

ANALISIS JARINGAN KOMPUTER LABORATORIUM FAKULTAS ILMU KOMPUTER UNIVERSITAS KATOLIK SANTO THOMAS MEDAN

Serliana Barutu¹, Leni Kartika Simbolon², Yustri Insani Berasa³, Michele Abelisa Manalu⁴

^{1,2,3,4}Teknik Informatika, Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Katolik Santo Thomas

Email: serlianabarutu@gmail.com

ABSTRACT

The aim of this study is to evaluate the performance of the computer network in one of the organization's labs of the Faculty of Computer Science at Universitas Katolik Santo Thomas by measuring important network metrics such throughput, latency, packet loss, and jitter. Using a quantitative methodology with tools like iPerf, the testing was carried out at peak hours on five computers connected to the local network. The findings indicate that all parameters are in the excellent range, with the exception of jitter, which saw modest drop from the prior investigation. In contrast to earlier studies conducted at the faculty wide level, this one recorded improvements in throughput and packet loss indicators, while latency remained constant and jitter somewhat decreased. These results demonstrate a considerable advance in the performance of the local network, demonstrating increased efficiency and dependability. It is expected that the findings of this research will help to improve network infrastructure planning and maintenance in academic institutions.

Keywords: Computer Network, Throughput, Delay, Packet Loss, Jitter, Network Performance, Performance Evaluation

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 12-07-2025

Tanggal revisi : 14-10-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.15061>

1. PENDAHULUAN

Kemajuan sistem digital di area perguruan tinggi telah meningkatkan permintaan untuk layanan teknologi yang cepat dan dapat diandalkan. Hal ini telah menjadikan jaringan komputer menjadi infrastruktur yang penting dalam aktivitas akademik, administratif, dan operasional dalam lingkungan perguruan tinggi. Dalam proses pertukaran data, baik dalam kegiatan pembelajaran daring, akses sistem informasi kampus, maupun layanan berbasis internet lainnya, kinerja jaringan menjadi faktor penentu agar proses-proses tersebut bisa berjalan dengan lancar. Oleh karena itu, untuk memastikan bahwa layanan jaringan bekerja secara optimal, dibutuhkan pemantauan dan

evaluasi terhadap performa jaringan secara berkala.

Kecepatan transfer data (speed), throughput, delay, packet loss, dan jitter adalah beberapa ukuran umum untuk menilai bagaimana kinerja suatu jaringan. Spesifikasi kualitas dan stabilitas jaringan digambarkan oleh masing-masing parameter ini. Ukuran yang menunjukkan seberapa cepat data dapat ditransfer disebut dengan throughput, dimana pengukurannya dilakukan dalam bps atau bit per detik. Istilah ini merujuk pada total paket data yang berhasil diterima dalam waktu tertentu, kemudian jumlah tersebut dibagi dengan durasi waktu yang digunakan (Hasbi & Saputra, 2021). Waktu yang terbuang selama pengiriman paket dari asal menuju tempat tujuan disebut dengan delay

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



(Aprianto Budiman et al., 2020). Ukuran yang menunjukkan jumlah paket yang gagal dikirim atau hilang saat proses transmisi disebut dengan packet loss (Junirma Buttu, 2023). Jitter adalah variasi waktu kedatangan paket akibat perbedaan panjang antrian, waktu pemrosesan, dan penyusunan ulang paket. Selain itu, jitter juga disebut sebagai variasi delay dan berkaitan erat dengan latency dalam transmisi data jaringan (Adi Saputra & Mahendra Saputra, 2020).

Untuk melakukan pengukuran yang menyeluruh terhadap parameter-parameter tersebut dalam suatu lokasi yaitu salah satu laboratorium Fakultas Ilmu Komputer Universitas katolik Santo Thomas merupakan tujuan dari dilakukannya penelitian ini. Pemilihan satu lokasi ini dilakukan karena secara teknis, perangkat yang terhubung dalam suatu jaringan yang sama melalui satu access point akan memiliki performa yang cenderung seragam. Hal ini sejalan dengan pemahaman dari salah satu alumni yang telah melakukan analisis serupa. Selanjutnya, hasil pengukuran ini dibandingkan dengan data dari skripsi milik seorang alumni Fakultas Ilmu Komputer yang sebelumnya melakukan analisis jaringan secara lebih luas, mencakup seluruh fakultas yang ada di Unika Santo Thomas. Dengan perbandingan ini dapat dilihat sejauh mana hasil pengujian lokal dapat mencerminkan atau mendekati kondisi jaringan di lingkungan kampus.

Melalui pendekatan ini, penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi terhadap pemahaman yang lebih praktis dan efisien dalam mengevaluasi performa jaringan di Fakultas Ilmu Komputer Universitas Katolik Santo Thomas. Hasil penelitian ini dapat juga dibuat menjadi bahan pertimbangan dalam pengembangan infrastruktur jaringan yang lebih stabil, andal, dan sesuai dengan kebutuhan institusi pendidikan di masa mendatang.

2. METODE PENELITIAN

Pendekatan yang digunakan dalam metode ini ialah dengan menggunakan peningkatan kuantitatif untuk menganalisis kinerja jaringan komputer di salah satu laboratorium Fakultas Ilmu Komputer Universitas Katolik Santo Thomas. Pemilihan laboratorium ini didasarkan pada penggunaan jaringan intensif untuk kegiatan mahasiswa serta representatif dengan kondisi jaringan yang berada dalam satu subnet yang sama dengan lab fakultas lainnya. Penilaian dilakukan

dengan pengukuran langsung parameter daya jaringan, yaitu bandwidth, throughput, delay, packet loss, dan jitter.

Lokasi dan Ruang Lingkup

Penelitian dilakukan di salah satu laboratorium yang tergabung dalam jaringan internal Fakultas Ilmu Komputer. Laboratorium ini dipilih karena mencerminkan infrastruktur jaringan fakultas secara keseluruhan, yang memanfaatkan satu titik akses dan terletak pada satu subnet yang sama. Studi ini juga mengacu pada tesis seorang lulusan yang melakukan pengumpulan kinerja jaringan pada tingkat fakultas. Untuk alasan tersebut, studi ini akan mengevaluasi apakah hasil pengukuran yang dilakukan ditingkat local dapat mempresentasikan keadaan jaringan secara keseluruhan.

Prosedur Pengujian

Pengukuran dilakukan empat komputer berbeda dalam laboratorium. Pengukuran dilakukan dalam dua sesi waktu yang berbeda, yaitu pada saat jam sibuk dan jam tidak sibuk. Tujuannya ialah untuk melihat pengaruh trafik terhadap performa jaringan. Adapun langkah-langkah pengujian ialah :

a) Throughput

Throughput adalah jumlah data yang sebenarnya ditransfer pada bandwidth yang diukur pada momen tertentu saat file sedang diunduh (Saputra et al., 2023). Semakin tinggi throughput semakin baik performa jaringan. Dalam penelitian ini, aplikasi iPerf digunakan untuk mengukur throughput, yang memberikan hasil berupa kecepatan transfer aktual selama pengujian berlangsung.

Rumus throughput (bps):

$$\text{Throughput} = \frac{\text{Jumlah bit diterima}}{\text{Waktu transmisi (detik)}} \quad (1)$$

Rumus throughput (%):

$$\text{Throughput (\%)} = \left(\frac{\text{Jumlah data diterima}}{\text{Jumlah data dikirim}} \right) \times 100\% \quad (2)$$

b) Delay

Delay adalah waktu yang dibutuhkan oleh data untuk mengirimkan sebuah paket dari satu komputer ke komputer lain yang menjadi sasaran (Utami, 2020). Pengukuran dilakukan menggunakan perintah *ping* dari titik uji ke gateway dan juga ke server eksternal. Untuk mendapatkan nilai delay rata-rata secara lebih akurat, digunakan rumus sebagai berikut:

$$Delay_{avg} = \frac{Total\ Delay}{Total\ packet\ yang\ diterima} \quad (3)$$

c) Packet Loss

Packet loss merujuk pada jumlah paket yang gagal mencapai tempat tujuannya (Prasetyo & Tan, 2021). Packet loss dapat berdampak langsung dalam kualitas layanan, terutama untuk data *real-time*. Pengukuran packet loss dilakukan menggunakan *ping* dan iPerf dalam mode UDP.

$$Packet\ loss\ (\%) = \frac{Jumlah\ paket\ hilang}{Jumlah\ total\ paket} \times 100\% \quad (4)$$

d) Jitter

Jitter merupakan total dari semua penundaan yang terjadi saat dikirim hingga diterima. Jika angka jitter hamper, maka kecewaan jaringan sangat cepat, tetapi jika tidak demikian, kecepatan jaringan akan menjadi lambat sehingga dapat kehilangan informasi selama proses pengiriman (Hikam & Yusuf, 2021).

$$Jitter\ rata-rata = \frac{1}{n-1} \sum_{i=2}^n |Delay_i - Delay_{i-1}| \quad (5)$$

e) Bandwidth

Bandwidth adalah kapasitas kabel ethernet untuk mengirim paket data. Manajemen bandwidth perlu dilakukan karena banyak pengguna yang menggunakan jaringan yang sama. Tujuannya untuk memastikan hanya pengguna yang berhak dapat menggunakan layanan internet dan untuk memantau penggunaan internet (Abdul Azis et al., 2023). Bandwidth dapat dihitung berdasarkan spesifikasi perangkat keras atau hasil maksimum dari pengujian iPerf dalam mode TCP. Nilai ini berguna untuk membandingkan potensi jaringan dengan performa sebenarnya.

Bandwidth = Throughput maksimal (dalam kondisi ideal)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pengukuran

Bagian ini menyajikan hasil pengukuran performa jaringan berdasarkan empat parameter utama, yaitu throughput, delay, packet loss, dan jitter. Uji cob aini dilakukan pada lima komputer yang terkoneksi dengan jaringan local selama pengguna beraktivitas di laboratorium tinggi. Tabel berikut menampilkan hasil pengukuran dan indeks penilaian.

Tabel 1. Hasil Pengukuran Parameter Jaringan

PC	Throughput (%)	Delay (ms)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)
PC1	100	62,9	0	0,326
PC2	100	62,9	0	1,257
PC3	100	62,9	0	1,460
PC4	100	62,9	0	0,467
PC5	100	62,9	0	0,711

Keterangan indeks:

4 = sangat baik

3 = baik

2 = buruk

1 = sangat buruk

Tabel 2. Indeks Penilaian Hasil Pengukuran

Analisis Performa Jaringan

PC	Throughput (%)	Delay (ms)	Packet Loss (%)	Jitter (ms)
PC1	4	4	4	4
PC2	4	4	4	4
PC3	4	4	4	4
PC4	4	4	4	4
PC5	4	4	4	4

a) Throughput

Semua PC menunjukkan nilai throughput sebesar 100% yang berada pada indeks ke-4, yang mengidentifikasi bahwa seluruh paket data yang dikirim berhasil diterima tanpa mengalami kehilangan. Ini menunjukkan bahwa keadaan jaringan sangat baik dan stabil.

b) Delay

Semua PC memiliki nilai delay yang sama, yaitu sebesar 62,9 ms yang juga berada pada indeks ke-4. Nilai ini tergolong rendah dan sangat baik untuk berbagai jenis aplikasi. Klasifikasi pada indeks ke-4 menunjukkan bahwa dalam pengujian ini, performa jaringan berada dalam kondisi optimal.

c) Packet Loss

Semua PC menunjukkan nilai packet loss yang sama, yaitu 0% yang berada pada indeks ke-4, yang menggambarkan tidak ada paket yang tidak diterima selama proses pengiriman. Keadaan ini menunjukkan bahwa jaringan sangat stabil.

d) Jitter

Jitter di semua PC juga berada di indeks ke-4 (kategori sangat baik), dengan rincian sebagai berikut:

- a) PC1: 0,326 ms
- b) PC2: 1,257 ms
- c) PC3: 1,460 ms
- d) PC4: 0,467 ms
- e) PC5: 0,711 ms

Seluruh nilai jitter menunjukkan bahwa jaringan memiliki tingkat stabilitas waktu yang tinggi dalam pengiriman data.

Evaluasi Masalah Performa Jaringan

Pengujian performa jaringan dilakukan pada waktu ramai, yaitu antara 10.00 dan 12.00 WIB, dimana aktivitas pengguna di laboratorium meningkat. Hasil pengukuran telah menunjukkan bahwa throughput, delay, packet loss, dan jitter mencapai indeks ke-4, yang berada dalam kategori sangat baik. Oleh karena itu, jaringan tetap menunjukkan kestabilan yang tinggi serta memiliki kapasitas yang cukup untuk menangani aktivitas pengguna pada banyak perangkat yang digunakan secara bersamaan.

Perbandingan dengan Penelitian Sebelumnya

Untuk menilai sejauh mana hasil pengujian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya, dilakukan perbandingan dengan salah satu penelitian terdahulu yang relevan, yaitu oleh Sumbayak (2023) yang berjudul *Analisis dan Pengembangan Jaringan Komputer Universitas Katolik Santo Thomas*. Penelitian tersebut menggunakan parameter pengukuran yang serupa yaitu throughput, delay, packet loss, dan jitter.

Tabel 3. Perbandingan Rata-rata Hasil Pengujian

Parameter	Indeks Penelitian Terdahulu (2023)	Indeks Penelitian Ini (2025)
Throughput	3	4
Delay	4	4
Packet Loss	3	4
Jitter	4	3

Berdasarkan hasil analisis perbandingan antara indeks kuliatas parameter jaringan dari studi sebelumnya (2023) dengan studi saat ini (2025), terdapat perbedaan yang cukup mencolok dalam beberapa aspek. Hal ini menunjukkan baik adanya kemajuan maupun tantangan baru

terhadap performa jaringan. Pada parameter throughput, nilai indeks meningkat dari 3 ke 4. Peningkatan ini mengindikasikan bahwa jaringan yang diteliti dalam studi ini lebih efektif dalam mentransfer data dalam jangka waktu tertentu. Ini bisa diartikan bahwa kapasitas jaringan bertambah, baik dalam hal bandwith maupun efisiensi dalam menggunakan sumber daya. Sebagai hasilnya, data bisa dikirim dan diterima dengan kecepatan yang lebih tinggi dan stabil jika dibandingkan dengan dengan penelitian sebelumnya. Selanjutnya, untuk parameter delay, indeks tetap pada angka 4 di kedua studi. Ketepatan ini menunjukkan bahwa waktu tunda dalam pengiriman paket data tetap dalam batas yang bisa diterima dan tidak mengalami penurunan paket data tetap dalam batas yang bisa diterima dan tidak mengalami penurunan meskipun parameter throughput meingkat. Dengan kata lain, sistem jaringan dapat mengelola lonjakan data tanpa menyebabkan peningkatan waktu ttunda yang berarti, yang menunjukkan bahwa manajemen lalu lintas jaringan berfungsi dengan baik.

Parameter packet loss menunjukan kemajuan yang baik dengan naiknya indeks dari 3 menjadi 4. Kenaikan ini menunjukkan bahwa jumlah paket yang hilang saat transmisi telah berkurang. Penurunan dalam tingkat kehilangan paket ini mencerminkan peningkatan keandalan jaringan, yang mungkin disebabkan oleh peningkatan kualitas media transmisi, berkurangnya interferensi, atau pengaturan protokol jaringan yang lebih efisien. Tentu saja, hal ini berpengaruh positif terhadap kelancaran komunikasi data, terutama untuk aplikasi yang peka terhadap kehilangan paket seperti streaming video atau komunikasi suara.

Namun, tidak seperti paramer lainnya, jitter menunjukkan penurunan dari indeks 4 menjadi 3. Penurunan ini menunjukkan bahwa terdapat peningkatan variasi dalam waktu kedatangan paket data. Meskipun penurunan ini tidak berarti kondisi sudah buruk, tetapi tetap harus diperhatikan karena jitter yang dapat mempengaruhi kualitas layanan real-time seperti VoIP atau video conference. Ada beberapa kemungkinan penyebab penurunan ini, seperti fluktuasi trafik, perubahan jalur data dalam jaringan, atau gangguan kecil yang mungkin tidak terdeteksi pada lapisan bawah sistem jaringan.

Secara keseluruhan, evaluasi yang dilakukan menunjukkan bahwa kinerja jaringan dalam penelitian ini telah membaik jika dibandingkan dengan studi sebelumnya, terutama dalam aspek throughput dan packet loss, yang keduanya mengalami peningkatan yang cukup berarti. Delay tetap berada di kategori baik, sementara jitter menunjukkan penurunan kecil tetapi masih dalam batas yang dapat diterima. Hasil ini menandakan bahwa secara umum, kualitas jaringan telah mengalami peningkatan, meskipun perhatian terhadap stabilitas pengiriman data masih diperlukan agar semua parameter dapat mencapai performa terbaik.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis yang dilakukan terhadap empat parameter utama yang menentukan kualitas jaringan, yaitu dengan throughput, delay, packet loss, dan jitter, kita bisa menyimpulkan bahwa ada peningkatan dalam kinerja jaringan dalam penelitian ini (2025) dibandingkan dengan studi sebelumnya (2023). Peningkatan indeks pada parameter throughput menunjukkan bahwa kapasitas transmisi data kini lebih besar dan lebih stabil. Selain itu, terlihat adanya peningkatan pada kehilangan paket, yang dapat dilihat dari berkurangnya jumlah paket data yang hilang selama proses transmisi. Delay tetap dalam Dalam kategori yang baik, yang berarti waktu pengiriman data tetap efisien dan tidak menunjukkan peningkatan yang signifikan. Di sisi lain, walaupun jitter mengalami sedikit penurunan, nilai tersebut masih dianggap cukup dan tidak secara langsung memengaruhi kinerja layanan secara keseluruhan. Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa kualitas jaringan telah meningkat dalam aspek kecepatan, keandalan, dan efisiensi. Namun, penting untuk melakukan pemantauan dan optimalisasi yang berkelanjutan, terutama dalam hal kestabilan waktu pengiriman data, agar performa jaringan tetap optimal di tengah kondisi trafik yang berubah-ubah.

5. REFERENSI

- [1] Abdul Azis, Hendra Supendar, & Riza Fahlapi. (2023). Manajemen Bandwidth Menggunakan Mikrotik dengan Mode Simple Queues pada Koperasi Bank KB Bukopin. *SABER: Jurnal Teknik Informatika, Sains Dan Ilmu Komunikasi*, 1(4), 57–70. <https://doi.org/10.59841/saber.v1i4.474>
- [2] Adi Saputra, H., & Mahendra Saputra, G. (2020). Analisis QOS Jaringan 4G Dengan Menggunakan Aplikasi Wireshark. *Prosiding Seminar Nasional Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 5(1), 13–18.
- [3] Aprianto Budiman, M. Ficky Duskarnaen, & Hamidillah Ajie. (2020). Analisis Quality of Service (Qos) Pada Jaringan Internet Smk Negeri 7 Jakarta. *PINTER: Jurnal Pendidikan Teknik Informatika Dan Komputer*, 4(2), 32–36. <https://doi.org/10.21009/pinter.4.2.6>
- [4] Hasbi, M., & Saputra, N. R. (2021). Analisis Quality of Service (Qos) Jaringan Internet Kantor Pusat King Bukopin Dengan Menggunakan Wireshark. *Universitas Muhammadiyah Jakarta*, 12(1), 1–7. <https://jurnal.umj.ac.id/index.php/just-it/article/view/13596>
- [5] Hikam, M., & Yusuf, R. (2021). Analisis Implementasi Cos Untuk Mengatasi Masalah Delay, Jitter, Packetloss Menggunakan Cbwfq Pcq Cos Implementation Analysis for Solving Delay, Jitter, and Packet Loss Problems Using Cbwfq Pcq. *Jurnal Ilmiah NERO*, 6(2), 2021.
- [6] Junirma Buttu. (2023). Analisis Kinerja Jaringan Wlan pada Sekolah Menengah Pertama Negeri 6 Palopo. *BANDWIDTH: Journal of Informatics and Computer Engineering*, 1(1), 20–27. <https://doi.org/10.53769/bandwidth.v1i1.380>
- [7] Prasetyo, S. E., & Tan, E. (2021). Analisis Quality of Service (QoS) Jaringan Wireless 2.4 GHz dan 5 GHz di Dalam Ruang dengan Hambatan Kaca. *Jurnal Ilmiah Teknologi Informasi Asia*, 15(2), 103. <https://doi.org/10.32815/jitika.v15i2.609>
- [8] Saputra, F., Cut, B., & Nilamsari, F. (2023). Analisis Perbandingan Tiga Software Terhadap Pengukuran Quality Of service (QoS) Pada Pengukuran Jaringan Wireless Internet. *Jurnal Teknologi Informasi*, 2(1), 33–40.
- [9] Sumbayak, B. A. Y. (2023). *ANALISIS DAN PENGEMBANGAN JARINGAN KOMPUTER UNIVERSITAS KATOLIK SANTO THOMAS*.

