang lebih faham mengenai efisiensi energi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada bab ini akan menjelaskan tentang implementasi efisiensi energi pada gedung Santoso Harjdosuwito. Berikut adalah hasil dan pembahasan penelitian:

Implementasi Efisiensi Energi

Penerapan penggunaan energi di gedung Santoso Hardjosuwito di UNUGIRI meliputi:

Penerangan

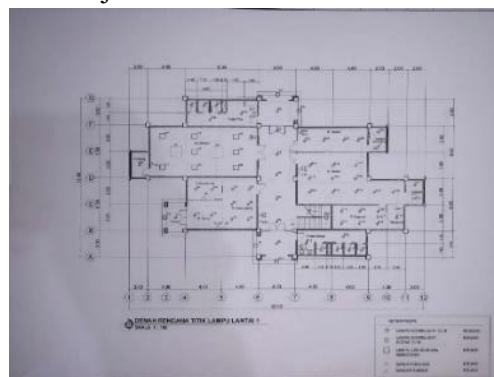
Ada beberapa jenis lampu yang digunakan di gedung Santoso Hardjosuwito ini diantara:

Tabel 1. Jenis dan Jumlah Lampu

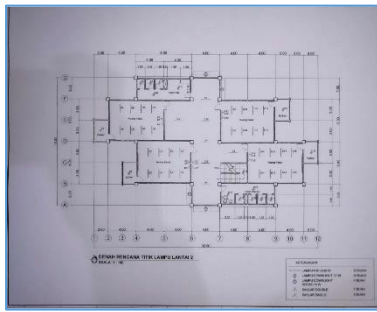
| Nama Ruangan | Jenis Lampu | Jumlah Lampu |
|------------------|-----------------|--------------|
| Ruang Auditorium | Lampu Led Slim | 8 |
| Ruang Tendik | Lampu Bohlam | 8 |
| Ruang Dosen | Lampu DownLight | 13 |
| Toilet | Lampu Downlight | 6 |
| Lorong | Lampu Downlight | 5 |
| Ruang Kelas 2.1 | Lampu TL | 8 |

| | | |
|-----------------|-----------------|---|
| Ruang Kelas 2.2 | Lampu TL | 8 |
| Ruang Kelas 2.3 | Lampu TL | 8 |
| Ruang Kelas 2.4 | Lampu TL | 8 |
| Lorong | Lampu Downlight | 5 |
| Toilet | Lampu Downlight | 6 |
| Ruang Kelas 3.1 | Lampu TL | 8 |
| Ruang Kelas 3.2 | Lampu TL | 8 |
| Ruang Kelas 3.3 | Lampu TL | 8 |
| Ruang Kelas 3.4 | Lampu TL | 8 |
| Lorong | Lampu Downlight | 5 |
| Toilet | Lampu Downlight | 6 |

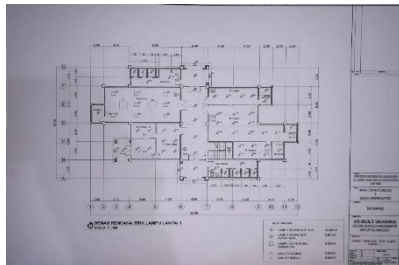
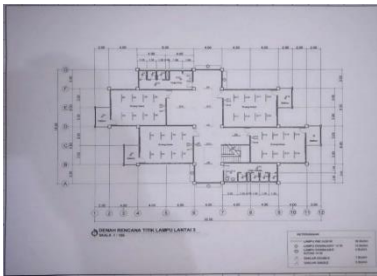
Adapun denah titik lampu yang ada di gedung Santoso Hardjosuwito adalah



Gambar 2. Denah Titik Lampu Lt 1 (Dokumen Lembaga)



Gambar 3. Denah Titik Lampu Lt 2 (Dokumen Lembaga)



Gambar 4. Denah Titik Lampu Lt 3 (Dokumen Lembaga)

Untuk mendapatkan nilai LUX pengukuran data menggunakan alat Lux Meter. Intensitas cahaya disetiap ruangan memiliki luas yang berbeda-beda. Untuk mendapatkan nilai Lux menggunakan alat Lux Meter. Kondisi Intensitas pencahayaan pada gedung Santoso Hardjosuwito di UNUGIRI sebagai berikut:

Tabel 2. Pengukuran Intensitas Cahaya

| Nama Ruang | Luas (m ²) | Beban Lampu (Watt) | Kuat Cahaya Terukur (Watt/m ²) | Standar |
|--------------|------------------------|--------------------|--|---------|
| Lt. 1 | | | | |
| Aula | 72 | 384 | 5,33 | 12 |
| Ruang Tendik | 24 | 280 | 11,6 | 12 |
| Ruang Dosen | 48 | 192 | 4 | 12 |