- [10] Utami, P. R. (2020). Analisis Perbandingan Quality of Service Jaringan Internet Berbasis Wireless Pada Layanan Internet Service Provider (Isp) Indihome Dan First Media. *Jurnal Ilmiah Teknologi Dan Rekayasa*, 25(2), 125–137. <https://doi.org/10.35760/tr.2020.v25i2.2723>

KLASIFIKASI OPINI DARING IMPLEMENTASI TEKNOLOGI VIDEO UNDERSTANDING UNTUK KESELAMATAN KERJA INDUSTRI 4.0

Galih Pramudia¹, Ade Bastian^{2*}, Dadan Zaliluddin³

^{1,2,3}Program Studi Informatika, Fakultas Teknik, Universitas Majalengka

Email: galihuniverse@gmail.com¹, adebastian@unma.ac.id², [dadanz@unma.ac.id](mailto:dadan@unma.ac.id)³

ABSTRACT

The advancement of Industry 4.0 technologies has accelerated the adoption of artificial intelligence, including video understanding, to improve efficiency and workplace safety in industrial environments. However, the implementation of this technology has generated diverse public opinions, particularly on social media platforms such as X. This study aims to identify public perceptions regarding the use of video understanding to ensure workplace safety through online opinion classification. Data were collected from X using a web scraping technique based on selected keywords. The dataset then underwent a series of preprocessing steps, including case folding, filtering, tokenization, normalization, stopword removal, and stemming. Feature representation was carried out using TF-IDF, followed by classification with the Multinomial Naive Bayes algorithm. The model was chosen due to its suitability in handling short and unstructured text, which aligns with the characteristics of tweets. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, F1-score, and a confusion matrix. The results show that the majority of public opinions are neutral, with a smaller proportion of positive and negative sentiments. The model achieved a high performance with 98% accuracy and strong precision, recall, and F1-score across all sentiment classes. These findings provide insights into public acceptance of video understanding in workplace safety and can serve as valuable input for industry stakeholders in designing transparent and adaptive implementation strategies. Furthermore, this study highlights the contribution of data science in understanding societal perceptions of digital technologies in the modern era.

Keywords: Data Science, Naïve Bayes, Preprocessing, Video Understanding, X

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 21-10-2025

Tanggal revisi : 04-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16227>

1. PENDAHULUAN

Era Industri 4.0 ditandai dengan pemanfaatan teknologi cerdas dalam berbagai sektor, termasuk keselamatan kerja. Salah satu teknologi yang kini banyak diperbincangkan adalah video understanding, yakni kemampuan sistem untuk memahami dan menafsirkan konten

visual secara otomatis. Teknologi ini dipandang mampu membantu deteksi dini risiko kecelakaan dan memastikan kepatuhan terhadap standar keselamatan kerja secara real-time (Tang et al., 2025). Dengan kemampuan tersebut, video understanding menjadi solusi potensial dalam

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



mengurangi kecelakaan kerja yang masih menjadi persoalan serius di dunia industri.

Kecelakaan kerja tidak hanya berdampak pada produktivitas, tetapi juga pada aspek sosial, hukum, dan psikologis bagi para pekerja. Seiring meningkatnya kesadaran akan hak-hak pekerja dan kewajiban etis serta legal perusahaan dalam menyediakan lingkungan kerja yang aman, upaya memperkuat program keselamatan kerja menjadi semakin penting (Yogie Ernanda, 2023). Oleh karena itu, teknologi berbasis kecerdasan buatan seperti video understanding mulai mendapatkan perhatian sebagai pendekatan modern untuk mendukung lingkungan kerja yang aman.

Meski demikian, adopsi teknologi baru terutama yang berkaitan dengan pemantauan otomatis dan sistem pengawasan digital kerap memunculkan beragam respons dari masyarakat. Isu privasi, etika penggunaan, dan kepercayaan terhadap sistem berbasis kecerdasan buatan menjadi sumber perdebatan publik (Fahira Munawar et al., 2022). Media sosial, khususnya X (Twitter), berperan sebagai ruang terbuka tempat masyarakat menyuarakan pendapatnya secara spontan dan dalam skala besar (Gumilang & Riyandi, 2023). Dengan demikian, persepsi publik terhadap teknologi ini penting untuk dipahami karena dapat memengaruhi keberhasilan implementasinya di lapangan.

Untuk mengamati persepsi publik secara objektif, analisis sentimen menjadi pendekatan yang relevan. Analisis sentimen merupakan proses komputasi untuk mengevaluasi opini, emosi, dan sikap dalam teks (Aftab et al., 2023), baik secara umum maupun pada aspek tertentu melalui aspect-based sentiment analysis (Giffari, 2022). Dalam mengolah data opini dalam skala besar, diperlukan metode klasifikasi yang efisien. Multinomial Naive Bayes termasuk algoritma yang efektif untuk menganalisis teks pendek seperti tweet. Keunggulannya telah dibuktikan pada berbagai penelitian, mulai dari klasifikasi ulasan aplikasi Netflix (Khoirunnisaa et al., 2024), pendeteksian penyalahgunaan SMS (Amaia et al., 2023), hingga sentimen media sosial (Winahyu & Suharjo, 2021). Pendekatan ini bekerja melalui perhitungan probabilitas dalam memperkirakan kelas suatu data (Martantoh & Yanih, 2022), sehingga banyak digunakan dalam analisis opini publik (Prayoga Siswono et al., 2024; Aponno, 2022).

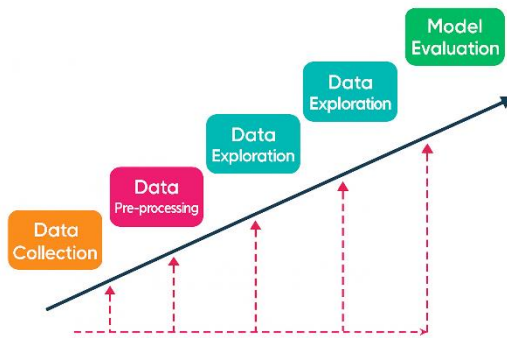
Sebelum proses klasifikasi dilakukan, data perlu melalui tahap preprocessing untuk meningkatkan kualitas teks agar siap diproses dalam model machine learning. Tahapan tersebut meliputi case folding untuk menyeragamkan huruf (Gustiara, 2023), filtering untuk menghapus angka, simbol, emotikon, dan tanda baca (Ramadhan & Mubarak, 2025), tokenization untuk memecah kalimat menjadi kata (Savitri et al., 2021), normalization untuk menyeragamkan kata tidak baku (Raif et al., 2024), stopword removal untuk menghilangkan kata umum yang tidak berkontribusi signifikan (Hendry et al., 2023), serta stemming untuk mengembalikan kata ke bentuk dasar (Soyusiawaty & Zahra, 2024). Representasi fitur dilakukan menggunakan TF-IDF yang dikenal efisien dan akurat dalam menentukan bobot kata penting (Putri Gabriella, 2023).

Dalam implementasinya, analisis dilakukan menggunakan Python karena memiliki pustaka lengkap dan mudah digunakan untuk pembangunan model machine learning (Gustiandi, 2023). Selain itu, Google Colab digunakan sebagai platform pemrograman berbasis komputasi awan yang mendukung pelatihan model secara daring (Vallejo et al., 2022). Dengan memanfaatkan media sosial sebagai sumber data opini publik dan algoritma pembelajaran mesin untuk klasifikasi, penelitian ini menganalisis persepsi masyarakat terkait penerapan teknologi video understanding dalam keselamatan kerja. Hasil penelitian diharapkan dapat memberikan gambaran objektif mengenai tingkat penerimaan publik serta menjadi masukan bagi industri dalam menyusun kebijakan implementasi yang lebih transparan dan adaptif (Yeung et al., 2021).

Penelitian ini bertujuan untuk mengklasifikasikan opini publik ke dalam kategori positif, netral, dan negatif menggunakan algoritma Multinomial Naive Bayes yang dikenal efektif untuk teks pendek seperti tweet (Aponno, 2022). Dengan memahami persepsi publik, perusahaan dapat menerapkan teknologi keamanan berbasis video secara lebih diterima dan bertanggung jawab oleh para pemangku kepentingan.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini, tahapan-tahapan dilaksanakan secara sistematis untuk memastikan bahwa setiap proses yang dilakukan dapat menghasilkan data dan analisis yang valid serta relevan terhadap tujuan penelitian. Tahapan tersebut dibagi menjadi 5 bagian utama yang mencakup proses pengumpulan data hingga evaluasi, yang tersaji pada gambar 1 dibawah ini :



Gambar 1. Tahapan Penelitian

Data penelitian dikumpulkan dari media sosial X menggunakan teknik web scraping dengan pustaka Python sncrape. Sebanyak 3.000 tweet berhasil diperoleh berdasarkan kata kunci “video understanding” dan “workplace safety”. Proses pembersihan dilakukan untuk memastikan kesesuaian dengan topik, sehingga tersisa 643 tweet yang dianggap relevan dengan penelitian ini.

Pra-pemrosesan teks dilakukan secara berurutan dengan beberapa tahap utama. Case folding digunakan untuk menyeragamkan huruf, filtering diterapkan untuk menghapus angka, tanda baca, emotikon, dan spasi ganda. Tahap tokenisasi memecah kalimat menjadi kata-kata tunggal, sementara normalisasi dilakukan untuk menyederhanakan bentuk kata yang tidak baku. Stopword removal menghapus kata umum yang tidak membawa makna signifikan, dan stemming menggunakan pustaka Sastrawi mengembalikan kata ke bentuk dasarnya. Setelah itu, representasi fitur dilakukan dengan metode TF-IDF agar setiap kata memiliki bobot berdasarkan frekuensi kemunculannya pada dokumen dan keseluruhan korpus.

Dataset yang telah dibersihkan dibagi menjadi dua bagian, yakni 514 data latih (80

persen) dan 129 data uji (20 persen). Model klasifikasi dibangun menggunakan algoritma Multinomial Naive Bayes yang cocok untuk dokumen teks pendek dengan distribusi kata bersifat diskret. Evaluasi dilakukan dengan mengukur akurasi, precision, recall, dan F1-score pada setiap kelas, serta menggunakan confusion matrix untuk menilai pola kesalahan klasifikasi.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

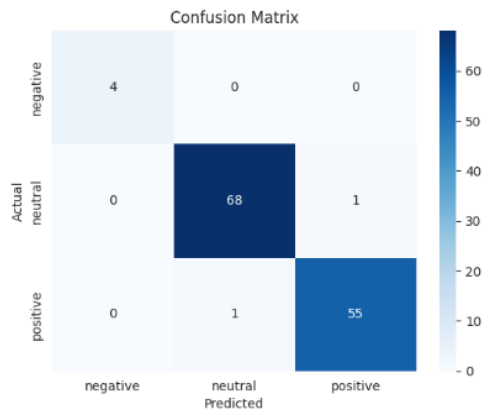
Pengolahan data dalam penelitian ini dilakukan untuk memperoleh informasi sentimen yang terkandung dalam tweet publik mengenai implementasi teknologi *video understanding* dalam konteks keselamatan kerja. Proses pengolahan mencakup tahapan transformasi data mentah menjadi bentuk yang dapat diinterpretasikan melalui teknik analisis teks dan klasifikasi berbasis machine learning. Berikut adalah contoh pengolahan data yang akan dilakukan misalkan terdapat tiga tweet berikut yang sudah dilabeli sentimennya secara manual seperti tersaji pada tabel 1 dibawah ini.

Tabel 1 Pelabelan Sentimen

Tweet	Teks Tweet	Label Sentimen
1	“video understanding membantu meningkatkan keselamatan kerja”	Positif
2	“pengawasan video berlebihan membuat pekerja tidak nyaman”	Negatif
3	“video digunakan di pabrik untuk memantau aktivitas kerja”	Netral

Setelah dilakukan proses seperti *case folding*, *filtering*, *tokenization*, dan *stopword removal*, seperti tersaji pada Tabel 2 dibawah ini.

Analisis confusion matrix memperlihatkan bahwa kesalahan klasifikasi umumnya terjadi pada sentimen netral yang terkadang dikategorikan sebagai positif atau negatif. Kesalahan ini dapat dipahami karena beberapa tweet informatif sering kali memiliki nuansa optimistis maupun kekhawatiran. Meski demikian, tingkat kesalahan sangat kecil, sehingga tidak memengaruhi performa keseluruhan model.



Gambar 6 Confusion Matrix

Berdasarkan hasil confusion matrix dari data uji 129, terdapat 4 negatif benar yang berhasil diprediksi oleh model, 68 netral berhasil diprediksi netral namun 1 netral diprediksi positif, dan 55 positif berhasil diprediksi positif tetapi 1 positif diprediksi netral. Jadi dari 129 ada 4 negatif, 69 netral, dan 56 positif. Temuan ini menunjukkan bahwa publik cenderung menerima teknologi video understanding sebagai sesuatu yang informatif dan bermanfaat, meskipun tetap ada kekhawatiran mengenai privasi. Bagi industri, hasil ini menjadi sinyal penting untuk menyusun kebijakan implementasi yang lebih inklusif, misalnya dengan memberikan jaminan perlindungan data dan penjelasan transparan kepada pekerja.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengklasifikasikan opini publik terkait penerapan video understanding dalam keselamatan kerja menggunakan algoritma Multinomial Naive Bayes. Dari total 3.000 tweet, mayoritas opini bersifat netral, dengan dukungan positif yang cukup besar dan hanya sebagian kecil opini negatif. Setelah proses pembersihan, tersisa 643

data relevan yang dibagi menjadi 514 data latih dan 129 data uji. Model memberikan performa tinggi dengan akurasi 98 persen dan nilai F1 yang konsisten pada seluruh kelas. Temuan ini membuktikan efektivitas Naive Bayes dalam analisis sentimen teks pendek dan memberikan wawasan berharga bagi industri dalam mengelola strategi implementasi teknologi berbasis video understanding. Untuk penelitian selanjutnya, performa Multinomial Naive Bayes dapat dibandingkan dengan algoritma lain seperti SVM, Random Forest, atau model deep learning berbasis CNN, LSTM, dan BERT untuk mengetahui model yang paling optimal dalam analisis teks pendek. Peningkatan pra-pemrosesan, seperti stemming, lemmatization, TF-IDF, serta penanganan bahasa campuran dan ekspresi sarkastik juga berpotensi meningkatkan akurasi. Selain itu, hasil penelitian dapat diimplementasikan dalam bentuk dashboard analitik atau sistem pendukung keputusan yang mampu memantau sentimen secara real-time, sehingga lebih aplikatif bagi industri dalam mengevaluasi dan meningkatkan strategi penerapan teknologi video understanding pada keselamatan kerja.

5. REFERENSI

- [1] Ernanda, M. Y. (2023). Peningkatan Keamanan dan Keselamatan Kerja di Lingkungan Industri. *Circle Archive*, 1(3), 2–12. Link: <https://circle-archive.com/index.php/carc/article/view/58/49>
- [2] Tang, Y., Bi, J., Xu, S., Song, L., Liang, S., Wang, T., ... Xu, C. (2023). Video Understanding with Large Language Models: A Survey. *arXiv Preprint arXiv:2312.17432*. Link: <https://arxiv.org/abs/2312.17432>
- [3] Munawar, I. F., Alamanda, D. T. (2022). Sikap Masyarakat Terhadap Aplikasi PeduliLindungi Menggunakan Multiatribut Fishbein. *JPKP – Jurnal Pembangunan dan Kebijakan Publik*, 13(1), 1–19. Link: <https://jurnal.fisipuniga.ac.id/index.php/jp/article/view/132>
- [4] Khoirunnisaa, N., Nabila, K., Kesuma, N., Setiawan, S., Yunizar, A., & Yusuf, P.

- (2024). Klasifikasi Teks Ulasan Aplikasi Netflix pada Google Play Store Menggunakan Algoritma Naive Bayes dan SVM. *Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*, 7(1), 64–73.
- [5] Amaia, E., Izzah, A. N., Akram, A., & Risal, N. (2023). Klasifikasi Penyalahgunaan Pesan Singkat Menggunakan Algoritma Naive Bayes. *Techno Xplore – Jurnal Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi*.
- [6] Winahyu, J., & Suharjo, I. (2021). Aplikasi Web Analisis Sentimen dengan Algoritma Multinomial Naive Bayes. *KARMAPATI – Kumpulan Artikel Mahasiswa Pendidikan Teknik Informatika*, 10(2).
- [7] Aftab, F., Aftab, T., Khalid, H., et al. (2023). A Comprehensive Survey on Sentiment Analysis Techniques. *International Journal of Technology*, 14(6), 1288–1298. DOI: <https://doi.org/10.14716/ijtech.v14i6.6632>
- [8] Giffari, M. R. A. (2022). Analisis Sentimen Berbasis Aspek pada Ulasan Aplikasi Tangerang Live Menggunakan Latent Dirichlet Allocation dan Naive Bayes.
- [9] Siswono, A. P., et al. (2024). Analisis Sentimen Pelantikan Presiden Indonesia 2024 Menggunakan Model Klasifikasi dan Algoritma Naive Bayes. *Jurnal Sistem Informasi*, 4(1).
- [10] Gustiara, D. (2023). Implementasi Latent Dirichlet Allocation Terhadap Data Kasus Tindak Pidana.
- [11] Ramadhan, M. Z., & Mubarak, R. (2025). Analisis Sentimen Masyarakat Terhadap Kenaikan Bahan Bakar Minyak pada Media Sosial YouTube dengan Metode K-Nearest Neighbor dan Support Vector Machine.
- [12] Savitri, N. L. P. C., Rahman, R. A., Venyutzky, R., & Rakhmawati, N. A. (2021). Analisis Klasifikasi Sentimen Terhadap Sekolah Daring pada Twitter Menggunakan Supervised Machine Learning. *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*, 7(1). DOI: <https://doi.org/10.28932/jutisi.v7i1.3216>
- [13] Raif, M. I., Hidayati, N. N., & Matulatan, T. (2024). Otomatisasi Pendeteksi Kata Baku dan Tidak Baku pada Data Twitter Berbasis KBBI. *Jurnal Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, 11(2), 337–348. DOI: <https://doi.org/10.25126/jtiik.20241127404>
- [14] Hendry, M., Sianturi, F., Ridok, A., & Santoso, E. (2023). Peringkasan Teks Otomatis Menggunakan Metode Latent Semantic Analysis pada Artikel Berita Ekonomi Berbahasa Indonesia. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Komunikasi (J-PTIHK)*. Link: <https://j-ptiik.ub.ac.id/>
- [15] Soyusiawaty, D., & A.-Zahra. (2024). Peran Algoritma Stemming Nazief Adriani dalam Peningkatan Relevansi Pencarian Dokumen. *Jurnal Kesatria Informatika*, 5(1). DOI: <https://doi.org/10.30645/kesatria.v5i1.335>
- [16] Putri Gabriella, Y. A. (2023). Optimasi Penerimaan Siswa Baru dengan Penerapan Algoritma Text Mining dan TF-IDF. *Journal of Computing and Informatics Research*, 2(3), 110–117. DOI: <https://doi.org/10.47065/comforch.v2i3.941>
- [17] Gumilang, W., & Riyandi, A. (2023). Sentimen Analisis Pengguna Twitter terhadap SEA Games 2023 dengan Metode Naive Bayes. *Jurnal Akademika*, 16(1). DOI: <https://doi.org/10.53564/akademika.v16i1.1125>
- [18] Martantoh, E., & Yanih, N. (2022). Implementasi Metode Naive Bayes untuk Klasifikasi Karakteristik Kepribadian Siswa di Sekolah MTS Darussa'adah Menggunakan PHP MySQL.
- [19] Gustiandi, B. (2023). Langkah Awal Menguasai Bahasa Pemrograman Python. Penerbit BRIN. DOI: <https://doi.org/10.55981/brin.633>

- [20] Vallejo, W., Díaz-Urbe, C., & Fajardo, C. (2022). Google Colab and Virtual Simulations: Practical E-Learning Tools to Support the Teaching of Thermodynamics and to Introduce Coding to Students. *ACS Omega*, 7(8), 7421-7429. DOI: <https://doi.org/10.1021/acsomega.2c00362>
- [21] Yeung, A. W. K., et al. (2021). Implications of Twitter in Health-Related Research: A Landscape Analysis of the Scientific Literature. *Frontiers in Public Health*, 9. DOI: <https://doi.org/10.3389/fpubh.2021.654481>
- [22] Aponno, J. C. (2022). Penerapan Algoritma Sentiment Analysis dan Naïve Bayes terhadap Opini Pengunjung di Tempat Wisata Pantai Pintu Kota, Kota Ambon. *Jurnal Ilmiah*, 9(4), 3180–3188. Link: <https://jurnal.mdp.ac.id>

ANALISA POSTUR DAN MOOD PEKERJA PEMOTONGAN BEBEK DALAM PENINGKATAN PRODUKTIVITAS

Diyah Dwi Nugraheni¹, Ayudyah Eka Apsari² dan Hardik Widananto³

¹Rekayasa Tekstil, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia

²Teknik Industri, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Indonesia

Email: 245261201@uii.ac.id

ABSTRACT

Comfort at work is an important factor in the production process. By paying attention to comfort at work, it will reduce the complaints at work. Uncomfortable working places and conditions can cause losses and even accidents for employees. One of the consequences of a lack of comfort and safety in working conditions is musculoskeletal disorders. This study took place in one of the ducks cutting businesses located in Sidowayah Village, Klaten, Central Java. Workers in this business still show several less ergonomic working positions, this is indicated by the many complaints of fatigue and work-related diseases felt by workers. ith complaints from workers who show indications of work-related diseases occurring in the upper body, this problem can be solved by the Rapid Upper Limb Assessment (RULA) Method. In addition, the mood factor of the workers themselves also affects worker productivity, worker mood analysis is measured using the Profile of Mood States (POMS) Method. The results of the measurements showed that workers in this duck cutting business still need to improve their workstations. The posture values obtained were 6, 4 and 5, indicating fatigue among the three workers with recommendations for improvement. Meanwhile, for the analysis of the mood of workers, it can be concluded that workers have different moods before and after work. The difference in mood shows results that are not too significant so that it can be interpreted that workers do not experience significant stress during work.

Keywords: *Musculoskeletal disorders, RULA, POMS*

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 09-07-2025

Tanggal revisi : 04-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.14148>

1. PENDAHULUAN

Kenyamanan dalam bekerja merupakan salah satu faktor penting dalam proses produksi, dengan memperhatikan kenyamanan dalam bekerja maka akan dapat mengurangi terjadinya keluhan-keluhan dalam bekerja (Dewanti & Perdana, 2020). Pada kegiatan industri, paparan dan resiko di tempat kerja cenderung ada di sekitar tempat

kerja dan pekerja. Kondisi tersebut ada kalanya tidak selalu dapat dihindari karena tuntutan pekerjaan. Tempat dan kondisi kerja yang kurang nyaman dapat menimbulkan kerugian bahkan kecelakaan pada karyawan. Akibat yang ditimbulkan dari kurangnya kenyamanan dan keamanan kondisi kerja salah satunya adalah keluhan *musculoskeletal disorders* (Ahmad, et al., 2020).

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



Studi tentang *musculoskeletal disorder* pada berbagai jenis industri telah banyak dilakukan dan hasil studi menunjukkan bahwa keluhan otot skeletal yang paling banyak dialami pekerja adalah otot bagian pinggang dan bahu. *Musculoskeletal disorder* adalah masalah ergonomi yang sering dijumpai ditempat kerja, khususnya yang berhubungan dengan kekuatan dan ketahanan manusia dalam melakukan pekerjaannya. Masalah tersebut lazim dialami para pekerja yang melakukan gerakan yang sama dan berulang-ulang secara terus menerus (Anggraini, et al., 2022).

Keluhan *musculoskeletal disorders* adalah keluhan pada bagian-bagian otot skeletal yang dirasakan oleh seseorang mulai dari keluhan yang sangat ringan sampai sangat sakit (Hunusalela, et al., 2022). Dampak langsung yang dirasakan mungkin hanya beberapa menit saja, namun jika dampak tersebut terjadi berulang kali maka dapat menimbulkan trauma dan menyebabkan kerusakan. Gejala-gejala yang muncul dapat berupa rasa kesemutan, sakit, timbulnya pembengkakan, mati rasa, dan rasa kaku. (Rozi & KN, 2021). Sebagian *musculoskeletal disorders* disebabkan oleh pekerja itu sendiri atau lingkungan kerjanya. Adapun faktor-faktor yang menyebabkan terjadinya gangguan ini adalah pekerjaan yang dilakukan berulang-ulang, sikap kerja yang tidak ergonomis, adanya vibrasi, kurangnya pengetahuan tentang tempat kerja, pengorganisasian kerja serta variasi kerja. Pada umumnya *musculoskeletal disorders* dialami pada bagian punggung, leher, bahu, lengan atas, dan pinggang. *Musculoskeletal disorders* jarang dialami pada anggota tubuh bagian bawah (Pusporini, et al., 2020).

Usaha pemotongan bebek ini merupakan salah satu usaha rumahan yang terdapat di Desa Sidowayah, Klaten, dimana usaha ini sudah mensuplai beberapa supermarket di wilayah Jawa tengah dan Jawa Barat. Para pekerja di usaha ini masih menunjukkan beberapa posisi kerja yang kurang ergonomis, hal ini ditandai dengan banyaknya keluhan kelelahan dan juga penyakit akibat kerja yang dirasakan oleh para pekerja. Dengan adanya keluhan dari para pekerja yang menunjukkan indikasi penyakit kerja terjadi di tubuh bagian

atas, maka permasalahan ini dapat diselesaikan dengan Metode *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA). Selain itu, faktor mood dari para pekerja sendiri juga mempengaruhi produktivitas pekerja, dimana analisis mood ini dapat dilakukan dengan Metode *Profile of Mood States* (POMS).

Metode POMS merupakan salah satu metode kuesioner yang bertujuan untuk menganalisa perasaan manusia (*mood*) (Hidayat, 2022). Metode POMS dikenalkan oleh Mc.Nair, D., Lorr, M., & Droppleman, L pada tahun 1971, aspek yang diukur dalam metode ini yaitu (i) Kelelahan (*fatigue*), (ii) Suasana marah (*anger*), (iii) perasaan semangat (*vigour*), (iv) Ketegangan (*tension*), (v) Suasana bingung (*confusion*), dan (vi) Depresi (*depression*) (Wahyudi & Fajarwati, 2020).

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian terdiri dari ruang lingkup penelitian, populasi dan sampel, instrumen penelitian, pengumpulan data dan pengolahan data.

a. Ruang lingkup penelitian

Penelitian dilakukan di usaha pemotongan bebek yang ada di daerah Sidowayah, Klaten, Jawa Tengah.

b. Populasi dan sampel

Populasi pada penelitian ini adalah pekerja dari usaha pemotongan bebek di daerah Sidowayah, Klaten, Jawa Tengah. Pemilihan responden dilakukan pada pekerja pemotongan bebek dari tiap-tiap dengan mempertimbangkan hasil bias untuk mengetahui tingkat kelelahan pekerja secara fisik dan mental.

c. Instrumen penelitian

Adapun peralatan yang digunakan dalam penelitian ini, adalah:

- 1) Kamera, yang digunakan sebagai alat untuk mendokumentasikan postur kerja.
- 2) Kuisisioner *Profile of Mood States* (POMS)
- 3) *Rapid Upper Limb Assessment* (RULA) *Worksheet*

d. Pengumpulan Data

Data yang dikumpulkan berupa data primer dan data sekunder.

- 1) Data Primer

Data primer adalah data yang diperoleh peneliti dari pengamatan dan penelitian terhadap objek penelitian di lapangan. Pada penelitian ini berupa hasil kuisioner POMS, data postur kerja, foto pekerja saat melakukan aktivitas.

2) Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari literatur dan referensi yang berhubungan dengan masalah yang diulas pada penelitian ini.

e. Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan, dengan menganalisa hasil POMS menggunakan excel dan melihat resiko kelelahan mental yang mungkin terjadi pada para pekerja pemotongan bebek. Pengolahan data dengan menggunakan RULA worksheet untuk mengukur postur kerja yang dilanjutkan dengan penentuan action level pada pekerja pemotongan bebek untuk mengetahui beban kerja fisik yang diterima dan menghindari resiko yang mungkin terjadi akibat kerja.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil dan pembahasan terbagi menjadi dua yaitu analisis postur kerja dan analisis mood pekerja.

a. Analisis Postur Kerja

Terdapat 3 pekerja yang dilakukan analisis postur kerja.

1) Pekerja 1

Dari data yang diambil pada pekerja 1 yaitu



Gambar 1. Pekerja 1

Pada pekerja 1, ditunjukkan posisi kerja pekerja pada posisi 80° . Pada perhitungan RULA (*Rapid Upper Limb Assessment*) menunjukkan bahwa skor yang dihasilkan oleh posisi postur pekerja pada skor 6. Tingkatan skoring RULA, skor 6 merupakan batas maksimal bagi pekerja untuk melanjutkan kerja dalam posisi tersebut. Hal ini perlu perhatian khusus dari pihak manajerial, bahwa pekerja memerlukan perbaikan segera. Mengingat pekerjaan ini dilakukan terus menerus dan setiap hari, serta telah dilakukan selama beberapa tahun. Maka hal ini perlu perhatian khusus untuk menghindarkan pekerja dari load berlebih serta penyakit akibat kerja yang dapat ditimbulkan dari postur yang beresiko.

2) Pekerja 2



Gambar 2. Pekerja 2

Pekerja 2 menunjukkan posisi pekerja yang lebih baik dari pekerja 1. Hal ini ditunjukkan dengan postur pekerja yang dalam posisi berdiri tegak dengan beban pada kaki maupun tang tidak terlalu besar. Dari hasil perhitungan RULA, menunjukkan bahwa pekerja 2 ini menghasilkan skor 4 pada skoring tabel RULA. Skoring 4 ini didefinisikan sebagai postur dalam taraf resiko rendah. Namun tidak dipungkiri bahwa pekerja membutuhkan waktu istirahat selingan dalam beberapa kali. Hal ini bertujuan untuk menurunkan beban kerja pekerja agar tidak terlalu tinggi karena posisi berdiri yang dilakukan sepanjang hari.

3) Pekerja 3



Gambar 3. Pekerja 3

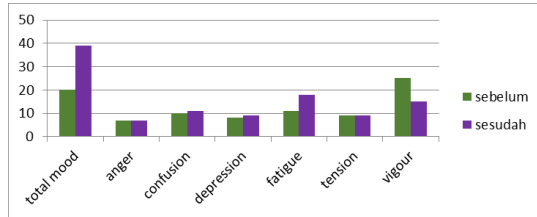
RULA skor pada sample gambar 3 ini menghasilkan skor 5. Dalam tingkat resiko perhitungan RULA, skor 6 merupakan postur resiko sedang dengan anjuran untuk perbaikan segera. Perbaikan ini bertujuan untuk menurunkan resiko kelelahan serta penyakit akibat kerja yang seringkali muncul karena pekerjaan repetisi serta lamanya waktu bekerja dalam satu posisi yang sama. Ada baiknya pekerja bekerja dengan menggunakan meja serta kursi yang lebih tinggi dari kursi yang digunakan saat ini. Penambahan alat bantu tersebut dapat membantu pekerja untuk tetap merasa rileks serta mengurangi kelelahan yang akan lebih cepat muncul.

Pada ketiga gambar di atas, dapat dilihat dari ketiga pekerja dengan pekerjaan berbeda, memiliki postur yang tidak cukup baik. Analisis RULA dilakukan untuk mengetahui seberapa besar nilai beban yang diterima pekerja seperti pada gambar di atas. Sehingga didapatkan hasil bahwa pada pekerja pertama mendapatkan skor 6, pada pekerja kedua mendapatkan skor 4, dan pekerja ketiga mendapatkan skor 5.

b. Analisis Mood Pekerja

Setelah dilakukan analisis postur, kemudian dilakukan analisis mood pekerja dengan menggunakan tools POMS (profile of mood states). Dari perhitungan nilai kuisioner

POMS pekerja sebelum dan sesudah bekerja, didapat hasil:



Gambar 4. Grafik POMS pekerja

Pada analisis mood di atas, diperoleh bahwa mood pekerja pada ke lima aspek sesudah bekerja menunjukkan adanya kenaikan atau kelelahan setelah bekerja. Adanya kebingungan dan depresi yang dirasakan mengalami peningkatan dari sebelum dan sesudah bekerja. Kondisi kekuatan tubuh pekerja, mengalami penurunan dari kondisi sebelum bekerja dan sesudah bekerja. Hasil dari total mood pekerja saat sebelum dan sesudah bekerja mengalami peningkatan secara keseluruhan, dimana hal ini dapat diartikan bahwa pekerja tidak mengalami adanya stress yang signifikan dirasakan selama bekerja.

4. KESIMPULAN

Dari penelitian yang sudah dilakukan di atas, dapat disimpulkan bahwa para pekerja di usaha pemotongan bebek ini masih memerlukan perbaikan stasiun kerja. Nilai postur yang didapat sebesar 6, 4 dan 5 mengindikasikan adanya kelelahan pada ketiga pekerja dengan rekomendasi perbaikan. Sedangkan untuk analisis mood dari pekerja, dapat disimpulkan bahwa pekerja memiliki mood yang berbeda sebelum dan sesudah bekerja. Perbedaan mood menunjukkan hasil yang tidak terlalu signifikan sehingga dapat diartikan bahwa pekerja tidak mengalami adanya stress yang signifikan dirasakan selama bekerja.

REFERENSI

- [1]Ahmad, N. P., Hidayat, R. & Hamdani, R., 2020. Analisis Postur Kerja dengan Metode RULA pada Operator Las di bengkel Las Sumber Jaya Bekasi, Jawa Barat. *Bulletin of Applied Industrial Engineering Theory*, pp. 59-63.
- [2]Anggraini, D. T. C., Herwanto, D. & Nugroho, R. E., 2022. Analisis Postur Kerja Karyawan Menggunakan Metode RULA. *SITEKIN: Jurnal Sains, Teknologi dan Industri*, pp. 147-155.
- [3]Dewanti, G. K. & Perdana, S., 2020. Analisis Postur Kerja Pada Karyawan Bengkel Warlok Barbeku Multi Servis dengan Menggunakan REBA. *Jurnal IKRA-ITH TEKNOLOGI*, 4(3), pp. 57-64.
- [4]Hidayat, A. H., 2022. Mewujudkan TPS Pemilu yang Nyaman dalam Upaya Meminimalisir Kelelahan Petugas KPPS: Kajian Ergonomi. *Jurnal Inovasi Teknik Industri (JITIN)*, pp. 49-58.
- [5]Hunusalela, Z. F., Perdana, S. & Dewanti, G. K., 2022. Analisis Postur Kerja Operator Dengan Metode RULA dan REBA Di Juragan Konveksi Jakarta. *Jurnal IKRAITH-TEKNOLOGI*.
- [6]Rozi, F. & KN, H., 2021. Analisis Postur Kerja Operator SEWING dengan Metode RULA di Tara Toys Mart. *Jurnal Baut dan Manufaktur*, pp. 41-47.
- [7]S., Pusporini, P. & Ismiyah, E., 2020. Analisis Postur Kerja Operator Sablin Karung dengan Metode RULA dan WERA. *JUSTI (Jurnal Sistem Dan Teknik Industri)*, pp. 591-608.
- [8]Wahyudi & Fajarwati, 2020. Profil Mood Atlet Pra-PON Sepak Takraw Puteri Sulawesi Tengah dalam Melakukan Latihan. *Journal Sport Area*, pp. 164-176.

KLASTERISASI KERAGAMAN JENIS KONSUMSI PANGAN MENGGUNAKAN ALGORITMA K-MEANS DAN IMPLIKASINYA TERHADAP KEBIJAKAN DAERAH

Okidahwanu¹, Nurul Abdillah², Niko Akbar³, Hamzah Alghifari⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Jambi
Email: okidahwanu@unja.ac.id

ABSTRACT

Food consumption is a fundamental indicator of food security and nutritional quality, yet in many developing countries, diets remain monotonous and heavily reliant on staple foods such as rice. In Indonesia, this dependency poses systemic risks, particularly under climate variability, production failures, or supply chain disruptions. To provide evidence-based insights into dietary diversity, this study applied K-Means clustering to household food consumption data across 11 districts and cities in Jambi Province, sourced from the Badan Pangan Nasional (National Food Agency). The analysis involved 8 variables representing major food groups—staple carbohydrates, animal-based foods, legumes, fruits and vegetables, oils and fats, and sugar—standardized through z-scores, with cluster validity evaluated using the Davies–Bouldin Index. The results identified three distinct clusters: (1) simple consumption with low diversity, dominated by rural districts with limited access to nutrient-rich foods; (2) balanced and diverse consumption, mainly urban and coastal areas with broader market access; and (3) high-energy but less varied consumption, characterized by rice- and fat-dominated diets in mountainous regions. These findings reveal both geographic and socio-economic disparities in food consumption, underscoring the need for targeted policies. Cluster-specific recommendations include improving access and nutrition education in rural areas, sustaining balanced diets in urban settings, and promoting diversification through local commodities in highland regions. The study concludes that clustering analysis offers a valuable tool for policymakers to design adaptive, evidence-based food security strategies aligned with local contexts.

Keywords: Food consumption, K-Means clustering, dietary diversity, food security, Jambi Province

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 06-10-2025

Tanggal revisi : 06-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16079>

1. PENDAHULUAN

Konsumsi pangan secara luas diakui sebagai indikator fundamental untuk mengukur ketahanan pangan dan kualitas gizi keseluruhan suatu populasi [1], [2]. Pola

konsumsi pangan mencerminkan tidak hanya kapasitas ekonomi rumah tangga tetapi juga dinamika sosial-ekonomi, budaya, dan lingkungan yang bervariasi antar wilayah [2]. Profil diet suatu negara memberikan wawasan

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



berharga tentang kemampuannya untuk mempertahankan ketahanan di hadapan tantangan produksi dan distribusi pangan. Di negara-negara berkembang, di mana keragaman diet cenderung terbatas, pola konsumsi seringkali mengungkap kerentanan dalam sistem pangan dan menyoroti risiko terhadap kesejahteraan gizi jangka panjang.

Di Indonesia, konsumsi pangan masih didominasi oleh beras, yang telah lama menjadi sumber karbohidrat utama bagi sebagian besar penduduk [3]. Meskipun beras memainkan peran sentral dalam budaya dan identitas pangan nasional, ketergantungan ini menciptakan risiko sistemik, terutama dalam situasi variabilitas iklim, kegagalan produksi, atau gangguan rantai pasokan. Ketergantungan berlebihan pada satu jenis pangan pokok melemahkan ketahanan sistem pangan dan meningkatkan kerentanan terhadap kekurangan gizi, terutama ketika kelompok pangan kaya nutrisi seperti buah-buahan, sayuran, dan sumber protein kurang dikonsumsi. Selain itu, monotonitas diet dapat memperparah masalah kelaparan tersembunyi, di mana kebutuhan kalori terpenuhi tetapi kekurangan mikronutrien tetap terjadi [4].

Mengakui risiko-risiko ini, pemerintah Indonesia telah mempromosikan diversifikasi pangan sebagai bagian dari strategi yang lebih luas untuk meningkatkan ketahanan pangan dan hasil kesehatan masyarakat. Strategi Diversifikasi Pangan 2020–2024 bertujuan untuk mendorong konsumsi sumber karbohidrat alternatif seperti jagung, singkong, ubi jalar, dan sagu, serta upaya untuk meningkatkan asupan sayuran, buah-buahan, dan makanan kaya protein [5]. Namun, efektivitas inisiatif ini terhambat oleh beberapa tantangan. Preferensi budaya yang mendalam dalam masyarakat memperkuat dominasi beras dalam makanan sehari-hari, sementara kesadaran publik yang terbatas tentang manfaat kesehatan dan lingkungan dari diversifikasi diet menghambat perubahan perilaku. Selain itu, ketidakselarasan antara kebijakan nasional dan prioritas implementasi regional membatasi kesuksesan program diversifikasi, terutama di daerah-daerah di mana komoditas pangan lokal dapat menjadi alternatif yang layak [4].