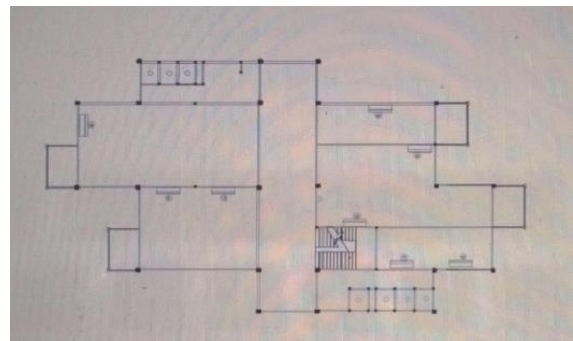
| | | | | |
|--------|----|----|---|----|
| Toilet | 24 | 72 | 3 | 12 |
| Lorong | | | | |

| | | | | |
|-----------------|----|-----|---|----|
| Lt 2 | | | | |
| Ruang Kelas 2.1 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 2.2 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 2.3 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 2.4 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Lorong | | | | 12 |
| Toilet | 24 | 72 | 3 | 12 |

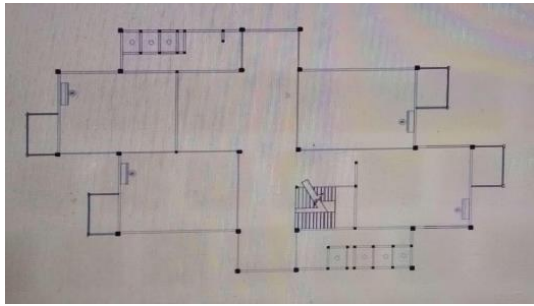
| | | | | |
|-----------------|----|-----|---|----|
| Lt 3 | | | | |
| Ruang Kelas 3.1 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 3.2 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 3.3 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Ruang 3.4 | 48 | 192 | 4 | 12 |
| Lorong | | | | 12 |
| Toilet | 24 | 72 | 3 | 12 |

Sistem Pengondisian Udara

Adapun denah titik AC Gedung Santoso Hardjosuwito adalah:



Gambar 5. Denah Titik AC Lantai 1 (Dokumen Lembaga)



Gambar 6. Denah Titik AC Lantai 2 & 3
 (Dokumen Lembaga)

Pengukuran beban tata udara pada gedung Santoso Hardjosuwito menggunakan data sheet yang terdapat pada AC. Berikut adalah beban tata udara pertahun sebagai berikut:

Tabel 3. Perhitungan AC

| Nama Ruang | Kapasitas AC | KW / TR | Data Rinci | Standart COP (SNI) | |
|-----------------|-----------------|---------|------------|--------------------|--------------|
| Lt. 1 | | | | | |
| Ruang Tendik | Pendingin | 5,13 | 1,5 | | |
| | Power Input | 1,64 | PK | | |
| | COP Desain | 5,13 | 1,5 | 2,7 | |
| Ruang Dosen | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | 1,64 | 1,17 | |
| | | :1,4 | 6= | Efisien 3,13 | |
| | Ruang Kelas 2.1 | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 |
| | | | 3,11 | 1,64: | 1,17 |
| | | | 64: | | |
| Lt. 2 | | | | | |
| Ruang Kelas 2.1 | Power input | 1,64 | 1,5 | | |
| | COP desain | | PK | | |
| Ruang Kelas 2.2 | EER | 5,13 | 1,5 | 2,7 | |
| | | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | 1,64 | 1,17 | |
| Ruang Kelas 2.3 | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | 1,64 | 1,17 | |
| | | :1,4 | 6= | Efisien 1,12 | |
| | Ruang Kelas 2.4 | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 |
| | | | 3,13 | 1,64 | 1,17 |
| | | | :1,4 | 6= | Efisien 1,12 |
| Lt 3 | | | | | |
| Ruang 3.1 | EER | 5,13 | 1,5 | 2,7 | |
| | | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | 1,64 | 1,17 | |
| Ruang 3.2 | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | 1,64 | 1,17 | |
| | | :1,4 | 6= | Efisien 1,12 | |
| | Ruang 3.3 | EER | :1,6 | 4= | Efisien 3,13 |
| | | | 3,13 | 1,64 | 1,17 |
| | | | :1,4 | 6= | Efisien 1,12 |

| | | | | |
|-----------|------------------------|--------|--------------|------|
| | | 1,64 | Efisien 1,12 | |
| | | :1,46= | | |
| | | 1,12 | | |
| Ruang 3.4 | Power input COP Desain | 1,64 | 1,5 PK | |
| | EER | 5,13 | | 2,7 |
| | | :1,64= | Efisien 3,13 | |
| | | 3,13 | | 1,17 |
| | | 1,64 | Efisien 1,12 | |
| | | :1,46= | | |
| | | 1,12 | | |

Hasil Perhitungan OTTV

Tabel 3 Hasil Perhitungan OTTV

| Side | Total Area Fasad | OTTV (Watt/m ²) |
|--------------|------------------|-----------------------------|
| Timur | 1.323,00 | 33,56 |
| Selatan | 1.335,60 | 34,00 |
| Barat | 1.323,00 | 32,83 |
| Utara | 1.335,60 | 34,19 |
| TOTAL | 5.317,20 | 33,64 |