Machine learning telah berkembang menjadi salah satu alat analitis yang efektif dalam mengolah data kompleks dan beragam, terutama dalam konteks pengambilan keputusan berbasis data [6]. Alat analitis canggih seperti teknik klustering menyediakan cara untuk mengidentifikasi kelompok konsumsi yang berbeda berdasarkan perilaku diet. Dengan mengelompokkan populasi yang memiliki karakteristik konsumsi pangan serupa, klustering memungkinkan peneliti dan pembuat kebijakan untuk mengungkap pola tersembunyi yang mungkin tidak terlihat melalui statistik deskriptif tradisional. Wawasan ini sangat penting untuk merancang intervensi yang sesuai dengan kondisi regional, ketersediaan pangan lokal, dan kebutuhan komunitas spesifik [7], [8].

Selain itu, analisis berbasis klustering dapat menjadi dasar bukti untuk mengembangkan kebijakan pangan dan gizi yang ditargetkan di tingkat nasional dan regional. Misalnya, pemerintah daerah dapat menggunakan wawasan ini untuk merancang intervensi yang mendorong budidaya dan konsumsi tanaman lokal yang kurang dimanfaatkan, sehingga meningkatkan ketahanan sistem pangan sambil mendukung petani dan ekonomi regional. Selain itu, mengidentifikasi kelompok konsumsi memungkinkan kampanye pendidikan gizi yang lebih tepat sasaran, karena pesan dapat disesuaikan dengan kelompok tertentu berdasarkan kebiasaan diet dan konteks budaya mereka. Hal ini sejalan dengan strategi global yang lebih luas untuk memastikan sistem pangan berkelanjutan yang tidak hanya menjamin kecukupan kalori tetapi juga mendorong keragaman diet dan hasil gizi yang lebih baik [2].

Dengan memanfaatkan metode analitis berbasis data seperti klustering, peneliti dan pembuat kebijakan dapat berkontribusi pada pengambilan keputusan berbasis bukti yang mempromosikan sistem pangan yang tangguh, mengurangi kerentanan terhadap guncangan, dan meningkatkan kesejahteraan gizi komunitas. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengidentifikasi pola dan karakteristik keragaman konsumsi pangan di Provinsi Jambi melalui penerapan algoritma K-Means klustering pada data konsumsi rumah tangga yang mencakup 22 variabel pangan utama

yang bersumber dari Portal Satu Data Indonesia. Analisis ini diharapkan dapat menghasilkan pengelompokan wilayah berdasarkan kesamaan pola konsumsi yang relevan untuk perumusan kebijakan pangan daerah.

Kontribusi ilmiah penelitian ini terletak pada penerapan pendekatan *machine learning* dalam analisis spasial konsumsi pangan regional, yang memberikan model berbasis data untuk mendukung kebijakan ketahanan pangan yang adaptif dan kontekstual. Selain itu, hasilnya memperkaya literatur tentang penerapan metode *unsupervised learning* di bidang ekonomi pangan dan kebijakan publik di Indonesia, khususnya dalam konteks integrasi data nasional berbasis *open data* menuju perencanaan pembangunan berkelanjutan.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode klastering K-Means untuk mengklasifikasikan pola konsumsi makanan di berbagai kabupaten dan kota di Provinsi Jambi. Pemilihan metode K-Means dilakukan karena memiliki kemampuan tinggi dalam menangani dataset berukuran besar dengan variabel numerik kontinu, menghasilkan pembagian klaster yang jelas, serta efisien secara komputasional dibanding metode lain seperti *hierarchical clustering* atau DBSCAN. K-Means juga memungkinkan interpretasi yang lebih mudah terhadap pusat klaster (*centroid*), yang penting dalam konteks analisis kebijakan publik untuk menggambarkan perbedaan pola konsumsi antarwilayah.

Data penelitian diperoleh dari Badan Pangan Nasional, mencakup 8 variabel konsumsi pangan rumah tangga yang digabungkan berdasarkan kelompok makanan, diukur dalam kilogram per kapita per tahun. Variabel-variabel tersebut mewakili kelompok pangan utama seperti padi-padian, umbi-umbian, pangan hewani, minyak dan lemak, buah/biji berminyak, kacang-kacangan, gula, serta sayur dan buah yang secara signifikan berkontribusi terhadap energi diet dan keragaman gizi di Indonesia.

Prasunting data dilakukan untuk memastikan kualitas data. Nilai yang hilang diatasi dengan imputasi median, sementara nilai ekstrem diatasi dengan penyesuaian skala robust. Semua variabel distandarisasi menggunakan skor z untuk

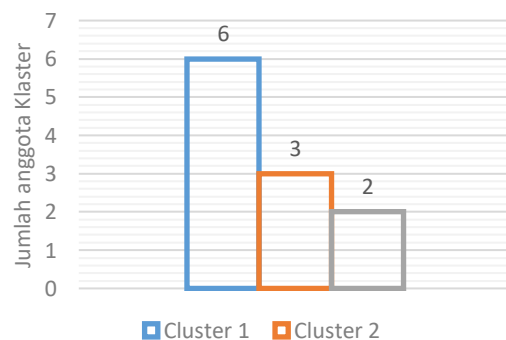
memperhitungkan sensitivitas klastering K-Means terhadap perbedaan skala.

Proses klastering dilakukan menggunakan K-Means, yang membagi pengamatan menjadi k Klaster dengan meminimalkan varians dalam Klaster. Untuk mengurangi sensitivitas inisialisasi, algoritma dijalankan dengan 20 awal acak dan maksimum 300 iterasi. Jumlah Klaster (k) ditentukan secara empiris dengan menguji nilai dari 2 hingga 10. Indeks Davies-Bouldin (DB) digunakan sebagai metrik utama, untuk menunjukkan kinerja pengelompokan. Nilai DBI yang lebih kecil menunjukkan kualitas pengelompokan yang lebih baik

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Sebelum proses clustering dilakukan, data dikonversi ke bentuk standar melalui proses normalisasi menggunakan z-score agar setiap variabel memiliki skala yang sebanding. Hal ini karena terdapat beberapa nilai yang memiliki rentang yang cukup luas antara satu atribut dengan atribut lainnya. Jumlah k untuk algoritma k-means dalam penelitian ini ditetapkan sebesar $k = 3$ yang di validasi dengan DBI dengan nilai 0,131.

Hasil pengelompokan dalam Klaster pertama (C1), yaitu 6 kabupaten. Kelompok kedua (C2) terdiri dari dua kabupaten dan satu kota sebagai anggota Klaster; dan kelompok ketiga (C3) terdiri dari satu kabupaten dan 1 kota. Gambar 1 adalah grafik distribusi anggota Klaster untuk 11 kabupaten/kota di provinsi Jambi. Jumlah anggota masing-masing klaster seperti ditunjukkan gambar 1

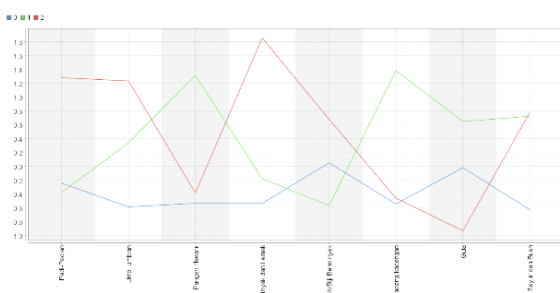


Gambar 1. Distribusi anggota klaster

Hasil Klasterisasi

Klasterisasi menggunakan algoritma K-Means dengan jumlah klaster optimal sebanyak tiga ($k=3$) memberikan gambaran yang berbeda

terhadap pola konsumsi pangan masyarakat di Provinsi Jambi. Secara umum, ketiga klaster menunjukkan variasi dalam hal tingkat dan keragaman konsumsi pangan berdasarkan delapan kelompok komoditas utama (padi-padian, umbi-umbian, pangan hewani, minyak dan lemak, buah/biji berminyak, kacang-kacangan, gula, serta sayur dan buah). Pola masing-masing klaster bisa dilihat pada Gambar 2.



Gambar 2. Pola konsumsi masing-masing klaster

Klaster 1 – Pola Konsumsi Sederhana

Klaster ini mencakup Merangin, Sarolangun, Batang Hari, Tanjung Jabung Barat, Tebo, dan Bungo. Klaster ini ditandai dengan tingkat konsumsi yang relatif rendah di sebagian besar kategori makanan tanpa adanya kelompok makanan dominan. Hal ini menunjukkan diversifikasi diet yang terbatas, yang mungkin terkait dengan daya beli yang rendah dan keterbatasan akses terhadap makanan. Berdasarkan penelitian bahwa rumah tangga pedesaan di Indonesia cenderung bergantung pada tanaman pangan pokok dan memiliki akses terbatas terhadap makanan kaya nutrisi [9]. Selain itu, FAO mencatat bahwa wilayah yang bergantung pada pertanian sering menghadapi monotonitas diet, yang dapat menyebabkan kerentanan dalam hasil gizi [1].

Klaster 2 – Konsumsi Beragam dan Seimbang

Muaro Jambi, Tanjung Jabung Timur, dan Kota Jambi termasuk dalam Klaster ini. Klaster ini menunjukkan konsumsi yang lebih tinggi terhadap kacang-kacangan, makanan berbasis hewan, serta buah dan sayuran. Hal ini mencerminkan diversifikasi diet yang lebih baik dan kesadaran gizi yang lebih tinggi, sejalan dengan daerah perkotaan dan pesisir di mana akses pasar lebih luas dan perdagangan

antardaerah memfasilitasi ketersediaan makanan yang beragam. Hasil ini sejalan dengan penelitian yang menyoroti bahwa rumah tangga perkotaan cenderung mencapai pola makan yang lebih beragam karena pendapatan yang lebih baik dan akses ke pasar modern [10]. Penelitian lain melaporkan bahwa urbanisasi berkorelasi dengan peningkatan keragaman makanan, meskipun juga memperkenalkan risiko transisi pola makan menuju makanan olahan [11].

Klaster 3 – Konsumsi Energi Tinggi

Kerinci dan Kota Sungai Penuh membentuk Klaster ketiga. Ciri utama kelompok ini adalah konsumsi beras dan lemak/minyak yang tinggi, dengan asupan protein hewani, kacang-kacangan, dan gula yang relatif rendah. Hal ini menunjukkan pola makan yang kaya karbohidrat dan lemak dengan variasi terbatas, mencerminkan kondisi geografis di daerah pegunungan di mana akses ke sumber protein yang beragam terbatas. Penelitian yang dilakukan oleh Dewi dkk [12] menunjukkan bahwa rumah tangga di daerah pegunungan sering memiliki pola makan yang didominasi beras dan akses terbatas terhadap komoditas pangan beragam. Hal ini mendukung argumen bahwa hambatan geografis tetap menjadi penentu penting keragaman pangan di Indonesia [2].

Analisis Perbandingan Antar Klaster

Perbandingan antar klaster memperlihatkan korelasi yang jelas antara tingkat urbanisasi, pendapatan masyarakat, dan keragaman konsumsi pangan:

- 1) Klaster 1 mencerminkan wilayah pedesaan dengan pendapatan rendah dan ketergantungan pada pangan pokok lokal.
- 2) Klaster 2 mencerminkan wilayah urban dan semi-urban dengan aktivitas ekonomi tinggi, di mana variasi makanan lebih banyak dan kesadaran gizi lebih baik.
- 3) Klaster 3 merepresentasikan wilayah pegunungan dengan pola konsumsi energi tinggi, tetapi kurang seimbang dari sisi gizi.

Hasil ini menunjukkan bahwa ketimpangan konsumsi gizi di Jambi sangat dipengaruhi oleh akses pasar dan struktur ekonomi wilayah. Urbanisasi menjadi faktor penting yang memediasi ketersediaan pangan beragam dan adopsi perilaku konsumsi modern.

Implikasi Kebijakan

Temuan ini memberikan dasar empiris untuk mendukung kebijakan pangan daerah Provinsi Jambi

Untuk Kaster 1, Pemerintah Daerah perlu memperkuat infrastruktur distribusi pangan, memperluas akses pasar desa, dan mendorong program edukasi gizi berbasis keluarga melalui dinas terkait. Kebijakan harus memprioritaskan akses ke makanan bergizi dan pendidikan tentang diversifikasi diet. Hal ini sejalan dengan rekomendasi Badan Ketahanan Pangan [5], yang menekankan program diversifikasi makanan untuk komunitas pedesaan dan pertanian.

Untuk Kelompok 2, kebijakan diarahkan untuk mempertahankan pola konsumsi sehat dengan memperkuat pengawasan pangan olahan dan promosi konsumsi sayur-buah lokal di kawasan urban. Pemerintah dapat memperkuat program yang menjaga dan mempromosikan diet seimbang sebagai model konsumsi sehat, sesuai dengan rekomendasi WHO [13].

Untuk Kelompok 3, intervensi diperlukan untuk mendorong diversifikasi melalui komoditas pertanian lokal non-beras, seperti kacang-kacangan dan sayuran, guna memastikan gizi seimbang. Pengelompokan berbasis *machine learning* dapat mengarahkan intervensi terarah untuk kebijakan gizi yang spesifik wilayah [14], [15], [16].

Dengan demikian, hasil klasterisasi tidak hanya memberikan gambaran akademik tentang variasi konsumsi pangan, tetapi juga menjadi alat analisis kebijakan berbasis data bagi Pemerintah Provinsi Jambi untuk perencanaan gizi dan ketahanan pangan yang lebih adaptif dan kontekstual. Hasil penelitian menekankan bahwa kebijakan pangan lokal harus disesuaikan dengan konteks, mempertimbangkan kondisi geografis, sosial-ekonomi, dan budaya. Kesimpulan ini sejalan dengan seruan FAO [1], [4] untuk kebijakan pangan yang adaptif, berbasis bukti, dan berakar pada kondisi regional.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan analisis clustering menggunakan algoritma K-Means secara efektif mampu

mengidentifikasi pola konsumsi pangan dan tingkat keragaman diet masyarakat di Provinsi Jambi. Berdasarkan hasil dengan nilai Davies–Bouldin Index (DBI) = 0.131, diperoleh tiga klaster utama: (1) konsumsi sederhana dengan keragaman rendah, (2) konsumsi seimbang dan beragam, dan (3) konsumsi berenergi tinggi namun kurang beragam.

Temuan ini menegaskan bahwa urbanisasi, pendapatan, dan akses pasar berpengaruh signifikan terhadap keragaman pangan. Hasilnya berimplikasi langsung pada kebijakan pangan daerah yang adaptif, di mana pemerintah perlu menyesuaikan strategi intervensi sesuai karakteristik masing-masing klaster: memperluas akses pangan bergizi di pedesaan, menjaga pola seimbang di wilayah urban, dan mendorong diversifikasi berbasis komoditas lokal di daerah pegunungan.

Batasan penelitian terletak pada penggunaan data agregat tanpa mempertimbangkan faktor sosial-budaya dan spasial. Penelitian lanjutan disarankan untuk mengintegrasikan data mikro rumah tangga, analisis spasial, serta metode klastering alternatif untuk validasi hasil.

5. REFERENSI

- [1] FAO, IFAD, UNICEF, WFP, and WHO, *The State of Food Security and Nutrition in the World 2025*. Rome: FAO; IFAD; UNICEF; WFP; WHO, 2025. doi: 10.4060/cd6008en.
- [2] HLPE, “Food Security and Nutrition: Building a Global Narrative Towards 2030,” Rome, 2024D.
- [3] P. D. Wijayati, N. Harianto, and A. Suryana, “Permintaan Pangan Sumber Karbohidrat di Indonesia,” *Analisis Kebijakan Pertanian*, vol. 17, no. 1, pp. 13–26, Jan. 2023, doi: 10.21082/akp.v17n1.2019.13-26.
- [4] FAO and IPU, *Food Systems and Nutrition*. Rome: IPU and FAO, 2021. doi: 10.4060/cb2005en.
- [5] Badan Ketahanan Pangan, *Road map Diversifikasi Pangan Lokal Sumber Karbohidrat non Beras (2020-2024)*. Jakarta: Kementerian Pertanian Indonesia, 2021.
- [6] R. R. Baharuddin, M. Niswar, and A. A. Ilham, “Deteksi Kepiting Molting Menggunakan Teknik Klasifikasi

- Machine Learning,” *Jurnal J-Ensistec: Vol*, vol. 8, no. 01, 2021.
- [7] C. O’Hara, A. O’Sullivan, and E. R. Gibney, “A Clustering Approach to Meal-Based Analysis of Dietary Intakes Applied to Population and Individual Data,” *J Nutr*, vol. 152, no. 10, pp. 2297–2308, Oct. 2022, doi: 10.1093/jn/nxac151.
- [8] D. Hafizah, D. B. Hakim, Harianto, and R. Nurmawati, “Analysing Food Consumption in Indonesia,” *International Journal of Progressive Sciences and Technologies*, vol. 20, no. 20, pp. 340–347, May 2020.
- [9] E. Sutrisno *et al.*, *Diversifikasi Pangan Lokal untuk Ketahanan Pangan: Perspektif Ekonomi, Sosial, dan Budaya*. Penerbit BRIN, 2023. doi: 10.55981/brin.918.
- [10] C. Hannah *et al.*, “Persistence of Open-Air Markets in the Food Systems of Africa’s Secondary Cities,” *Cities*, vol. 124, p. 103608, May 2022, doi: 10.1016/j.cities.2022.103608.
- [11] A. A. Ikudayisi, “Urban Food Security and Socioeconomic Sustainability: A Multidimensional Perspective,” *Green Technologies and Sustainability*, vol. 2, no. 2, p. 100080, May 2024, doi: 10.1016/j.grets.2024.100080.
- [12] P. Dewi, A. Khomsan, C. M. Dwiriani, and D. Sukandar, “Household Food Security and Children’s Food Consumption Diversity in The Different Agroecological Regions in West Java, Indonesia.,” *Nutrición Clínica y Dietética Hospitalaria*, vol. 44, no. 4, Nov. 2024, doi: 10.12873/444khomsan.
- [13] WHO, “WHO Urges Governments to Promote Healthy Food in Public Facilities,” <https://www.who.int/news/item/12-01-2021-who-urges-governments-to-promote-healthy-food-in-public-facilities>.
- [14] N. Situmeang, E. A. Komarsyah, A. Fauzi, and J. Sagala, “Penggunaan Algoritma K-Nearest Neighbor (KNN) untuk Mendeteksi Stunting pada Anak,” *INNOVATIVE: Journal Of Social Science Research*, vol. 5, no. 3, pp. 8401–8417, 2024.
- [15] D. A. Putri, R. P. Putri, and M. Syabila, “Pengklasifikasian Wilayah Berdasarkan Data Tingkat Stunting di Kota Bandung,” in *Gunung Djati Conference Series*, Bandung, 2025, pp. 234–242.
- [16] R. Qasrawi *et al.*, “Machine Learning Techniques for the Identification of Risk Factors Associated with Food Insecurity among Adults in Arab Countries During the COVID-19 Pandemic,” *BMC Public Health*, vol. 23, no. 1, p. 1805, Sep. 2023, doi: 10.1186/s12889-023-16694-5.

ANALISIS PENGARUH PROPORSI *FLY ASH* BATU BARA SEBAGAI BAHAN *POZZOLAN* TERHADAP *WORKABILITY* BETON NORMAL

Nur Afni Helia Dewi¹, Amri Gunasti²

^{1,2}Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Jember

Email: nurafnihelia@gmail.com

ABSTRACT

The use of coal as fuel for the Paiton Steam Power (PLTU) produces waste in the form of fly ash and bottom ash. Fly ash contains a high amount of calcium oxide, which give it pozzolanic properties when it reacts with water. The use of fly ash as an additive in concrete or as a partial replacement for cement has been widely developed. The aim of this research is to determine the effect of adding coal fly ash on the slump value of normal concrete. Five variations of samples were tested, each with three replicates, namely normal concrete (0% fly ash) and mixtures of 5%, 10%, 15%, and 20% fly ash. The type of fly ash used is type C from the Paiton Steam Power. Material characteristic testing was conducted on coarse aggregates, fine aggregates, and fly ash. The slump test results were statistically analyzed using a one-way ANOVA method to determine whether there were significant differences among the groups. The highest slump value was observed in the 15% fly ash variation, which reached 120 mm, while the statistical test indicated a significant difference in the addition of fly ash to the concrete slump value with a significance value or p-value of 0.000 (<0.05).