Cara Mengevaluasi Tingkat Efisiensi Energi

Untuk mendapatkan tingkat efisiensi energi pada sebuah gedung perlu adanya beberapa langkah sebagai berikut:

- Menggunakan alat elektronik sesuai dengan kebutuhan dengan cara mematikan alat elektronik ketika sudah tidak dibutuhkan meliputi lampu, AC, Komputer dan alat elektronik lainnya.
- Menggunakan lampu hemat energi dan memanfaatkan energi terbarukan
- Melakukan pemeriksaan secara rutin pada sistem pencahayaan, sistem pendingin, konsumsi energi, isolasi dan ventilasi
- udara untuk memastikan supaya efisien dan sesuai dengan kebutuhan.
- Menggunakan alat dan metode evaluasi dengan perangkat lunak Energy Audit Software untuk menganalisis data konsumsi energi dan mengidentifikasi area yang perlu perbaikan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis implementasi efisiensi energi pada gedung Santoso Hardjosuwito UNUGIRI ditemukan hasil analisis yaitu bangunan gedung ini sudah menerapkan sistem *Green Building* dan hasil analisis secara keseluruhan dalam kategori layak baik dalam standarisasi maupun efisiensi. Hasil dari pengukuran efisiensi konsumsi energi listrik, sistem pengondisian udara, sistem pencahayaan pada gedung Santoso Hardjosuwito adalah hasil audit energi secara rinci perbulan pada intensitas cahaya sebesar 15,87 kWh/m². kemudian energi listrik sebesar 18 kWh/m²/Bulan, dan untuk sistem pengondisian udara sebesar 14,05 kWh/m²/Bulan.

Untuk mengevaluasi efisiensi energi pada gedung Santoso Hardjosuwito dengan penggunaan teknologi pada panel surya, lampu LED dan sistem pendingin sesuai dengan kebutuhan agar konsumsi energi bisa menjadi efisien

5. REFERENSI

- [1] Ramdani, M. 2024. Green Building Series: Konsep Green Building. <https://www.djkn.kemenkeu.go.id/kp-knl-padang/baca-artikel/16929/Green-Building-Series-Konsep-Green-Building.html>. Diakses tanggal 10 Maret 2025.
- [2] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat No.02/PRT/M/2015). Bangunan Gedung Hijau. Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat. Jakarta.
- [3] Green Building Council Indonesia. Greenship Rating Tools untuk Gedung Terbangun Versi 1.2.2013. Ringkasan Kriteria dan Tolak Ukur. Jakarta
- [4] Sulistyanto, T. 2011. Green Building Tidak Bisa Dilihat dari Fisik Bangunan. Majalah Techno Kontruksi, hal 12.
- [5] Gunawan, B. D. (2012). *Buku Pedoman Energi Efisiensi untuk Desain Bangunan Gedung di Indonesia*. Jakarta: Energy Efficiency and Conservation Clearing House Indonesia.

- [6] Ardiansyah, M.F.2020. Analisis Penerapan Konsep Green Building Berdasarkan GreenShip New Building Versi 1.2 Pada Gedung CDAST. *Skripsi*. Universitas Jember.
- [7] Trisnawati, U. dan Mulyani, E. dst. 2021. Analisis Kriteria Green Building Pada Gedung Laboratorium Terpadu IAIN Pontianak. *Skripsi*. Universitas Tanjungpura Pontianak.
- [8] Irfan, M.A. 2019. Evaluasi Efisiensi Penggunaan Energi Kajian *Ex Post Facto* Penerapan Standar *Green Building* Gedung A ITS. 2 (1):51
- [9] Sugiyono. 2018. Metode Penelitian Kuantitatif. Bandung. Alfabeta

PENGARUH ADITIF ADERCO TERHADAP SPECIFIC FUEL CONSUMPTION (SFC) PADA MESIN DIESEL DI PLTD LUWUK BANGGAI SULAWESI TENGAH

Moch. Syaiful Anwar¹, Mochamad Shaleh²

^{1,2}Program Studi Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Sunan Giri Surabaya

Jl. Brigjen Katamso II Waru Sidoarjo

Email: msa.syaiful1@gmail.com

ABSTRACT:

Electricity demand in Luwuk Banggai Sulawesi Tengah has continued to increase, requiring efficient operation of diesel power plants. The use of Biodiesel B35 as an alternative fuel introduces challenges related to lower fuel efficiency compared to conventional diesel. This study aims to evaluate the effect of Aderco additive on improving fuel efficiency in diesel engines at Luwuk Diesel Power Plant. A field experimental method was applied using a pre-test and post-test design by comparing engine performance before and after additive application. The analysis focuses on Specific Fuel Consumption as the main performance indicator, calculated from fuel consumption and power output under similar operating conditions. The results show that the use of Aderco additive reduces Specific Fuel Consumption in all tested units. Medium-speed engines demonstrate a more significant improvement, with a maximum reduction of 4.68%, while high-speed engines show a smaller decrease ranging from 1.02% to 1.35%. These findings indicate that the effectiveness of the additive is influenced by engine speed and combustion duration. In conclusion, the Aderco additive effectively improves fuel efficiency in diesel engines, particularly in medium-speed units, without requiring modifications to engine design.