Keywords: ANOVA, Concrete, Fly ash, Slump.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 20-10-2025

Tanggal direvisi : 04-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16145>

1. PENDAHULUAN

Penggunaan bahan bakar batu bara sebagai sumber energi dari aktivitas Pembangkit Listrik Tenaga Uap memiliki dampak buruk bagi lingkungan yaitu limbah padat (Abinawa & Gobel, 2024). Limbah padat yang dihasilkan dapat dikategorikan kedalam dua jenis yaitu abu terbang (*fly ash*) dan abu dasar (*bottom ash*) (Kar, 2022). Secara berurutan perbandingan hasil limbah *fly ash* dan *bottom ash* yang diperoleh berkisar 75% dan 25% (Khasanah & Arief, 2022). Sedangkan Menurut Khasanah & Arief, (2022); Sukmawati *et al.* (2024), PLTU Paiton membutuhkan sekitar ±250 ton batu bara dalam proses pembakaran. Upaya memanfaatkan kembali limbah batu bara telah banyak dikembangkan seperti penggunaan *fly ash* sebagai substitusi semen pada beton normal (Idris *et al.*, 2023), pada beton mutu tinggi

(Ferdiansyah & Rochmah, 2022) dan pada balok beton bertulang tunggal (Sukmawati *et al.*, 2024).

Kegiatan pembangunan atau konstruksi umumnya tidak lepas menggunakan bahan material yakni beton (Afrilia *et al.*, 2023). SNI 2847:2019, Beton adalah bahan campuran agregat halus, agregat kasar, air, bahan pengikat hidrolis atau semen dan *admixture*. Agregat halus dan agregat kasar merupakan bahan susun kasar pada campuran beton sedangkan air dan bahan pengikat hidrolis sebahen bahan aktif dalam proses reaksi kimia selama proses pengerasan (Masood *et al.*, 2025). Beton memiliki beberapa keunggulan yaitu terjangkau, pengerjaannya mudah serta dalam proses perawatannya (Sultan *et al.*, 2019). Beton memiliki sifat lemah terhadap kuat tarik

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



(*tension*) dan mampu menahan terhadap beban tekan (*compression*) (Marulitua *et al.*, 2022).

Fly ash atau abu terbang tergolong bahan tambah (*additive*) yang memiliki sifat *pozzolan* (Sriwahyuni, 2024). Berdasarkan konsentrasi atau kandungan senyawa kimia, *fly ash* dapat digolongkan menjadi dua jenis yaitu (1) *Type F* dengan kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) diatas 70%, sedangkan kandungan CaO hanya 5% dan; (2) *Type C* dengan kandungan silika (SiO_2), alumina (Al_2O_3) dan besi oksida (Fe_2O_3) dibawah 50%, sedangkan kandungan CaO dapat mencapai 10% (Samosir & Rusli, 2021). Dengan kandungan CaO *fly ash type C* berpotensi memiliki sifat penyemen saat dicampur dengan air. *Fly ash* batu bara dapat bereaksi atau melakukan proses hidrasi pada kalsium hidroksida, sehingga menghasilkan suatu ikatan kalsium silika hidrat (Kar, 2022).

Pengerjaan beton perlu dilakukan beberapa uji untuk mengetahui kualitas adonan beton yang dipersyaratkan seperti *slump test* (Juliar & Rudianto, 2023). Uji *Slump* beton merupakan salah satu metode untuk mengetahui tingkat kekentalan beton sebelum dilakukan pengecoran (PUPR, 2025). Umumnya pengujian *slump* dengan menggunakan kerucut abrams berdasarkan standar ASTM C-143. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Idris *et al.* (2023), Penggunaan bahan tambah *fly ash* menunjukkan kenaikan nilai *slump* yaitu pada variasi 30%, sedangkan eksperimen yang dilakukan oleh Sukmawati *et al.* (2024), Menunjukkan nilai *slump* tertinggi pada variasi 15%. Berdasarkan hal tersebut, maka perlu adanya suatu kajian terkait pengaruh proporsi *fly ash* batu bara sebagai bahan *pozzolan* terhadap *workability* beton, sehingga didapatkan informasi penggunaan variasi yang tepat dalam penggunaan bahan tambah *fly ash* batu bara pada campuran beton.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian dilaksanakan pada Maret 2024, Laboratorium Beton Teknik Sipil, Universitas Muhammadiyah Jember. Material *fly ash* batu bara yang digunakan adalah kelas C dari PLTU Paiton dan semen yang digunakan yaitu semen Gresik. Pasir yang digunakan sebagai agregat

halus adalah pasir Lumajang. Dan untuk koral yang digunakan berukuran 10 mm sebagai agregat kasar. Terdapat lima jenis sampel uji pada variasi *fly ash* batu bara pada adonan beton dengan ulangan masing-masing sebanyak tiga. Variasi yang digunakan berdasarkan persentase *fly ash* batu bara sebagai bahan pengganti sebagian semen yaitu variasi 0% (beton normal), variasi 5% *fly ash* batu bara (BF-5%) , variasi 10% *fly ash* batu bara (BF-10%), variasi 15% *fly ash* batu bara (BF-15%) dan variasi 20% *fly ash* batu bara (BF-20%). Pengujian nilai *slump* menggunakan kerucut abrams (ASTM C-143). Analisis nilai *slump* yang didapat akan dilakukan uji statistik yaitu Uji *one way ANOVA*. Pengujian karakteristik pada material juga dilakukan seperti kadar air agregat, penyerapan air, kadar lumpur, berat jenis, berat volume, analisa ayakan, dan keausan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Hasil Pengujian Karakteristik Material

3.1.1 Hasil Uji Agregat Kasar

Berdasarkan hasil uji yang diperoleh pada (Tabel 1.) menunjukkan semua hasil pengujian telah memenuhi ketentuan ASTM C 33 yaitu pada analisa ayakan 8,33% (5,5% - 8,5%), berat jenis 2,62 g/cm^3 (1,60 - 3,20 g/cm^3), berat volume 1,63 g/cm^3 (1,60 - 1,90 g/cm^3), kadar air 0,90% (0,5% - 2%), penyerapan air 0,90% (0,2% - 4%), dan keausan agregat 31,13% (<50%) sesuai ketentuan ASTM C 535-03. Analisa ayakan dilakukan bertujuan untuk mengetahui ukuran partikel agregat baik kasar dan halus (Mose *et al.*, 2022). Uji berat jenis agregat dilakukan untuk menentukan proporsi campuran dan menunjukkan pengaruh terhadap daya serap air, sedangkan pengujian kadar air untuk menentukan konsistensi campuran pada beton (Kamil & Nely, 2023). Uji kadar lumpur bertujuan untuk mengetahui persentase debu halus pada permukaan agregat, semakin tinggi nilai kadar lumpur maka agregat menunjukkan kualitas yang kurang baik (Mose *et al.*, 2022). Uji keausan atau daya tahan agregat juga dilakukan untuk menunjukkan sejauh mana agregat untuk tidak mudah hancur (Sukmawati *et al.*, 2024).

Tabel 1. Hasil pengujian agregat kasar.

Uji Material	Hasil	Satuan
Analisa Saringan	8,33	%
Berat Jenis	2,62	g/cm ³
Berat Volume	1,63	g/cm ³
Kadar Air	0,90	%
Kadar Lumpur	0,10	%
Penyerapan Air	0,90	%
Keausan Agregat	31,13	%

3.1.2 Hasil Uji Agregat halus dan *Fly Ash* Batu Bara

Berdasarkan hasil uji yang didapatkan pada (Tabel 2.) menunjukkan semua hasil pengujian telah memenuhi ketentuan ASTM C 33 yaitu pada analisa ayakan 3,801 % (2,20% - 3,10%), berat jenis 2,81 g/cm³ (1,60 - 3,20 g/cm³), kadar air 3,02 % (3,0% - 5,0%), kadar lumpur 0,4% (0,2% - 6%), penyerapan air 1,31 % (0,2% - 2%) dan berat volume sebesar 1,4 g/cm³. Pengujian penyerapan air bertujuan untuk mengetahui nilai dan kemampuan agregat dalam menyerap air (porositas agregat) (Ding *et al.*, 2023). Nilai penyerapan air semakin tinggi maka agregat memiliki ukuran pori besar dan menunjukkan kualitas yang kurang baik untuk bahan adonan beton (Yu *et al.*, 2024).

Hasil uji pada (Tabel 3.) menunjukkan bahwa *fly ash* batu bara yang digunakan sebagai bahan campuran pada adonan beton telah memenuhi standar spesifikasi *Natural Pozzolan* yaitu ASTM C618-08a dengan ditunjukkan berat jenis 2,71 g/cm³ (maksimal 3,15 g/cm³) dan kadar air 1,02% (maksimal 3%). Jika nilai pengujian berat jenis pada *fly ash* >3,15 g/cm³ menunjukkan adanya kandungan mineral inert. Sedangkan, jika berat jenis terlalu rendah <2,0 g/cm³ menunjukkan proses pembakaran karbon kurang optimal. Hasil pembakaran batu bara setiap PLTU memiliki perbedaan sifat fisik *fly ash* baik jenis batu bara yang digunakan dan suhu pembakaran. Hal ini yang menyebabkan pengujian karakteristik *fly ash* perlu diperhatikan sebelum digunakan dalam *mix design* beton.

Tabel 2. Hasil pengujian agregat halus.

Uji Material	Hasil	Satuan
Analisa Saringan	3,801	%
Berat Jenis	2,81	g/cm ³
Berat Volume	1,4	g/cm ³
Kadar Air	3,02	%
Kadar Lumpur	0,4	%
Penyerapan Air	1,31	%

Tabel 3. Hasil pengujian *Fly ash* batu bara.

Uji Material	Hasil	Satuan
Berat Jenis	2,71	g/cm ³
Kadar Air	1,02	%

3.2 Hasil Pengujian dan Analisis *Slump*

Berdasarkan hasil yang diperoleh seperti pada (Tabel 4.) menunjukkan rata-rata nilai *slump* pada rentang 105 - 120 mm. Nilai *slump* tertinggi ditunjukkan pada variasi BF-15%

sebesar 120 mm, sedangkan pada variasi BF-5% dan BF-20% menunjukkan kenaikan dibandingkan beton normal yaitu sebesar 116 mm dan 118 mm. Sedangkan untuk variasi BF-10% memiliki nilai *slump* sama dengan beton

normal yaitu 105 mm. Nilai uji *slump* untuk beton normal berkisar 75 – 150 mm pada

kegiatan konstruksi pelat, kolom, balok dan pondasi (PUPR, 2025).

Tabel 4. Hasil pengujian *slump*.

Variasi Campuran Fly Ash Batu Bara	Nilai Slump 1 (mm)	Nilai Slump 2 (mm)	Nilai Slump 3 (mm)	Rata-rata Nilai Slump (mm)
Beton Normal	105	106	104	105
BF-5%	116	115	117	116
BF-10%	104	106	105	105
BP-15%	121	119	120	120
BF-20%	118	117	119	118

Menurut Julian & Rudianto (2023), Pengujian *slump* dirancang dalam melihat tingkat kekentalan yang akan mempengaruhi workabilitas dan permeabilitas ketika proses pengerjaan. Beberapa penelitian yang telah dilakukan oleh Menurut Nkomo & Alugongo (2023), Adanya kenaikan signifikan dengan penambahan *fly ash* batu bara pada nilai *slump* di semua variasi yaitu 15%, 20%, 25% dan 30%. Menurut Alhassan *et al.* (2022), Kenaikan nilai *slump* juga ditemukan pada variasi 10%, 20% dan 30% *fly ash* batu bara. Menurut Vikram *et al.* (2024), Pada variasi 30% *fly ash* batu bara menunjukkan nilai *slump* sebesar 120 mm. Eksperimen yang dilakukan (Sukmawati *et al.*, 2024), juga menunjukkan nilai *slump* tertinggi untuk variasi 15% pada balok beton bertulang tunggal.

Menurut Golewski (2023), Kenaikan nilai *slump* pada adonan beton yang divariasikan dengan *fly ash* batu bara disebabkan oleh bentuk mikroskopis atau partikel *fly ash* batu bara yaitu halus dan bulat sehingga menciptakan *ball bearing effect* pada saat pengerjaan beton atau meningkatkan kelecakan beton. Menurut Kar (2022), Secara kimia komposisi partikel *fly ash* batu bara terdiri atas *cenosfer* (300 μm) dan *plerosfer* (10-20 μm). Dengan didukung ukuran partikel yang sangat kecil sehingga *fly ash* batu bara dapat meningkatkan *workability* pada beton. Penelitian yang dilakukan oleh Sahast *et al.* (2022), Pada beton SCC (*Self Compacting*

Concrete) penambahan variasi *fly ash* batu bara yang lebih tinggi dapat menurunkan nilai *slump* akibat partikel *fly ash* batu bara yang sangat halus sehingga kebutuhan air menjadi meningkat maka terdapat kadar tertentu atau optimum dalam penggunaan *fly ash* batu bara sebagai bahan substitusi semen untuk menjaga kelecakan dan kekuatan pada beton. Menurut Kar (2022), Selain kadar atau persentase variasi penentuan tipe *fly ash* batu bara yang digunakan juga mempengaruhi nilai *slump* pada adonan beton.

Penelitian ini dilakukan uji *One Way ANOVA* sehingga perlu dilakukan verifikasi data yaitu dilakukan uji normalitas dan homogenitas sebelumnya. Pengujian normalitas data pada nilai *slump* digunakan metode *Shapiro-Wilk*. Standar penggunaan uji normalitas yaitu *Shapiro-Wilk* dengan ketentuan jumlah data yang didapatkan <30 sampel (n) dengan *p value* >0,05, sehingga untuk sampel dengan rentang kecil sampai dengan sedang dapat menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* dalam menginterpretasikan nilai *p value* (Shapiro & Wilk, 1965). Maka, penelitian ini lebih tepat menggunakan uji normalitas *Shapiro-Wilk* untuk melihat normalitas tiap kelompok. Kemudian dilakukan uji homogenitas dengan metode *Levene Test* dengan *p value* >0,05 dengan asumsi bahwa data memiliki variansi homogen atau seragam (Levene, 1960). Hasil analisis uji dapat dilihat pada (Tabel 5, Tabel 6 dan Tabel 7).

Tabel 5. Uji normalitas (*Shapiro-Wilk*).

Tests of Normality							
Variasi_FA (%)		Kolmogorov-Smirnov ^a			Shapiro-Wilk		
		Statistic	df	Sig.	Statistic	df	Sig.
Nilai_Slump	0	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	5	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	10	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	15	0,175	3	.	1,000	3	1,000
	20	0,175	3	.	1,000	3	1,000

Tabel 6. Uji homogenitas (*Levene Test*).

Test of Homogeneity of Variances					
		Levene			
		Statistic	df1	df2	Sig.
Nilai_Slump	Based on Mean	0,000	4	10	1,000
	Based on Median	0,000	4	10	1,000
	Based on Median and with adjusted df	0,000	4	10,000	1,000
	Based on trimmed mean	0,000	4	10	1,000

Tabel 7. Uji *One Way ANOVA*.

ANOVA					
Nilai_Slump	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Between Groups	632.400	4	158.100	158.100	0,000
Within Groups	10.000	10	1.000		
Total	642.400	14			

Hasil analisis uji normalitas (*Shapiro-Wilk*) dan homogenitas (*Levene Test*) menunjukkan nilai signifikansi atau *p value* >0,05, maka data terdistribusi normal dan varians antar kelompok adalah homogen. Sedangkan analisis *One Way*

ANOVA (Tabel 7), menunjukkan nilai signifikansi atau *p value* <0,05 yaitu nilai sig. sebesar 0,000, maka ada perbedaan secara signifikan antar kelompok. Sehingga, secara uji statistik variasi penambahan *fly ash* batu bara

memberikan pengaruh signifikan terhadap *workability* atau nilai *slump* beton. Hal ini sejalan dengan penelitian sebelumnya oleh Choi & Park (2024), Penggunaan kadar *fly ash* batu bara (<10 μm) yang tepat dapat meningkatkan reaksi hidrasi pada pengikatan awal semen sehingga akan mempengaruhi nilai kuat beton. Menurut Sukmawati *et al.* (2024), Penggunaan variasi 15% *fly ash* batu bara menunjukkan nilai

slump dan kuat tekan tertinggi yaitu 120 mm dan 25,87 MPa. Dengan hasil pengujian *ANOVA* yang didapatkan yaitu adanya perbedaan signifikan (*p value* <0,05), dapat dilakukan uji lanjut atau analisis *Post Hoc* untuk mengetahui perbandingan beda nyata antar kelompok yaitu beton normal dengan beton tambahan *fly ash* batu bara.

4. KESIMPULAN

Kesimpulan dari hasil penelitian pengaruh proporsi *fly ash* batu bara sebagai bahan *pozzolan* terhadap *workability* beton sebagai berikut:

1. Penambahan *fly ash* batu bara dapat meningkatkan nilai *slump* dibandingkan beton normal dan nilai *slump* tertinggi adalah pada variasi 15% dengan nilai rata-rata 120 mm.
2. Penambahan *fly ash* batu bara memberikan pengaruh secara signifikan ditunjukkan dengan hasil analisis uji statistik (*One Way ANOVA*) dengan nilai *p value* <0,05 (nilai sig. 0,000).

5. REFERENSI

- [1] Abinawa, C., & Gobel, P., A. (2024). Studi pengolahan limbah *fly ash* batubara dalam upaya peningkatan konsentrasi silika menggunakan asam sitrat. *INSOLOGI: Jurnal Sains Dan Teknologi*, 3(3), 288–296.
- [2] Afrilia, A. T., Manggala, S., A., & Muhtar. (2023). Studi eksperimental kekakuan balok beton bertulang rangkap dengan agregat normal. *Jurnal Smart Teknologi*, 4(4), 100–106.
- [3] Alhassan, A., Y., Onugba, A., M., & Emmanuel. (2022). Experimental study on the effect of fly ash on concrete. *IOSR International Journal of Mechanical and Civil Eng. (IOR-JMCE)*, 19(3), 40-45.
- [4] ASTM, C143. (2014). *Standart test method for slump of hydraulic cement concrete*. United States.
- [5] ASTM, C33. (2013). *Standart specification for concrete aggregates*. United States.
- [6] ASTM, C535-03. (2003). *Standart test method for resistance to degradation of large-size coarse aggregate by abrasion and impact in the los angeles machine*. United States.
- [7] ASTM, C618-08a. (2008). *Standart specification of coal fly ash and raw or calcined natural pozzolan for use in concrete*. United States.
- [8] Choi, C. Y., & Park, B. (2024). Effect of fly ash particle size and chemical activators on the hydration of high volume fly ash mortars. *J. Materials*, 17(22), 5485.
- [9] Ding, Y., She, A., & Yao, W. (2023). Investigation of water absorption behavior of recycled aggregates and its effect on concrete strength. *J. Materials*, 16, 4505, 1-17.
- [10] Ferdiansyah, R., A., M., & Rochmah, N. (2022). Pengaruh penggunaan *fly ash* pada beton mutu tinggi terhadap nilai kuat tekan. *Jurnal SONDIR*, 6(2), 34–41.
- [11] Golewski, L. G. (2023). The effect of the addition of coal fly ash (CFA) on the control of water movement within the structure of the concrete. *J. Materials*, 16(15), 5218.
- [12] Idris, M., Trisnawathy, Hisbullah, & Yusril, I. (2024). Kuat tekan beton dengan penambahan *fly ash* batu bara sebagai pengganti sebagian semen. *Journal of App. Civ. and Enviro. Eng*, 3(1), 39–43.
- [13] Juliar, E., & Rudianto, S. E. (2023). Pengaruh penggunaan admixture tipe E dengan pengurangan jumlah kadar air terhadap nilai slump dan kuat tekan beton pada quarry ex. cikeruh. *J-ENSISTEC: Journal of Eng. and Sustainable Tech*, 10(1), 950-954.
- [14] Kamil, F., & Nely, K. (2023). Pengujian awal agregat kasar, agregat halus, semen,

- dan air: fondasi penelitian beton berkualitas . *Jurnal Konstruksi dan Infrastruktur*, xi(2), 78-88.
- [15] Kar, K. K. (2022). *Handbook of fly ash*. Butterworth-Heinemann is an imprint of Elsevier. United Kingdom.
- [16] Khasanah, L., & Arief, B. (2022). Pengaruh penambahan FABA terhadap sifat fisik dan derajat keasaman (pH) kompos . *Jurnal Teknologi Separasi*, 8(3), 460–468.
- [17] Levene, H. (1960). *Contributions to probability and statistics: Robust tests for equality of variances*. Stanford Univ. Press. United States of America.
- [18] Marulitua, A., Deny, S., & Zeldi, M. (2022). Perancangan struktur beton bertulang pada bangunan gedung rumah dan toko 4 lantai di jalan sepakat II kota pontianak. *Jurnal Rekayasa Teknik Sipil*, 2(2), 1–9.
- [19] Masood, S., Dagang, L., Onyelowe, C. K., Shah, M. M., Almujiyah, H., Rezzoug, A., Ahmed, H., Ra,mzan, T., Kahla, B. N., & Ghazouani, N. (2025). Performance and sustainability in hybrid concrete: a study of recycled aggregates and activated fly ash. *Ain Shams Engineering Journal*, 16, 103597, 1–17.
- [20] Mose, L., Johannes, J. & Sahureka, M. J. T. (2022). Perbandingan kuat tekan beton dengan menggunakan agregat sungai desa tepa dan pantai wati desa yatoke di pulau babar. *Jurnal Manumata*, 8(1), 1–10.
- [21] Nkomo, Z., N., & Alugongo, A., A. (2023). Experimental investigation of effect of partial replacement of cement with fly ash on the workability and mechanical properties of concrete. *International Journal of Eng. Trends and Tech. (IJETT)*, 71(9),116-128.
- [22] PUPR, Ditjen Cipta Karya. Mengenal tentang slump beton. https://ciptakarya.pu.go.id/admin/assets/upload/galeri/nspk/2023/02/22/916496_861259_MENGENAL%20SLUMP%20BETO. N.pdf. Diakses tanggal 12 Oktober 2025.
- [23] Sahast, J. C., Noorhidana, A. V., Irianti, L., & Sebayang, S. (2022). Pengaruh penggunaan fly ash sebagai bahan pengganti sejumlah semen dan bahan tambahan terhadap kuat tekan pada self compacting concrete (SCC). *J. Rekayasa Sipil dan Desain*, 10(2), 359-372.
- [24] Shapiro, S. S., & Wilk, M. B. (1965). An analysis of variance test for normality (complete samples). *Biometrika*, 52(4), 591-611.
- [25] Sukmawati, Y., Muhtar & Ahmad, H., H. (2024). Dampak penambahan fly ash batu bara terhadap kinerja balok beton bertulang tunggal . *REKAYASA: Journal of Sci. and Tech.*, 17(2), 286–297.
- [26] Sultan, A., M., Imran, & Faujan, M. (2019). Pengaruh penambahan limbah pembakaran batu bara (fly ash) ex PLTU RUM pada campuran beton . *TERAS Jurnal*, 9(2), 83–90.
- [27] SNI, 2847. (2019). *Persyaratan beton struktural untuk bangunan gedung*. Badan Standarisasi Nasional. BSN.
- [28] Sriwahyuni, W. (2024). Pengaruh penambahan fly ash batu bara pada campuran beton terhadap tekan beton normal . *Diploma thesis*, Universitas Bung Hatta.
- [29] Vikram, M. K., Aparna, B. P., & Roopakala, C. G. (2024). Evaluation of fly ash as a partial replacement for cement in concrete: effects on strength and durability. *International Journal of Research in Applied Sci. and Eng. Tech. (IJRASET)*, 12(xii),1123-1127.
- [30] Yu, Z., Liu, C., Li, J., Wu, J., Ma, X., Cao, Y., Cao, J., Xiang, W., Wang, H., & Ding, Q. (2024). Research on the water absorption and release characteristics of a carbonarized y-C₂S lightweight aggregate in lightweight and high-strength concrete. *J. Materials*, 14, 1056, 1-22.

PERANAN K3 PADA PEKERJAAN PEMELIHARAAN MESIN DIESEL RIG CARRIER C15 DENGAN MENGGUNAKAN METODE HIRARC: SEBUAH STUDI KASUS

Iqbal Shokhibun Nazar¹, Faisal Ashari²

^{1,2} Teknik Industri, Sains dan Teknik, Universitas Bojonegoro
Email: iqbalnazar293@gmail.com, faisal.gaxes@gmail.com

ABSTRACT

Occupational Health and Safety (OHS) is a crucial aspect of every work activity, especially in the maintenance of heavy machinery such as the Diesel Rig Carrier CAT-15. This study aims to identify potential hazards, assess risk levels, and determine appropriate control measures using the HIRARC (Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control) method in the maintenance activities of the Diesel Rig CAT-15 at PT. Tiga Musim Mas Jaya. The research method involved direct observation and analysis of nine main maintenance activities, namely checking the radiator, engine oil, transmission oil, hydraulic tank, spark arrestor, battery voltage, V-belt, Eagle box, and flywheel. The hazard identification results found a total of 29 potential hazards with varying risk levels: 37.93% categorized as low risk, 44.83% as medium risk, and 17.24% as high risk. Following the implementation of risk controls based on the hierarchy of controls (elimination, substitution, engineering design, administrative measures, and the use of Personal Protective Equipment/PPE), all potential risks were successfully reduced to a low level. The conclusion of this study indicates that the systematic application of the HIRARC method can enhance the effectiveness of risk control and contribute to creating a safe and healthy work environment for employees. This approach is expected to be continuously implemented as part of the company's OHS management system.

Keywords: HIRARC, K3, RIG C15

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 10-10-2025

Tanggal revisi : 11-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16470>

1. PENDAHULUAN

Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) merupakan upaya untuk meningkatkan dan menjaga kesejahteraan sosial, mental, dan fisik setiap karyawan di berbagai industri. Tujuannya adalah untuk melindungi seluruh karyawan dari bahaya di tempat kerja yang dapat membahayakan kesehatan mereka

dan mencegah masalah kesehatan.

Sebuah laporan dari Badan Penyelenggara Jaminan Sosial Ketenagakerjaan (BPJS Ketenagakerjaan) menunjukkan bahwa angka kecelakaan kerja terus meningkat di Indonesia yang relatif tinggi. Tercatat sebanyak 265.334 kejadian kecelakaan kerja pada tahun 2022, peningkatan 13,26% dari 234.270 kasus pada

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



tahun sebelumnya (Setiyawan, 2021). Fokus K3 meningkat seiring dengan kesadaran akan efek negatifnya terhadap karyawan, lingkungan, dan produktivitas industri secara keseluruhan. Dengan meningkatnya kesadaran akan pentingnya Kesehatan dan Keselamatan Kerja (K3) di industri, pentingnya menerapkan metode yang efektif untuk mengidentifikasi bahaya, menilai risiko, dan menetapkan kontrol menjadi semakin jelas dalam menjaga keamanan dan kesehatan di lingkungan kerja.

Identifikasi Bahaya, Penilaian Risiko dan Pengendalian Risiko (HIRARC) adalah salah satu metode terkenal yang sangat penting untuk memastikan lingkungan kerja yang aman dan sehat. HIRARC yang merupakan singkatan dari *Hazard Identification* (identifikasi bahaya), *Risk Assessment* (penilaian risiko), dan *Risk Control* (pengendalian risiko) merupakan metode yang sistematis, menyeluruh, dan terstruktur untuk mengidentifikasi berbagai masalah yang memengaruhi proses dan risiko terkait peralatan yang dapat membahayakan orang, peralatan atau sistem yang ada. HIRARC berkaitan langsung dengan upaya pencegahan dan manajemen bahaya yang digunakan untuk menetapkan tujuan dari rencana keselamatan dan kesehatan kerja. Hasil penilaian ini berguna untuk membuat program pengendalian bahaya agar perusahaan dapat meminimalkan tingkat risiko yang mungkin terjadi selanjutnya.

PT Tiga Musim Mas Jaya adalah salah satu Kontraktor Pengeboran Minyak & Gas yang melibatkan kegiatan berisiko tinggi seperti Pengeboran Lahan MINYAK & GAS yang menggunakan Rig berkisar dari 350HP hingga 1500HP, *National Oilwell Bowen Top Drives & Maritime Hydraulics Top Drives* yang berkisar dari 250HP, 350HP, dan 500HP, dan juga banyak menggunakan peralatan, seperti: BOP, *Solid Controls*, *Mud Pumps*, *Traveling Block*, *Hydromatic Brake*, dan lain-lain. Implementasi K3 yang maksimal tak semata-mata mendongkrak performa pekerja, melainkan juga menaikkan keluaran dan daya guna perusahaan. Mempertimbangkan ancaman laten dan level kerja di zona industri, maka evaluasi kemungkinan bahaya serta

penaksiran risiko menggunakan metode HIRARC menjadi krusial.

Alasan penulis memilih metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC) karena tingkat kecelakaan kerja dan berbagai ancaman keselamatan dan kesehatan kerja (K3) masih sangat tinggi di sektor industri.

Penelitian ini bertujuan untuk mengidentifikasi dan mengendalikan risiko kerja pada aktivitas pemeliharaan mesin Diesel Rig C15 menggunakan metode HIRARC, guna meningkatkan efektivitas penerapan K3 di industri perawatan alat berat, mengurangi, melindungi, atau bahkan benar-benar menghilangkan risiko kecelakaan kerja pada tenaga kerja. Oleh karena itu, metode *Hazard Identification, Risk Assessment, and Risk Control* (HIRARC) dapat digunakan oleh setiap organisasi yang memiliki kerja risiko kecelakaan untuk mengidentifikasi bahaya (Lutfia et al., 2025).

2. METODE PENELITIAN

Pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui observasi yang mencakup pemantauan alur proses kerja di PT. Tiga Musim Mas Jaya pada tanggal 1 hingga 31 Agustus 2024, mengidentifikasi peralatan yang digunakan, serta pengenalan potensi bahaya pada setiap tahap tersebut dengan ikut melakukan pekerjaan yang berhubungan dengan perawatan mesin diesel C15. Penelitian ini menggunakan metode *Hazard Identification Risk Assessment dan Risk Control* (HIRARC) metode ini menjelaskan semua identifikasi bahaya, penilaian risiko, dan pengendalian risikonya yang bertujuan untuk mengurangi atau bila perlu menghilangkan penyebab kecelakaan kerja. Selain menggunakan metode observasi peneliti juga menggunakan metode wawancara di tempat magang dengan narasumber mulai dari mekanik, HSSE, rig *supervisor* dan *crew rig* yang tujuan untuk menyebar kuisioner dan mengetahui apa saja potensi bahaya juga risiko setiap kegiatan yang dikaji. Setelah melakukan penyebaran penulis mulai menghitung tingkat risiko yang ada kemudian menyerahkannya kepada rig *supervisor* dan HSSE untuk memastikan valid tidaknya data tersebut. Berikut adalah diagram alur metode penelitian HIRARC



Gambar 1 diagram alur metode penelitian HIRARC

pengeboran darat (pengeboran tanah), dalam industri minyak dan gas. Mesin ini menggunakan teknologi ACERT Caterpillar, yang merupakan kombinasi sistem pembakaran canggih, kontrol emisi, dan efisiensi bahan bakar yang optimal. Mesin ini memiliki konfigurasi 6 silinder segaris, berkapasitas 15,2 liter, dan tenaga berkisar antara 440 hingga 595 brake horsepower (BHP). Ini memungkinkan untuk memberikan daya dan torsi besar yang diperlukan untuk menggerakkan pompa lumpur dalam operasi pengeboran.

Hazard Identification Metode ini berguna untuk mengetahui kegiatan apa saja yang berpotensi membahayakan pekerja dan risiko apa saja yang bisa terjadi. Berikut adalah tabel yang penulis buat untuk mengidentifikasi potensi bahaya dan risiko dari 9 aktivitas/kegiatan perawatan mesin diesel rig C15.

Tabel 1.1 *Hazard Identification*

Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

K3 merupakan segala hal yang berkaitan dengan keselamatan dan kesehatan tenaga kerja di suatu perusahaan atau organisasi (Setyo Widodo, 2023). Pemikiran tentang keselamatan dan kesehatan kerja didefinisikan sebagai upaya untuk menjamin keutuhan dan kesempurnaan jasmani dan rohani tenaga kerja pada khususnya dan manusia pada umumnya, serta produk dan budaya mereka, dalam upaya mewujudkan masyarakat yang makmur dan sejahtera. Sistem manajemen keselamatan dan kesehatan kerja adalah bagian dari sistem manajemen perusahaan secara keseluruhan, dan mencakup struktur organisasi, perencanaan, pelaksanaan, tanggung jawab, prosedur, proses, dan sumber daya yang diperlukan untuk mengembangkan, menerapkan, mencapai, pengkajian, dan pemeliharaan kebijakan keselamatan dan kesehatan kerja dalam rangka pengendalian risiko yang terkait dengan kegiatan kerja, dan untuk mencapai tujuan yang sama (Syahyuni, 2019).

Mesin diesel Caterpillar C15 ACERT adalah salah satu yang paling tangguh yang dirancang untuk aplikasi berat, seperti rig

Aktivitas	Potensi Bahaya	Resiko
Pengecekan level water radiator engin	Kontak dengan uap atau air panas Tumpahan air radiator	Luka bakar ringan hingga berat Terjatuh dan terpeleset
Pengecekan level oil engin	Paparan bahan kimia beracun seperti ethylene/propylene glycol Kontak dengan permukaan mesin panas Tumpahan oli di area kerja	Luka bakar ringan hingga berat Iritasi kulit ringan Terkilir hingga patah tulang

	Pengecekan saat mesin hidup	Cedera akibat komponen bergerak seperti belt dan kipas
	Paparan terhadap oli mesin	Gangguan pernapasan bila terhirup terlalu banyak
Pengecekan Level oil transmission	Paparan gas beracun	Gangguan penelihat
	Pengecekan tanpa mengamankan kendaraan	Kendaraan bergerak atau komponen transmisi aktif tiba-tiba
	Tumpahan oli transmisi	Terjatuh dan terpeleset
	Kontak dengan permukaan transmisi panas	Luka bakar ringan hingga parah
Pengecekan Level oil hydraulic tank	Tekanan dalam sistem hidrolik	Semburan oli bertekanan tinggi
	Pengecekan komponen hidrolik aktif	Cedera akibat komponen bergerak seperti silinder dan hose
	Tumpahan oli di area kerja	Terjatuh dan terpeleset
	Paparan gas beracun	Gangguan pengelihat
Pengecekan Level water Spark Arresstor	Uap panas dari spark arresstor	Luka bakar ringan hingga berat
	Tekanan sisa dalam system	Semburan air mendadak saat membuka tutup yang masih bertekanan

Pengecekan Accu voltage	Sengatan listrik dari terminal aki	Cedera ringan hingga sedang akibat sengatan listrik
	Uap atau cairan asam dari aki	Gangguan pengelihat jika terkena langsung
	Tertimpa aki	Luka ringan hingga sedang
Pengecekan V-Belt	Alat jatuh ke area dalam mesin	Alat tertarik ke dalam <i>V-Belt</i>
	Permukaan sekitar mesin panas	Luka bakar
	Posisi tidak ergonomis	Kehilangan keseimbangan
Pengecekan Eagle Box	Permukaan box panas	Luka bakar
	Tumpahan pelumas	Terpeleset
	Posisi kerja tidak ergonomis	Kehilangan keseimbangan
Pengecekan Flywheel	Baju tersangkut gigi <i>flywheel</i>	Kecelakaan akibat baju tertarik <i>flywheel</i>
	Posisi kerja tidak ergonomis	Hilang keseimbangan
	Tidak LOTO(<i>Lockout-Tagout</i>)	Mesin bisa tiba-tiba hidup saat <i>flywheel</i> sedang diputar

Risk Assesment atau penilaian risiko, digunakan untuk menentukan bahaya yang mungkin terjadi. Risiko evaluasi dilakukan untuk memastikan kontrol risiko proses, operasi, atau aktivitas yang dilakukan berada

pada tingkat yang dapat diterima. Dalam evaluasi risiko, ada tiga penilaian: kemungkinan (L) dan Keburukan (S) atau Akibat (C). Kemungkinan menunjukkan seberapa mungkin kecelakaan itu terjadi, sedangkan Keburukan menunjukkan seberapa parah dampak kecelakaan tersebut. Nilai dari kemungkinan dan Keburukan akan digunakan untuk menentukan Peringkat Risiko atau Tingkat Risiko (Ramadhanti et al., 2023) . Komponen yang digunakan untuk menghitung peringkat risiko/Risk Matrix adalah sebagai berikut:

Tabel 1.2 Skala Likelihood

1	Sangat Jarang Terjadi
2	Jarang Terjadi
3	Kadang-kadang Terjadi
4	Sering Terjadi
5	Sangat Sering Terjadi

Tabel 1.3 Skala Severity

1	Tidak cedera
2	Cedera Ringan
3	Cedera Sedang
4	Cedera Berat
5	Fatal/Sangat Parah

Tabel matriks risiko menggabungkan hasil identifikasi tingkat keparahan dan kemungkinan yang terjadi untuk menggabungkan tingkat keparahan dan kemungkinan yang terjadi (Maliza et al., n.d.). Lalu rumus yang digunakan untuk penilaian risiko adalah sebagai berikut $RiskLevel = L \times S$ (Firmansyah & Waluyo, 2024)

Tabel 1.4 Risk Matrix

Kemungkinan (L)	Keburukan (S)				
	Tidak	Cedera	Cedera	Cedera	Fatal
	Tidak	Cedera	Cedera	Cedera	Fatal

Tabel 16 Risk Control

Aktivitas	Potensi Bahaya	Penilaian Risiko Sebelum Dikendalikan			Penilaian Risiko Setelah Dikendalikan			Skor Risiko
		L	S	RN	L	S	RN	

	cedera (1)	Ringan (2)	Sedang (3)	(4)	(5)
Sangat Jarang Terjadi (1)	L	L	L	L	
Jarang Terjadi (2)	L	L			
Kadang-kadang Terjadi (3)	L				
Sering Terjadi (4)	L				
Sangat Sering Terjadi (5)					

Tabel 1.5 Skor Risiko

Nilai Risiko	Tingkat Risiko
1 - 4	Rendah
5 - 9	Sedang
10 - 15	Tinggi
16 - 25	Sangat Tinggi

Risk Control atau Pengendalian Risiko adalah cara untuk menangani potensi bahaya di tempat kerja. Hasil evaluasi risiko akan digunakan sebagai dasar untuk melakukan pengendalian risiko. Tujuan dari pengendalian risiko adalah untuk mengurangi tingkat risiko dari potensi bahaya yang ada (Chandra et al., 2023). Hasil penilaian risiko digunakan sebagai dasar untuk proses pengelolaan risiko (pengendalian risiko). Ada 5 hierarki dalam mengurangi risiko yaitu eliminasi, substitusi, Pengendalian Teknik, Pengawasan manajemen, APD (Santoso et al., 2022).