Keywords: *diesel engine; biodiesel B35; fuel additive; specific fuel consumption; engine efficiency*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 29-03-2025

Tanggal revisi : 28-04-2025

Tanggal terbit : 25-06-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v11i02.18156>

1. PENDAHULUAN

Energi listrik merupakan komponen penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan aktivitas sosial di wilayah Luwuk. Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Luwuk (PLTD Luwuk) berperan sebagai salah satu penyedia utama energi listrik dan terus berupaya meningkatkan kinerja unit

pembangkitnya. Sebagai bagian dari kebijakan nasional terkait ketahanan energi dan pengurangan emisi, sektor pembangkitan telah menerapkan penggunaan Biodiesel B35, yaitu campuran 35% *Fatty Acid Methyl Ester* (FAME) dan 65% *High Speed Diesel* (HSD) (Kementerian Energi dan Sumber Daya

This is an open access article under the CC BY-4.0 license.



Mineral, 2020).

Meskipun memiliki keuntungan dari sisi lingkungan, penggunaan B35 menimbulkan tantangan operasional akibat sifat higroskopis FAME. Dibandingkan solar berbasis minyak bumi, biodiesel memiliki kecenderungan lebih tinggi menyerap air sehingga memicu kontaminasi mikroba dan mempercepat degradasi bahan bakar yang menyebabkan pembentukan sludge (Handayani, 2021; Hidayat dkk., 2020). Akumulasi sludge dapat menurunkan efisiensi pembakaran dan meningkatkan risiko korosi pada komponen sistem injeksi bahan bakar (Prabowo, 2019; Saputra, 2021).

Dari sisi termodinamika, efisiensi mesin diesel sangat dipengaruhi oleh efektivitas proses pembakaran yang umumnya diukur menggunakan parameter *Specific Fuel Consumption* (SFC). Nilai SFC yang lebih rendah menunjukkan pemanfaatan bahan bakar yang lebih baik. Namun demikian, biodiesel umumnya memiliki nilai kalor lebih rendah dan viskositas lebih tinggi dibandingkan solar konvensional sehingga berdampak negatif terhadap proses atomisasi bahan bakar dan meningkatkan konsumsi bahan bakar (Kurniawan dkk., 2022; Setyawan, 2019).

Selain itu, endapan sludge dapat menghambat aliran bahan bakar dan menyebabkan penurunan tekanan sehingga proses pembakaran menjadi tidak stabil. Kondisi ini dikenal sebagai hunting dan dapat menurunkan efisiensi mesin serta meningkatkan beban mekanis pada komponen mesin (Pradana dkk., 2020; Raharjo, 2019). Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan aditif bahan bakar mampu meningkatkan kualitas atomisasi, menjaga kestabilan bahan bakar, dan memperbaiki proses pembakaran melalui penurunan tegangan permukaan serta pendispersian kontaminan (Wibowo, 2020; Nasir dkk., 2021).

Hasil observasi di PLTD Luwuk menunjukkan bahwa pembentukan sludge pada bahan bakar B35 menyebabkan penyumbatan filter lebih cepat sehingga kontinuitas suplai bahan bakar menuju ruang bakar terganggu. Akibatnya, mesin

mengalami kondisi hunting dan penurunan kestabilan operasi. Selain itu, perbedaan kecepatan putaran mesin, khususnya antara mesin putaran menengah dan putaran tinggi, diperkirakan memengaruhi efektivitas aditif akibat perbedaan waktu retensi pembakaran (Nasir dkk., 2021).

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis sejauh mana penggunaan aditif Aderco mampu menurunkan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) pada mesin diesel putaran menengah dan putaran tinggi di PLTD Luwuk.

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, digunakan perlakuan kimia berupa *Fuel Oil Additive* (FOA) Aderco. Aditif ini berfungsi sebagai agen antimikroba untuk menekan aktivitas mikroorganisme serta sebagai dispersan yang mampu memecah sludge menjadi partikel sangat halus sehingga meminimalkan penggumpalan dan mencegah penyumbatan filter. Berbeda dengan aditif konvensional, Aderco diformulasikan sebagai senyawa organik bebas abu yang dapat meningkatkan kualitas pembakaran tanpa menghasilkan residu berbahaya (Setyawan, 2019; Wibowo, 2020).

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen lapangan dengan membandingkan data performa mesin sebelum dan sesudah penambahan Aderco. Analisis difokuskan pada perubahan nilai SFC, kebersihan sistem bahan bakar, dan kestabilan operasi pada mesin putaran menengah dan putaran tinggi.

Tujuan penelitian ini adalah (1) menganalisis pengaruh aditif Aderco terhadap penurunan nilai SFC pada mesin diesel berbahan bakar B35; (2) membandingkan efektivitas aditif pada mesin putaran menengah dan putaran tinggi; (3) mengevaluasi peran aditif dalam mengendalikan pembentukan sludge dan menjaga performa sistem filtrasi; (4) menilai keuntungan ekonomi melalui penghematan bahan bakar dan efisiensi operasional.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen lapangan dengan metode kuantitatif untuk mengevaluasi pengaruh aditif Aderco terhadap efisiensi bahan bakar

pada mesin diesel yang menggunakan Biodiesel B35. Desain penelitian menerapkan perbandingan *pre-test* (kondisi awal) dan *post-test* (hasil), di mana performa mesin sebelum penggunaan aditif dijadikan sebagai data dasar (*baseline*) dan dibandingkan dengan performa setelah perlakuan.