Pengecekan level water radiator mesin	Kontak dengan uap atau air panas	4	1	4	peringatan untuk tidak membuka radiator saat panas, gunakan APD (Sarung tangan tahan panas)	2	1	2	Low
	Tumpahan air radiator	3	1	3	Gunakan Sepatu dengan sol anti slip, Siapkan ember sebelum membuka tutup air radiator	1	1	1	Low
	Paparan bahan kimia beracun seperti ethylene/propylene glycol	4	3	12	Jadwal Ganti sifit kerja guna mengurangi waktu paparan, Menggunakan APD Respirator (Masker gas)	2	2	4	Low
Pengecekan level oil engine	Kontak dengan permukaan mesin panas	4	1	4	Memasang label <i>HOT SURFACE</i> pada area rawan panas, gunakan APD (Sarung tangan tahan panas)	2	1	2	Low
	Tumpahan oli di area kerja	3	1	3	Siapkan pasir untuk menyerap tumpahan, Gunakan Sepatu dengan sol anti slip	1	1	1	Low
	Pengecekan saat mesin hidup	2	4	8	Lakukan <i>Lock Out Tag Out</i> (LOTO), Jaga jarak aman dari komponen bergerak	1	2	2	Low
	Paparan terhadap oli mesin	2	2	4	Gunakan APD (Sarung tangan karet, kaca mata, dan masker)	2	1	2	Low
Pengecekan Level oil transmission	Paparan gas beracun	4	3	12	Menggunakan APD Respirator (Masker gas)	2	2	4	Low
	Pengecekan tanpa mengamankan kendaraan	2	5	10	Pastikan kendaraan dimatikan dan direm paker, Ganjal roda Mobil saat pengecekan dilakukan	1	2	2	Low
	Tumpahan oli transmisi	3	1	3	Siapkan pasir untuk menyerap tumpahan, Gunakan wadah penampung oli	2	1	2	Low
	Kontak dengan permukaan transmisi panas	4	2	8	Tunggu hingga transmisi dingin, gunakan APD (Sarung tangan tahan panas)	2	2	4	Low
Pengecekan Level oil hydraulic tank	Tekanan dalam sistem hidrolik	2	2	4	Pastikan sistem tidak bertekanan sebelum pengecekan, gunakan APD (<i>Face shield</i> dan sarung tangan)	2	1	2	Low

	Pengecekan saat komponen hidrolik aktif	2	3	6	Pasang papan peringatan "Dilarang menghidupkan mesin"	2	2	4	Low
	Tumpahan oli di area kerja	4	1	4	Siapkan pasir untuk menyerap tumpahan, Gunakan wadah penampung oli	2	1	2	Low
	Paparan gas beracun	4	3	12	Menggunakan APD Respirator (Masker gas)	2	2	4	Low
Pengecekan Level water Spark Arresstor	Uap panas dari spark arresstor	3	2	6	Pasang poster peringatan "Bahaya Panas" di sekitar area, gunakan APD (Sarung tangan tahan panas dan <i>face shield</i>)	2	1	2	Low
	Tekanan sisa dalam system	3	2	6	Lepaskan tekanan sistem secara perlahan sebelum membuka komponen, gunakan APD (<i>Face shield</i> dan sarung tangan)	2	2	4	Low
	Sengatan listrik dari terminal aki	3	2	6	Gunakan sarung tangan karet, Pastikan tangan dalam keadaan kering	1	1	1	Low
Pengecekan Accu voltage	Uap cairan asam dari aki	2	2	4	Gunakan APD (<i>Face shield</i> dan sarung tangan)	2	1	2	Low
	Tertimpa aki	2	2	4	Minta bantuan jika tidak kuat, Gunakan alas/penopang saat melepas aki	1	1	1	Low
	Alat jatuh ke area dalam mesin	3	2	6	Gunakan box atau ember untuk menyimpan alat, Gunakan alat dengan tali pengikat	1	2		
Pengecekan V-Belt	Permukaan sekitar mesin panas	3	2	6	Pasang poster peringatan "Bahaya Panas" di sekitar area, Lakukan pengecekan setelah mesin dingin, Gunakan APD (sarung tangan tahan panas)	2	1	2	Low
	Posisi tidak ergonomis	4	2	8	Gunakan senter untuk mengecek dalam ruang sempit, Gunakan alat dengan pegangan panjang	3	1	3	Low
	Permukaan box panas	3	2	6	Pasang poster peringatan "Bahaya Panas" di sekitar area, gunakan APD (Sarung tangan tahan panas), Lakukan pengecekan saat box dalam keadaan dingin	2	1	2	Low

	Tumpahan pelumas	4	1	4	Siapkan pasir untuk menyerap tumpahan, Gunakan wadah penampung pelumas	2	1	2	Low
	Posisi kerja tidak ergonomis	4	2	8	Rotasi kerja jika durasi terlalu lama, Gunakan alat bantu seperti kursi	3	1	3	Low
Pengecekan Flywheel	Baju tersangkut gigi flywheel	2	3	6	Pastikan <i>Wearpack</i> tidak terlalu longgar, Hindari menggunakan aksesoris seperti syal dan kunci yang tergantung di saku	1	2	2	Low
	Posisi kerja tidak ergonomis	4	2	8	Rotasi kerja jika durasi terlalu lama, Gunakan alat bantu seperti kursi	3	1	3	Low
	Tidak LOTO(<i>Lockout-Tagout</i>)	2	5	10	Berikan pelatihan LOTO kepada teknisi dan pengawas	1	2	2	Low

Setelah melakukan analisa penilaian risiko dan pengelompokan kategori Tingkat risiko dari setiap proses pekerjaan yang ada didapatkan 29 potensi bahaya, masing-masing memiliki kategori dari tinggi sampai rendah, dapat dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\text{Low} = \frac{11}{29} \times 100\% = 37,93$$

$$\text{Medium} = \frac{13}{29} \times 100\% = 44,83$$

$$\text{High} = \frac{5}{29} \times 100\% = 17,24$$

4. KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mencapai tujuannya dalam menganalisis risiko Keselamatan dan Kesehatan Kerja (K3) pada sembilan aktivitas utama pemeliharaan *Diesel Rig Carrier CAT-15* menggunakan metode HIRARC. Hasil identifikasi menunjukkan adanya 29 potensi bahaya yang didominasi oleh kategori risiko Sedang (44,83%), diikuti oleh risiko Rendah (37,93%), dan risiko Tinggi (17,24%). Namun, setelah implementasi tindakan pengendalian risiko yang ketat berdasarkan Hierarki Kontrol (Eliminasi, Substitusi, Rekayasa Teknik, Administrasi, dan APD), semua potensi risiko tersebut berhasil diturunkan ke tingkat Rendah (*Low Risk*). Hal ini membuktikan bahwa penerapan metode HIRARC secara sistematis dan komprehensif sangat efektif dalam meningkatkan efektivitas pengendalian risiko, yang pada akhirnya berkontribusi pada

penciptaan lingkungan kerja yang lebih aman dan sehat bagi karyawan. Disarankan Untuk menjaga keberlanjutan hasil positif ini, terdapat dua rekomendasi utama. Pertama, perusahaan disarankan untuk melakukan audit K3 berkala (setidaknya setiap enam bulan) dan peninjauan kembali prosedur operasional, terutama terkait penerapan *Lockout-Tagout* (LOTO) dan penggunaan APD yang wajib, untuk memastikan bahwa pengendalian risiko tetap konsisten di lapangan. Kedua, perlu adanya pelatihan K3 berkelanjutan bagi seluruh mekanik dan kru rig, dengan fokus spesifik pada prosedur LOTO dan prinsip ergonomi, guna meminimalkan risiko yang berasal dari faktor manusia. Selain itu, sebagai arah penelitian lanjutan, disarankan untuk mengembangkan matriks penilaian risiko yang lebih kuantitatif (misalnya, menggunakan metode FMEA) untuk memvalidasi dan mengoptimalkan hasil pengendalian risiko yang telah dicapai.

5. REFERENSI

- [1] Chandra, C., Thomas, I., Adi, P., Industri, F. T., & Petra, U. K. (2023). *Analisis Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Dengan Menggunakan Metode Hirarc : Sebuah Studi Kasus Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering J-Ensistec (Journal Of Engineering And Sustainable Technology) Computer Science | Industrial Engineering | Mechanic Engineering | Civil Engineering. 10(01), 892–899.*
- [2] Ramadhanti, C., Rahmadani, A. R., & Dewanti, D. W. (2023). Identifikasi Bahaya Dan Penilaian Risiko (Ibpr) Menggunakan Metode Hirarc Pada Pt Xyz. *Jurnal Ilmiah Teknologi Infomasi Terapan, 9(2).* <https://doi.org/10.33197/jitter.vol9.iss2.2023.995>
- [3] Santoso, D. O., Kurniawan, M. D., & Hidayat, H. (2022). Analisa Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Menggunakan Metode Hirarc Di Pt. Inhutani 1 Umi Gresikhutani 1 Umi Gresik. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri, 6(1), 12.* <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v6i1.1580>
- [4] Setiyawan, M. F. (2021). Analisa Risiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja. *Jiso: Journal Of Industrial And Systems Optimization, 4(6), 48–54.*
- [5] Setyo Widodo, D. (2023). Determinasi Pelatihan, Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Terhadap Kepuasan Kerja. *Jurnal Ilmu Multidisplin, 1(4), 956–962.* <https://doi.org/10.38035/jim.v1i4.177>
- [6] Syahyuni, D. (2019). Hubungan Antara Keselamatan Dan Kesehatan Kerja (K3) Dan Motivasi Kerja Dengan Kepuasan Kerja Karyawan Dada Suku Dinas Penanggulangan Kebakaran Dan Penyelamaan Kota Administrasi Jakarta Selatan. *Perspektif, 17 No. 2(2), 170.* <https://ejournal.bsi.ac.id/ejurnal/index.php/perspektif/article/view/6455>
- [7] Firmansyah, A. M., & Waluyo, M. (2024). Mengidentifikasi Dan Menanggulangi Risiko Di Pt.Xyz Menggunakan Metode Hirarc. *Sammajiva : Jurnal Penelitian Bisnis Dan Manajemen, 2(1), 13–29.*
- [8] Lutfia, T., Ali, S., & Galuh, H. (2025). *Analisa Resiko Keselamatan Dan Kesehatan Kerja Di Pt . Industri Kemasan Semen Gresik Dengan Metode Hirarc. 8(1), 92–96.*
- [9] Maliza, N. O., Widy, C., Putri, A., Studi, P., Hasil, T., Pertanian, F., Umar, U., Akutansi, P. S., Ekonomi, F., & Umar, U. (N.D.). *Evaluasi Kesehatan Dan Keselamatan Kerja Pada Stasiun Sterilizer Dengan Metode Hirarc Di Pt . Beurata Subur Peusada.*

IMPLEMENTASI BRUTE FORCE ATTACK TERHADAP VIGENERE CIPHER: PENGARUH PANJANG KUNCI DAN PANJANG TEKS

Yandi Anzari¹, Aulia Rachmawati², Muhammad Damas Fatih³, Pariyadi⁴
^{1,2,3,4}Program Studi Sistem Informasi, Fakultas Sains Teknik, Universitas Jambi
Email: yandi.anzari@unja.ac.id

ABSTRACT

The Vigenere Cipher, although historically significant, remains vulnerable to modern brute force attacks. This study aims to empirically measure how key length and text length independently influence the time required to break the cipher using brute force methods. A pure experimental approach was applied through four test scenarios that combined two key lengths ($L=3$ and $L=5$) and two plaintext lengths (22 and 420 characters). The experiments were implemented in Python on a controlled computing environment to ensure result consistency. The findings show that key length has an exponential impact on decryption time, where increasing the key from three to five characters extended the execution time by approximately 370 times. In contrast, text length had a linear effect, with a 19-fold increase in characters leading to only about a 20-fold increase in processing time. In conclusion, the study confirms that cryptographic resistance in the Vigenere Cipher is primarily determined by key length, while text length only increases the computational workload proportionally. Future research is suggested to apply similar brute force analyses to other classical ciphers and explore larger key lengths to model performance limits more comprehensively.

Keywords: Brute Force Attack, Key Length, Time Complexity, Vigenere Cipher.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 03-10-2025
Tanggal revisi : 12-11-2025
Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16393>

1. PENDAHULUAN

Kriptografi klasik memiliki peran fundamental dalam membangun dasar keamanan informasi modern. Pemahaman terhadap konsep enkripsi, dekripsi, dan kriptanalisis menjadi kunci untuk memahami bagaimana sistem keamanan digital berkembang dari metode konvensional ke sistem modern yang lebih kompleks (Purwanti et al., 2024). Salah satu metode kriptografi klasik yang paling berpengaruh adalah Vigenère Cipher, yang termasuk dalam kategori polyalphabetic substitution cipher (ALABADY et al., 2025). Algoritma ini dikembangkan untuk mengatasi kelemahan cipher monoalfabetik yang rentan terhadap

analisis frekuensi huruf tunggal. Dengan pola substitusi yang bergantung pada kunci berulang, Vigenère menghasilkan tingkat kompleksitas enkripsi yang cukup tinggi dan selama beberapa abad dianggap hampir tidak dapat dipecahkan (Gomez et al., 2018).

Selain itu, beberapa studi di Indonesia juga telah membandingkan kinerja algoritma Vigenère dengan algoritma kriptografi modern seperti RSA, menunjukkan perbedaan tingkat keamanan dan efisiensi dalam konteks pengolahan data digital (Sopiandi & Jabbar, n.d.).

Meskipun sederhana dan historis, Vigenère Cipher memiliki kelemahan mendasar terhadap metode kriptanalisis

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



modern seperti Brute Force Attack (BFA) (Hadi et al., 2024). Serangan brute force dilakukan dengan menguji seluruh kemungkinan kombinasi kunci hingga ditemukan hasil dekripsi yang cocok dengan plaintext asli. Kompleksitas waktu serangan ini dapat dimodelkan sebagai $O(|P| \cdot 26^L)$ di mana $|P|$ adalah Panjang teks dan L adalah panjang kunci (Guglani, n.d.-a). Model tersebut menunjukkan bahwa waktu pemecahan cipher sangat dipengaruhi oleh dua faktor utama: panjang kunci dan panjang teks.

Faktor pertama, panjang kunci (L), menentukan ukuran ruang pencarian (keyspace) yang harus dieksplorasi selama proses brute force. Semakin panjang kunci, maka jumlah kombinasi meningkat secara eksponensial, sehingga memperbesar waktu komputasi secara signifikan (Hassan, 2024a). Penelitian terbaru menunjukkan bahwa peningkatan panjang kunci memberikan efek langsung terhadap peningkatan kompleksitas pemecahan (Sebhatu, n.d.-a), sementara beberapa modifikasi algoritmik berusaha memperluas ruang kunci untuk meningkatkan ketahanan enkripsi (Chemlal et al., 2025; Vatshayan et al., 2020).

Faktor kedua, panjang teks ($|P|$), berpengaruh secara linier terhadap waktu pemrosesan, karena setiap percobaan kunci harus melewati seluruh karakter teks yang diuji. Penelitian oleh G. H. Tuga dan P. Cubero (Tuga et al., n.d.-a) menunjukkan bahwa peningkatan panjang plaintext secara proporsional memperpanjang waktu dekripsi. Temuan ini diperkuat oleh studi lain yang membandingkan waktu eksekusi antara cipher klasik dan modern, di mana peningkatan jumlah karakter berdampak langsung pada total waktu serangan brute force (Adhitya et al., 2024a; Goud et al., n.d.).

Meskipun banyak penelitian yang membahas pengaruh panjang kunci dan panjang teks terhadap keamanan cipher, sebagian besar studi sebelumnya tidak mengisolasi kedua variabel tersebut secara independen dalam konteks Brute Force Attack murni. Celah ini penting, karena tanpa pengujian terpisah, sulit untuk memahami

kontribusi empiris masing-masing variabel terhadap kompleksitas waktu pemecahan.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengukur secara empiris pengaruh variasi panjang kunci (L) dan panjang teks ($|P|$) terhadap waktu pemecahan Brute Force Attack pada algoritma Vigenère Cipher. Melalui pendekatan eksperimental, penelitian ini bertujuan untuk memvalidasi model kompleksitas waktu $O(|P| \cdot 26^L)$ dan memberikan kontribusi empiris terhadap pemahaman batas keamanan cipher klasik dalam konteks komputasi modern.

Sebagai arah penelitian, rumusan masalah yang dikaji adalah:

1. Bagaimana pengaruh panjang kunci (L) terhadap waktu pemecahan Brute Force Attack pada algoritma Vigenère Cipher?
2. Bagaimana pengaruh panjang teks ($|P|$) terhadap waktu pemecahan Brute Force Attack pada algoritma Vigenère Cipher?

Struktur artikel ini terdiri dari empat bagian: Pendahuluan, Metode Penelitian, Hasil dan Pembahasan, serta Kesimpulan.

2. METODE PENELITIAN

2.1 Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimental murni (pure experimental research) dengan metode kuantitatif. Tujuannya adalah untuk mengukur secara empiris pengaruh dua variabel independen, yaitu panjang kunci (L) dan panjang teks ($|P|$), terhadap variabel dependen yaitu waktu pemecahan (T) pada serangan Brute Force Attack (BFA).

Pendekatan eksperimental dipilih karena memungkinkan analisis langsung terhadap performa algoritma kriptografi klasik dalam kondisi yang terkontrol (Budi Handoko, 2022a; Purwanti et al., 2024). Desain penelitian didasarkan pada analisis komparatif berjenjang, di mana hasil empiris dibandingkan dengan model teoritis kompleksitas waktu $T \propto O(|P| \cdot 26^L)$ (Guglani, n.d.-a; Hassan, 2024a). Secara umum, rancangan penelitian mencakup tahapan konseptual mulai dari pemilihan algoritma, perancangan eksperimen, hingga interpretasi hasil pengujian.

2.2 Variabel dan Skenario Pengujian

Penelitian ini melibatkan dua variabel bebas dan satu variabel terikat sebagaimana dijelaskan pada Tabel 1.

Tabel 1. Variabel Penelitian

Jenis Variabel	Nama Variabel	Simbol	Deskripsi
Independen 1	Panjang Kunci	L	Jumlah karakter pada kunci enkripsi yang diuji
Independen 2	Panjang Teks	P	Jumlah karakter pada plainteks yang diuji
Dependen	Waktu Pemecahan	T	Waktu total (s) yang dibutuhkan algoritma brute force untuk menemukan kunci yang benar

Empat kombinasi skenario pengujian digunakan untuk menganalisis pengaruh kedua variabel secara lebih mendalam (Adhitya et al., 2024a).

Tabel 2. Skenario Pengujian

No	Panjang Kunci (L)	Panjang Teks (P)	Deskripsi Skenario
1	3	22	Kunci Pendek pada Teks Pendek.
2	5	22	Kunci Panjang pada Teks Pendek.
3	3	420	Kunci Pendek pada Teks Panjang
4	5	420	Kunci Panjang pada Teks Panjang

2.3 Alat dan Bahan

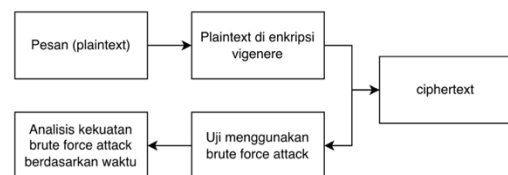
Eksperimen dilaksanakan menggunakan perangkat keras dan perangkat lunak sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3. Spesifikasi sistem dicantumkan untuk mendukung replikabilitas hasil dan konsistensi eksperimen (Hassan, 2024a; Vatshayan et al., 2020).

Tabel 3. Spesifikasi Sistem

Komponen	Spesifikasi
Perangkat keras	MacBook Pro (mid-2012), Intel Core i5 (dual-core, ~2.5 GHz) atau i7 tergantung model, RAM 8 GB, penyimpanan SSD/HDD 256–512 GB.
Sistem operasi	MacOS Catalina version 10.15.7
Bahasa pemrograman	Python 3.11
Library pendukung	time, string, dan itertools
Lingkungan pengujian	Jupyter Notebook

2.4 Prosedur Eksperimen

Tahapan pelaksanaan eksperimen terdiri atas empat langkah utama sebagaimana divisualisasikan pada Gambar 1.



Gambar 1. Desain Eksperimen

Langkah 1- Enkripsi Data.

Plaintext dienkripsi menggunakan algoritma Vigenère Cipher berdasarkan formula berikut (Budi Handoko, 2022a):

$$C_i = (P_i \cdot K_i) \text{ mod } 26 \quad (I)$$

C_i : Huruf pada posisi ke- i dari teks terenkripsi (ciphertext).

- P_i : Huruf pada posisi ke- i dari teks asli (plaintext).
 K_i : Huruf pada posisi ke- i dari kunci yang diulang-ulang agar sesuai dengan panjang teks.
 N : Jumlah huruf dalam alfabet yang digunakan. Untuk alfabet Latin ($n=26$).
 $\text{mod } n$: Operasi modulo yang memastikan hasilnya kembali ke dalam rentang alfabet, misalnya dari 1 hingga 26 untuk alfabet Latin
 Contoh proses enkripsi huruf demi huruf ditunjukkan pada Tabel 4, yang menjelaskan proses enkripsi teks “CONTOH” menggunakan kunci “KEY”.

Tabel 4. Proses Enkripsi Data (Vigenere Cipher)

Plaintext	Plaintext (P_i)	Key	K_i	$(P_i + K_i) \pmod{n}$	C_i	Cipher
C	3	K	11	$(3+11) \pmod{26}$	14	N
O	15	E	5	$(15+5) \pmod{26}$	20	T
N	14	Y	25	$(14+25) \pmod{26}$	$39-26 = 13$	M
T	20	K	11	$(20+11) \pmod{26}$	$31-26 = 5$	E
O	15	E	5	$(15+5) \pmod{26}$	20	T
H	8	Y	25	$(8+25) \pmod{26}$	$33-26 = 7$	G

Tabel 4 menunjukkan proses vigenere dalam enkripsi teks, plainteksnya CONTOH sedangkan yang menjadi keynya KEY. Algoritma vigenere melihat index huruf C di plaintext pada alfabet kemudian index tersebut dicatat oleh algoritma dan algoritma melihat Kembali index huruf K di key, terakhir index di plaintext dan index di key dijumlahkan kemudian algoritma vigenere mencatat ciphertextnya.