Penelitian dilaksanakan di Pembangkit Listrik Tenaga Diesel Luwuk (PLTD Luwuk), Sulawesi Tengah, Indonesia. Objek penelitian terdiri atas mesin diesel yang dikelompokkan menjadi dua kategori, yaitu mesin putaran menengah (*medium speed*) sekitar 750 RPM dan mesin putaran tinggi (*high speed*) sekitar 1500 RPM. Klasifikasi ini digunakan untuk menganalisis pengaruh kecepatan putaran mesin terhadap performa konsumsi bahan bakar.

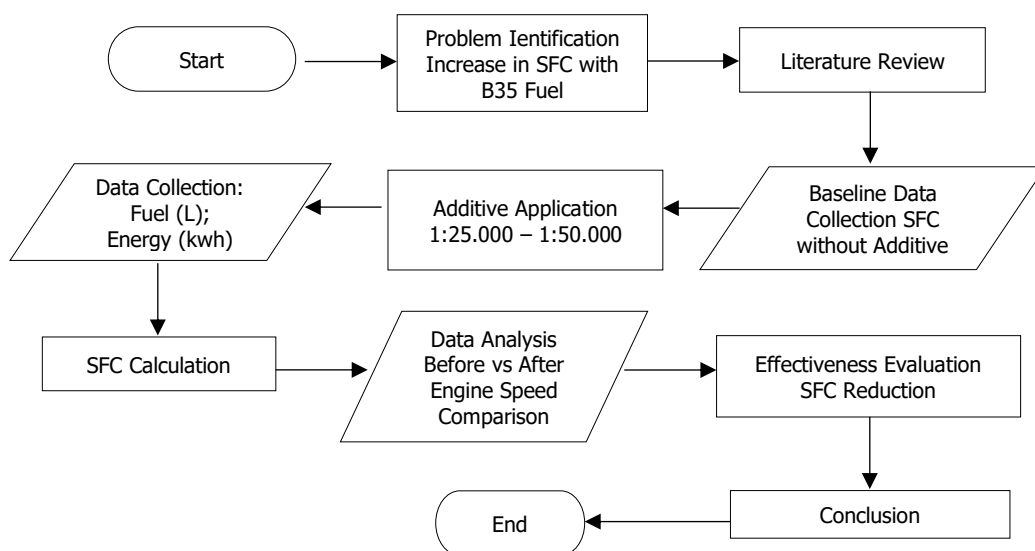
Material yang digunakan meliputi Biodiesel B35 (35% FAME dan 65% HSD) serta Fuel Oil Additive (FOA) Aderco. Aditif diaplikasikan dalam dua tahap, yaitu tahap awal dengan rasio dosis 1:25.000 dan tahap pemeliharaan dengan rasio 1:50.000. Aditif dimasukkan ke dalam tangki bahan bakar harian sebelum pengoperasian mesin untuk memastikan proses pencampuran berlangsung

optimal.

Pengumpulan data difokuskan pada dua parameter utama, yaitu konsumsi bahan bakar (liter) yang diukur menggunakan flow meter dan energi listrik yang dihasilkan (kWh) yang diperoleh dari kWh meter. Parameter tersebut dicatat secara periodik selama mesin beroperasi pada kondisi beban yang relatif sama.

Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah *Specific Fuel Consumption* (SFC), yang dihitung sebagai rasio antara konsumsi bahan bakar terhadap energi listrik yang dihasilkan (L/kWh). Analisis data dilakukan menggunakan pendekatan komparatif dengan mengevaluasi perbedaan nilai SFC sebelum dan sesudah penggunaan aditif. Selain itu, hasil analisis juga dikaji berdasarkan kategori kecepatan putaran mesin untuk mengidentifikasi variasi efektivitas aditif.

Efektivitas aditif ditentukan berdasarkan persentase penurunan nilai SFC. Penurunan SFC yang signifikan menunjukkan peningkatan efisiensi bahan bakar dan kualitas pembakaran pada mesin diesel. Berikut merupakan alur pelaksanaan penelitian:



Gambar 1. Alur Pelaksanaan Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis performa mesin difokuskan pada nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC), yang merupakan indikator efisiensi paling representatif dalam operasional Pembangkit Listrik Tenaga Diesel (PLTD). Data yang

disajikan diperoleh dari perbandingan antara operasional menggunakan Biodiesel B35 murni (data dasar/*baseline*) dan operasional menggunakan B35 yang telah diberi injeksi aditif Aderco selama periode pengujian. Perubahan nilai SFC mencerminkan sejauh

mana aditif mampu meningkatkan energi yang dihasilkan dari setiap satuan bahan bakar yang dikonsumsi.

Pengujian dilakukan pada mesin diesel di PLTD Luwuk dengan membandingkan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC) sebelum dan sesudah penggunaan aditif Aderco pada kondisi operasi yang relatif sama. Data diperoleh dari pengukuran konsumsi bahan bakar (liter) dan energi listrik yang dihasilkan (kWh).

Hasil pengujian menunjukkan adanya penurunan nilai SFC setelah penggunaan aditif. Pada mesin putaran menengah (*medium speed*), penurunan nilai SFC lebih signifikan dibandingkan mesin putaran tinggi (*high speed*). Secara umum, penurunan SFC berada pada kisaran 3%–8%, tergantung jenis mesin dan kondisi operasional. Parameter utama yang dianalisis dalam penelitian ini adalah *Specific Fuel Consumption* (SFC) sebagai indikator efisiensi bahan bakar. Perhitungan SFC dilakukan menggunakan persamaan berikut:

$$SFC = \frac{\dot{m}_{fuel}}{P} \dots\dots(1)$$

Keterangan:

\dot{m}_{fuel} = laju konsumsi bahan bakar (liter/jam)

P = daya listrik yang dihasilkan (kW)

1. Medium-Speed Engine (sebelum aditif)

$$SFC = \frac{1000}{278}$$

$$SFC = 0.278 \text{ L/kWh}$$

2. Medium-Speed Engine (sesudah aditif)

$$SFC = \frac{1000}{265}$$

$$SFC = 0.265 \text{ L/kWh}$$

3. Percentage Reduction

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{SFC \text{ Baseline} - SFC \text{ Final}}{SFC \text{ Initial}} \times 100\% \dots\dots (2)$$

$$\% \text{ Penurunan} = \frac{0.278 - 0.265}{0.278} \times 100\% = 4.68 \%$$

Hasil pengujian menunjukkan bahwa penggunaan aditif memberikan dampak positif terhadap efisiensi bahan bakar, yang ditunjukkan oleh penurunan nilai SFC pada kedua jenis mesin.

a) Analisis pada *Unit Medium Speed* (750 RPM)

Unit Medium Speed, yaitu Deutz dan ABC, menunjukkan respons yang sangat signifikan terhadap perlakuan aditif. Berdasarkan hasil observasi data, terlihat adanya tren penurunan SFC yang konsisten pada kelompok mesin ini

Tabel 1. Perbandingan SFC pada *Unit Medium Speed*

| Generating Unit | SFC Baseline (L/kWh) | SFC Post-Additive (L/kWh) | Reduction % |
|-----------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| Deutz Unit #3 | 0,278 | 0,265 | 4,68% |
| Deutz Unit #5 | 0,281 | 0,269 | 4,27% |
| Deutz Unit #4 | 0,285 | 0,274 | 3,86% |

Penurunan SFC tertinggi dicapai oleh Deutz Unit #3 dengan nilai sebesar 4,68%. Secara teknis, hal ini berkaitan erat dengan karakteristik desain mesin putaran menengah yang umumnya memiliki langkah piston lebih panjang dan volume silinder lebih besar. Mekanisme peningkatan performa ini dapat dijelaskan melalui dua fenomena utama:

(1) Optimalisasi Waktu Retensi

Pada kecepatan putaran 750 RPM, tersedia jendela waktu yang cukup bagi molekul aditif untuk bekerja dalam menurunkan tegangan permukaan bahan bakar

sebelum dan selama proses injeksi berlangsung. Waktu retensi pembakaran yang lebih lama memberikan peluang lebih besar bagi partikel bahan bakar yang telah teratomisasi secara halus akibat pengaruh aditif untuk mengalami oksidasi yang lebih sempurna dengan oksigen.

(2) Peningkatan Efisiensi Termal

Homogenisasi bahan bakar yang dihasilkan oleh mekanisme dispersi Aderco mampu meminimalkan pembentukan “zona kaya” (*rich zones*) di dalam ruang bakar yang biasanya menjadi penyebab terbentuknya

jelaga. Dengan proses pembakaran yang lebih bersih dan lebih cepat di sekitar Titik Mati Atas (TMA), energi ekspansi yang dihasilkan menjadi lebih optimal sehingga konsumsi bahan bakar per kWh dapat ditekan secara signifikan.

b) Analisis pada *Unit High Speed* (1500 RPM) Berbeda dengan kelompok sebelumnya, unit Cummins yang beroperasi pada kecepatan tinggi menunjukkan pola perubahan yang lebih moderat, namun tetap mengindikasikan peningkatan efisiensi.

Tabel 2. Perbandingan SFC pada *Unit High Speed*

| Generating Unit | SFC Baseline (L/kWh) | SFC Post-Additive (L/kWh) | Reduction % |
|------------------|----------------------|---------------------------|-------------|
| Cummins Unit #13 | 0,295 | 0,291 | 1,35% |
| Cummins Unit #15 | 0,292 | 0,289 | 1,02% |

Data menunjukkan bahwa penurunan SFC pada unit Cummins berada pada kisaran 1,02% hingga 1,35%. Nilai ini jauh lebih kecil dibandingkan dengan unit Deutz. Fenomena ini dapat dijelaskan dari sudut pandang kinetika kimia dan dinamika fluida pada putaran tinggi:

(1) Keterbatasan Waktu Reaksi

Pada kecepatan 1500 RPM, siklus pembakaran berlangsung sangat cepat, yaitu sekitar 0,04 detik per siklus. Waktu tinggal (*residence time*) bahan bakar di dalam silinder menjadi sangat singkat, sehingga peningkatan kualitas atomisasi akibat penggunaan aditif memiliki keterbatasan dalam meningkatkan efisiensi termal secara signifikan dalam waktu singkat.

(2) Stabilitas dibanding Efisiensi

Meskipun penurunan SFC relatif kecil, hasil observasi lapangan menunjukkan adanya keuntungan kualitatif yang penting. Unit Cummins memperlihatkan kestabilan frekuensi dan beban yang lebih baik. Berkurangnya gejala hunting (fluktuasi putaran) menunjukkan bahwa suplai bahan bakar menjadi lebih lancar, kemungkinan disebabkan oleh sistem filtrasi dan injektor yang lebih bersih dari akumulasi sludge.

Perbedaan hasil antara 4,68% pada unit Deutz dan 1,35% pada unit Cummins menghasilkan kesimpulan akademik bahwa efektivitas aditif bahan bakar organik pada Biodiesel B35 berbanding lurus dengan waktu retensi pembakaran. Semakin rendah putaran mesin, semakin besar peluang aditif dalam mengoptimalkan proses oksidasi hidrokarbon, yang pada akhirnya menghasilkan penghematan bahan bakar yang lebih signifikan dan peningkatan efisiensi

operasional.

Penurunan nilai SFC yang diperoleh menunjukkan bahwa aditif Aderco mampu meningkatkan kualitas pembakaran pada mesin diesel berbahan bakar B35. Temuan ini sejalan dengan konsep teoritis bahwa efisiensi pembakaran sangat dipengaruhi oleh kualitas atomisasi bahan bakar dan homogenitas campuran udara–bahan bakar

(Heywood, 2018; Stone, 2017). Aditif bahan bakar diketahui mampu menurunkan tegangan permukaan dan memperbaiki karakteristik semprotan bahan bakar, sehingga proses pembakaran menjadi lebih sempurna (Lapuerta dkk., 2017; Agarwal, 2018). Ketika proses pembakaran menjadi lebih efisien, energi yang dihasilkan per satuan bahan bakar meningkat sehingga nilai SFC menjadi lebih rendah.

Perbedaan penurunan SFC antara mesin putaran menengah dan putaran tinggi dapat dijelaskan melalui waktu retensi pembakaran (*combustion residence time*). Mesin putaran menengah memiliki durasi pembakaran yang lebih panjang, sehingga aditif dapat bekerja lebih efektif dalam meningkatkan proses atomisasi dan pencampuran udara–bahan bakar (Rakopoulos dkk., 2017; Giakoumis, 2019). Sebaliknya, mesin putaran tinggi memiliki waktu pembakaran yang lebih singkat sehingga efektivitas aditif menjadi lebih terbatas. Hal ini sesuai dengan penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa peningkatan efisiensi akibat penggunaan aditif cenderung lebih rendah pada mesin berkecepatan tinggi (Monyem & Van Gerpen, 2017; Qi dkk., 2018).

Selain itu, penggunaan biodiesel B35 yang memiliki viskositas lebih tinggi dibandingkan solar konvensional dapat menyebabkan proses atomisasi kurang optimal. Aditif membantu mengatasi kondisi tersebut dengan

memperbaiki karakteristik aliran bahan bakar sehingga efisiensi pembakaran meningkat (Knothe & Razon, 2017; Atabani dkk., 2018). Hasil penelitian ini juga sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa penggunaan aditif bahan bakar dapat menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik sekitar 2% hingga 10%, tergantung kondisi mesin dan jenis bahan bakar yang digunakan (Ashraf dkk., 2017; Dhar & Agarwal, 2018). Oleh karena itu, hasil yang diperoleh dalam penelitian ini masih berada dalam rentang yang wajar dan dapat diterima secara ilmiah.

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan aditif Aderco pada bahan bakar B35 efektif dalam meningkatkan efisiensi mesin diesel, khususnya pada mesin putaran menengah. Temuan ini memperkuat konsep bahwa modifikasi sifat bahan bakar melalui penggunaan aditif merupakan pendekatan praktis untuk mengoptimalkan performa mesin tanpa memerlukan modifikasi desain mekanis.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penggunaan aditif Aderco pada Biodiesel B35 memberikan pengaruh positif terhadap performa mesin diesel yang ditunjukkan melalui penurunan nilai *Specific Fuel Consumption* (SFC). Hasil penelitian memperlihatkan bahwa mesin putaran menengah mengalami penurunan SFC yang lebih signifikan dengan nilai maksimum mencapai 4,68%, sedangkan mesin putaran tinggi menunjukkan penurunan yang lebih rendah, yaitu antara 1,02% hingga 1,35%. Perbedaan tersebut sangat dipengaruhi oleh waktu retensi pembakaran, di mana mesin dengan putaran lebih rendah memiliki durasi pembakaran yang lebih panjang sehingga aditif dapat bekerja lebih optimal dalam meningkatkan atomisasi bahan bakar dan efisiensi pembakaran. Keunggulan utama penggunaan aditif Aderco terletak pada kemampuannya meningkatkan kualitas pembakaran tanpa memerlukan modifikasi desain mesin, sehingga menjadi solusi yang praktis dan ekonomis untuk meningkatkan efisiensi bahan bakar. Namun demikian, efektivitasnya relatif terbatas pada mesin putaran tinggi karena waktu pembakaran yang lebih singkat.

5. REFERENSI

- [1] Kementerian Energi dan Sumber Daya Mineral. Laporan kebijakan Biodiesel B35. Jakarta: Pemerintah Indonesia; 2020.
- [2] Handayani R. Analysis of biodiesel degradation and sludge formation in diesel engines. *J Renew Energy Stud.* 2021;12(2):88–96.
- [3] Hidayat T, Prasetyo B, Nugroho A. Microbial contamination in biodiesel fuel systems and its impact on engine performance. *Int J Fuel Technol.* 2020;9(3):144–152.
- [4] Prabowo A. Hygroscopic properties of biodiesel and operational impacts on diesel engine systems. *J Sustain Fuel Technol.* 2019;7(1):45–53.
- [5] Saputra D. Sludge formation and filtration challenges in B35 fuel systems. *J Energy Power Syst.* 2021;10(1):33–41.
- [6] Kurniawan A, Santoso D, Firmansyah R. Effect of fuel additives on atomization characteristics and specific fuel consumption reduction in diesel engines. *J Mech Eng Res.* 2022;14(1):15–24.
- [7] Setyawan B. The role of organic additives in improving diesel combustion efficiency. *J Mech Energy Eng.* 2019;6(3):118–126.
- [8] Pradana Y, Wijaya H, Setiawan D. Effect of fuel instability on diesel engine performance under fluctuating loads. *J Power Plant Eng.* 2020;11(2):77–85.
- [9] Raharjo S. Fuel system contamination and filtration efficiency in biodiesel applications. *J Ind Mech Syst.* 2019;5(2):60–68.
- [10] Wibowo H. Economic analysis of fuel additive implementation in diesel power plants. *J Appl Energy Syst.* 2020;8(2):91–99.
- [11] Nasir M, Rahman A, Yusuf M. Combustion characteristics in medium- and high-speed diesel engines using biodiesel blends. *Int J Engine Res.* 2021;22(4):1012–1021.
- [12] Heywood JB. *Internal combustion engine fundamentals.* 2nd ed. New York: McGraw-Hill Education; 2018.
- [13] Stone R. *Introduction to internal combustion engines.* 4th ed. London: Palgrave Macmillan; 2017.
- [14] Lapuerta M, Armas O, Rodríguez-Fernández J. Effect of biodiesel fuels on diesel engine emissions. *Prog Energy Combust Sci.* 2017;34(2):198–223.
- [15] Agarwal AK. *Biofuels and their impact on engine performance.* Berlin: Springer; 2018.
- [16] Rakopoulos CD, Antonopoulos KA, Rakopoulos DC, Hountalas DT, Giakoumis EG. *Comparative*

- performance and emissions study of a direct injection diesel engine using blends of diesel fuel with vegetable oils or biodiesels. *Renew Energy*. 2017;33(8):1883–1901.
- [17] Giakoumis EG. Diesel engine performance and emissions under transient operating conditions. Berlin: Springer; 2019.
- [18] Monyem A, Van Gerpen JH. The effect of biodiesel oxidation on engine performance and emissions. *Biomass Bioenergy*. 2017;25(3):317–325.
- [19] Qi DH, Chen H, Geng LM, Bian YZ. Combustion and performance evaluation of biodiesel produced from waste cooking oil in a diesel engine. *Renew Energy*. 2018;34(12):2706–2713.
- [20] Knothe G, Razon LF. Biodiesel fuels. *Prog Energy Combust Sci*. 2017;58:36–59.
- [21] Atabani AE, Silitonga AS, Ong HC, Mahlia TMI, Masjuki HH, Badruddin IA, et al. Non-edible vegetable oils: A critical evaluation of oil extraction, fatty acid compositions, biodiesel production, characteristics, engine performance, and emissions production. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018;18(1):211–245.
- [22] Ashraful AM, Masjuki HH, Kalam MA, Rizwanul Fattah IM, Imtenan S, Shahir SA, et al. Production and comparison of fuel properties, engine performance, and emission characteristics of biodiesel from various non-edible vegetable oils: A review. *Energy Convers Manag*. 2017;80:202–228.
- [23] Dhar A, Agarwal AK. Performance, emissions and combustion characteristics of biodiesel fuelled compression ignition engine: A review. *Renew Sustain Energy Rev*. 2018;72:1293–1309.



9 772407 600008