Langkah 2 – Pelaksanaan Brute Force Attack.

Ciphertext hasil enkripsi diuji menggunakan metode brute force dengan mencoba seluruh kombinasi kunci dari alfabet (A–Z). Waktu eksekusi diukur mulai dari percobaan pertama hingga kunci yang benar ditemukan (Tuga et al., n.d.-a).

Langkah 3 – Pencatatan Data.

Setiap skenario dijalankan sebanyak lima kali untuk memperoleh nilai rata-rata waktu eksekusi \bar{T} , yang dihitung dengan rumus :

$$\bar{T} = \frac{\sum_{i=1}^n T_i}{n}, n = 5 \quad \text{(II)}$$

Langkah 4 – Analisis dan Validasi

Hasil empiris kemudian dibandingkan dengan model teoritis $O(|P| \cdot 26^L)$ untuk memvalidasi pola hubungan antara panjang kunci, panjang teks, dan waktu pemecahan (Budi Handoko, 2022b; Guglani, n.d.-b).

2.5 Desain Eksperimen

Bagian ini menjelaskan penerapan praktis desain penelitian dalam bentuk eksperimen terukur.

Desain eksperimen difokuskan pada implementasi empiris untuk mengamati dampak perubahan parameter pada kinerja algoritma.

Tahapan eksperimen ditunjukkan secara visual pada Gambar 1, yang menggambarkan aliran proses mulai dari plaintext hingga analisis hasil.

Gambar 1. Desain Eksperimen Brute Force Attack terhadap Vigenère Cipher. Menunjukkan alur eksperimen: plaintext → enkripsi Vigenère → ciphertext → brute force → analisis hasil berdasarkan waktu. Desain eksperimen ini berfungsi untuk:

Dengan demikian, desain eksperimen merupakan realisasi teknis dari desain penelitian, yang diterapkan melalui pemrograman Python untuk menghasilkan data empiris terukur.

2.6 Proses Enkripsi Algoritma Vigenere

Vigenere Cipher adalah metode enkripsi klasik yang menggunakan substitusi polyalphabetic dan dikembangkan dari Caesar Cipher. Inti dari Vigenere adalah penggunaan kata kunci yang diulang (repeating key) sepanjang plaintext.

Proses enkripsi Vigenere secara matematis didefinisikan sebagai penambahan nilai numerik plaintext (P_i) dengan nilai numerik kunci (K_i) pada posisi ke- i , dimodulo 26 memakai asumsi alfabet 26 huruf. Tabel 4 menunjukkan proses enkripsi huruf demi huruf antara plaintext "CONTOH" dan key "KEY".

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Bagian ini menyajikan analisis kuantitatif terhadap data empiris yang diperoleh dari empat skenario pengujian implementasi Brute Force Attack (BFA) terhadap Vigenere Cipher. Analisis difokuskan untuk memvalidasi hipotesis penelitian mengenai pengaruh variabel independen, yaitu Panjang Kunci (L) dan Panjang Teks (P), terhadap variabel dependen, yakni Waktu Pemecahan (T).

Penyajian Data Hasil Eksperimen.

Data mentah dari keempat skenario percobaan dikonsolidasi dan distandarisasi ke dalam satuan detik. Langkah ini dilakukan agar perbandingan waktu eksekusi antar skenario dapat dilakukan secara ekuivalen. Data hasil konsolidasi disajikan pada Tabel 4 dan divisualisasikan pada Gambar 2.

Tabel 5. Hasil Rata-rata Waktu Eksekusi Brute Force Attack pada Vigenere Cipher

No	L	P	T	Deskripsi Skenario
1	3	22	0.4469	Kunci Pendek – Teks Pendek
2	5	22	166.2	Kunci Panjang – Teks Pendek
3	3	420	9.2714	Kunci Pendek – Teks Panjang
4	5	420	3427.8	Kunci Panjang – Teks Panjang

Tabel 5 diatas merupakan hasil dari 4 skenario yang telah dilakukan, yaitu waktu rata-rata (T) terhadap Panjang Kunci (L) dan Panjang Teks (P).

Seperti ditunjukkan pada Gambar 2, waktu eksekusi terendah terjadi pada skenario pertama ($L=3$, $|P|=22$) yaitu sekitar 0.4 detik, sedangkan waktu tertinggi terjadi pada skenario keempat ($L=5$, $|P|=420$) yaitu sekitar 57.13 menit.

Skenario	Panjang Kunci (L)	Panjang Teks (P)	Total Keyspace (Teoritis, 26L)	Iterasi Aktual (Kunci Ditemukan)	Waktu Pemecahan (T) (detik)
Percobaan II	3 (teh)	22 karakter	17,576	12,956	0.4469
Percobaan I	5 (MALAM)	22 karakter	11,881,376	5,491,161	166.2 (2.77 menit)
Percobaan III	3 (teh)	420 karakter	17,576	12,956	9.2714
Percobaan IV	5 (MALAM)	420 karakter	11,881,376	5,491,163	3427.8 (57.13 menit)

Gambar 2. Rangkuman hasil empiris waktu eksekusi Brute Force Attack untuk empat skenario pengujian

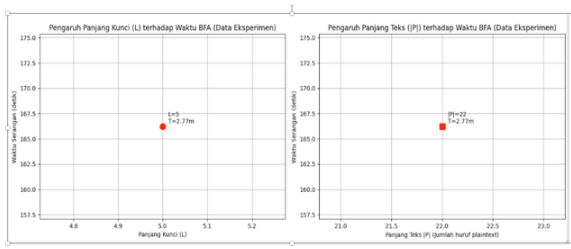
Gambar 2 diatas merupakan rangkuman hasil percobaan yang telah dilakukan. Skenario yang dilakukan terdiri dari empat skenario. Waktu paling cepat untuk algoritma brute force attack dalam menyerang algoritma vigenere yaitu selama 0.4 detik dengan panjang kunci 3 karakter dan panjang teks pada plaintext (pesan asli) 22 karakter dan waktu paling lama sebesar 57.13 menit dengan panjang kunci 5 dan panjang teks pada plaintext (pesan asli) 420 karakter.

Analisis Pengaruh Variabel Panjang Kunci (L).

Analisis ini bertujuan untuk menguji hipotesis bahwa L memiliki dampak eksponensial terhadap T. Untuk mengisolasi variabel L, digunakan metode komparasi ceteris paribus dengan menjaga variabel P tetap konstan.

Komparasi pada P Konstan ($P=22$ karakter).

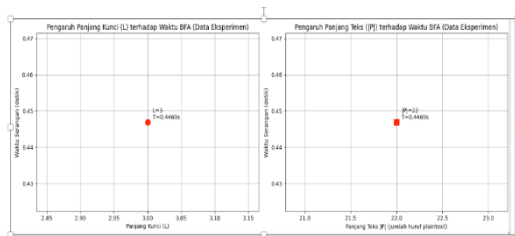
Perbandingan dilakukan antara Percobaan II ($L=3$, $P=22$) dan Percobaan I ($L=5$, $P=22$).



Gambar 3. Hasil Percobaan I

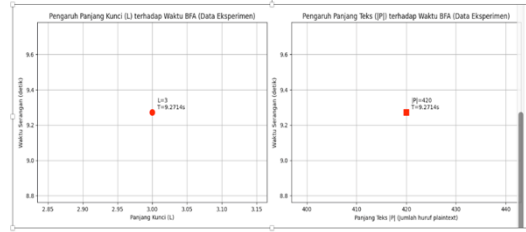
Pada L=3, T = 0.4469 detik.
 Pada L=5, T = 166.2 detik.
 Analisis Rasio Waktu: $\frac{166.2}{0.4469} = 371.9$ detik kali lipat.

Peningkatan L sebanyak 2 karakter (dari 3 menjadi 5) tidak menghasilkan peningkatan waktu yang aditif, melainkan peningkatan multiplikatif sebesar 371.9 kali lipat. Ini secara empiris mengindikasikan hubungan non-linear yang kuat. Secara teoritis, peningkatan keypace adalah $\frac{26^5}{26^3} = 26^2 = 676$ kali lipat. Observasi empiris (371.9x) yang berbeda dari rasio teoritis (676x) ini dapat dijelaskan oleh posisi penemuan kunci yang non-uniform dalam keypace. Pada Percobaan I (L=5), kunci ditemukan setelah 46.2% dari keypace dijelajahi, sedangkan pada Percobaan II (L=3), kunci ditemukan pada 73.7%. Meskipun demikian, ledakan waktu pemecahan ini secara jelas memvalidasi dampak eksponensial dari L.



Gambar 4. Hasil Percobaan 2

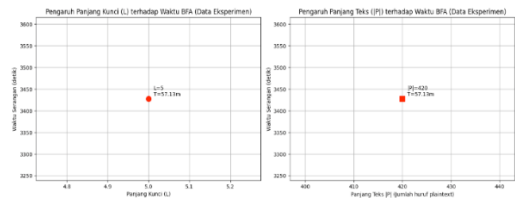
Komparasi pada P Konstan (P=420 karakter).
 Validasi lebih lanjut dilakukan dengan membandingkan Percobaan III (L=3, P=420) dan Percobaan IV (L=5, P=420).



Gambar 5. Hasil Percobaan 3

Pada L=3, T = 9.2714 detik.
 Pada L=5, T = 3427.8 detik.
 Analisis Rasio Waktu: $\frac{3427.8}{9.2714} = 369.7$ detik kali lipat.

Konsistensi yang ditemukan sangat tinggi. Rasio peningkatan waktu pada P=420 (369.7x) hampir identik dengan rasio pada P=22 (371.9x). Temuan ini mengonfirmasi bahwa L adalah faktor determinan yang dominan yang berkontribusi secara eksponensial terhadap kompleksitas serangan, dan dampak ini independen terhadap panjang teks yang diproses.



Gambar 6. Hasil Percobaan 4

Perbandingan dengan penelitian terdahulu: Hasil ini sejalan dengan temuan (Hassan, 2024b; Sebhutu, n.d.-b), yang menyatakan bahwa penambahan satu karakter kunci pada Vigenère Cipher meningkatkan kompleksitas eksponensial sebesar 26 kali lipat. Dengan demikian, hasil empiris penelitian ini memperkuat model teoritis $T \propto 26^L$ dan menunjukkan bahwa panjang kunci adalah determinan utama resistensi kriptografis.

Analisis Pengaruh Variabel Panjang Teks (P).

Analisis ini bertujuan untuk memvalidasi hipotesis bahwa P memiliki dampak linear terhadap T. Variabel L dijaga konstan untuk mengisolasi pengaruh P.

Komparasi pada L Konstan (L=5 karakter).

Perbandingan dilakukan antara Percobaan I (L=5, P=22) dan Percobaan IV (L=5, P=420).

$$\text{Rasio Peningkatan } P = \frac{420 \text{ karakter}}{22 \text{ karakter}} = 19.09 \text{ kali lipat.}$$

$$\text{Rasio Peningkatan } T = \frac{3427.8 \text{ detik}}{166.2 \text{ detik}} = 20.62 \text{ kali lipat.}$$

Kedekatan antara rasio peningkatan P (19.09x) dan rasio peningkatan T (20.62x) mengindikasikan korelasi linear yang kuat. Temuan ini diperkuat secara signifikan oleh data iterasi pada Gambar 2: jumlah iterasi aktual untuk menemukan kunci "MALAM" pada kedua percobaan adalah hampir identik (5,491,161 vs 5,491,163). Ini membuktikan bahwa jumlah total "tebakan" tidak berubah, dan peningkatan waktu pemecahan yang teramati murni disebabkan oleh peningkatan beban kerja komputasi per iterasi, yang proporsional secara linear dengan P.

Komparasi pada L Konstan (L=3 karakter).

Validasi dilakukan dengan membandingkan Percobaan II (L=3, P=22) dan Percobaan III (L=3, P=420).

$$\text{Rasio Peningkatan } P = \frac{420 \text{ karakter}}{22 \text{ karakter}} = 19.09 \text{ kali lipat.}$$

$$\text{Rasio Peningkatan } T = \frac{9.2714 \text{ detik}}{0.4469 \text{ detik}} = 20.75 \text{ kali lipat.}$$

Hasil ini sepenuhnya konsisten dengan komparasi pada L Konstan (L=5 karakter). Jumlah iterasi yang diperlukan (12,956) adalah identik untuk kedua percobaan. Peningkatan waktu pemecahan (20.75x) kembali terbukti proporsional dengan peningkatan panjang teks (19.09x). Ini mengonfirmasi bahwa P berkontribusi secara linear terhadap total waktu eksekusi.

Perbandingan dengan penelitian terdahulu:

Hasil ini sejalan dengan penelitian (Adhitya et al., 2024a; Tuga et al., n.d.-a), yang menyimpulkan bahwa waktu pemrosesan decryption meningkat sebanding dengan jumlah karakter plaintext. Panjang teks memengaruhi waktu secara linear, bukan eksponensial, karena jumlah tebakan kunci

tetap sama, hanya jumlah operasi per tebakan yang bertambah

Sintesis dan Validasi Model Kompleksitas.

Sintesis dari kedua analisis di atas memberikan validasi empiris yang kuat untuk model kompleksitas waktu teoritis Brute Force Attack (BFA) terhadap Vigenère Cipher, yakni $T \propto O(|P| \cdot 26^L)$.

Model ini dapat didekomposisi berdasarkan temuan dari :

Faktor $O(26^L)$ (Kompleksitas Eksponensial): Analisis Pengaruh Variabel Panjang Kunci (L) membuktikan bahwa Panjang Kunci (L) adalah determinan utama keamanan kriptografis. Peningkatan L memperluas keyspace secara eksponensial, yang secara langsung menyebabkan ledakan waktu pemecahan.

Faktor $O(|P|)$ (Kompleksitas Linear): Analisis Pengaruh Variabel Panjang Teks (P) membuktikan bahwa Panjang Teks (P) adalah determinan beban kerja komputasi. Peningkatan P tidak mengubah jumlah total tebakan, namun meningkatkan waktu pemrosesan untuk setiap tebakan secara linear.

Data eksperimen secara konklusif menunjukkan bahwa resistensi Vigenère Cipher terhadap BFA murni ditentukan secara eksponensial oleh panjang kunci, sementara panjang teks hanya memodulasi total waktu eksekusi secara linear yang menunjukkan asimetri fundamental antara waktu enkripsi (misalnya, 10-4 detik) dan waktu BFA (misalnya, 57.13 menit).

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil eksperimen dan analisis yang telah dilakukan, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Panjang kunci (L) terbukti memiliki pengaruh eksponensial terhadap waktu pemecahan Brute Force Attack (BFA). Peningkatan panjang kunci dari L=3 menjadi L=5 menghasilkan kenaikan waktu eksekusi sekitar 370 kali lipat, yang secara empiris mendukung model teoritis kompleksitas $O(26^L)$.
2. Panjang teks (|P|) berpengaruh secara linear terhadap waktu eksekusi. Peningkatan

panjang teks dari 22 menjadi 420 karakter meningkatkan waktu pemecahan sekitar 20 kali lipat, sejalan dengan model kompleksitas $O(|P|)$.

3. Hasil empiris secara konsisten memvalidasi model kompleksitas waktu teoritis $T \propto O(|P| \cdot 26^L)$, sehingga dapat disimpulkan bahwa resistensi kriptografis Vigenère Cipher terhadap serangan brute force terutama ditentukan oleh panjang kunci (L), sedangkan panjang teks ($|P|$) hanya berperan sebagai faktor linear terhadap beban komputasi.

Penelitian lanjutan disarankan untuk mengeksplorasi penerapan metode Brute Force Attack pada algoritma cipher klasik lainnya seperti Hill Cipher atau Playfair Cipher, serta melakukan pengujian dengan panjang kunci yang lebih besar atau integrasi dengan teknik optimasi komputasi modern guna memodelkan batas performa serangan secara lebih luas.

5. REFERENSI

- [1] Adhitya, P., Kusumah, D., Kusri, K., & Kusnawi, K. (2024a). Optimizing Data Security: A Literature Review on the Implementation of Beaufort Cipher for Vigenère Affine Cipher. In *International Journal of Innovative Science and Research Technology* (Vol. 9, Issue 2). www.ijisrt.com
- [2] ALABADY, S. A., SHAWKAT, T. F., & ADREES, A. W. (2025). ENHANCED VIGENERE CIPHER ALGORITHM FOR IMPROVED CRYPTOGRAPHIC SECURITY. *Quantum Journal of Engineering, Science and Technology*, 6(1), 1–12. <https://doi.org/10.55197/qjoest.v6i1.194>
- [3] Budi Handoko, L. (2022a). *SEKURITI TEKS MENGGUNAKAN VIGENERE CIPHER DAN HILL CIPHER* (Vol. 19, Issue 1).
- [4] Chemlal, A., Tabti, H., El Bourakkadi, H., Abid, A., Jarjar, A., & Benazzi, A. (2025). A new cryptosystem based on an enhanced Vigenere cipher incorporating large SBoxes. *E3S Web of Conferences*, 601. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202560100002>
- [5] Gomez, A. N., Huang, S., Zhang, I., Li, B. M., Osama, M., & Kaiser, L. (2018). *Unsupervised Cipher Cracking Using Discrete GANs*. <http://arxiv.org/abs/1801.04883>
- [6] Goud, Sn., Kumar, Mp., & Prasanth Reddy, Gv. (n.d.). *Design of Hybrid Cryptography System based on Vigenere Cipher and Polybius Cipher*.
- [7] Guglani, R. (n.d.-a). *An Improved Permutation-Driven Vigenère Cipher with an Extended Secret Key for Enhanced Security*. <https://doi.org/10.5281/zenodo.16353324>
- [8] Hadi, F., Slimani, Y., Douar, A., Alti, A., Saoud, F., & Harkati, M. (2024). Improved Vigenere Cipher-RSA-Based Medical Image Security Through Multiple Encryption Keys. *Ingenierie Des Systemes d'Information*, 29(2), 599–608. <https://doi.org/10.18280/isi.290221>
- [9] Hassan, A. (2024a). ANALYSIS AND MODIFICATION OF VIGENERE CIPHER. *Article in Journal of Mathematical Sciences & Computational Mathematics*. <https://doi.org/10.15864/jmscm.5410>
- [10] Purwanti, Nurcahya, S. D., & Nazelliana, D. (2024). Message Security in Classical Cryptography Using the Vigenere Cipher Method. *International Journal Software Engineering and Computer Science (IJSECS)*, 4(1), 350–357. <https://doi.org/10.35870/ijsecs.v4i1.2263>
- [11] Sebhatu, N. (n.d.-b). *ENHANCING THE SECURITY OF VIGENERE VIGENERE VIGENERE CIPHER USING PADDING A pattern analysis approach*.
- [12] Sopiandi, I., & Jabbar, A. (n.d.). *STUDI KOMPARASI ALGORITMA KEAMANAN DATA MENGGUNAKAN KRIPTOGRAFI VIGENERE CHIPER DAN RIVEST SHAMIR ADLEMAN (RSA)*.
- [14] Tuga, V. F., Vincent, L., & Cubero, P. (n.d.-a). *Simulating Brute Force Attacks on Vigenère and AES Ciphers in Python: Measuring Key Size Impact on Security*. www.ijfmr.com
- [15] Vatshayan, S., Haidri, R. A., & Verma, J. K. (2020). Design of Hybrid Cryptography System based on Vigenère Cipher and Polybius Cipher. *2020 International Conference on Computational Performance Evaluation, ComPE 2020*, 848–852. <https://doi.org/10.1109/ComPE49325.2020.9199997>

KONSERVASI HUTAN LANSKAP KARST MELALUI PEMETAAN DAN IDENTIFIKASI BENTANG ALAM KARST DI DESA BAUMATA

Aisyah Ahmad¹, Noni Banunaek²

^{1,2}Teknik Pertambangan, Fakultas Sains dan Teknik, Universitas Nusa Cendana
Kupang, Email aisyah.ahmad@staf.undana.ac.id

ABSTRACT

The Baumata Groundwater Basin, located in Baumata Village, Taebenu District, Kupang Regency, represents a well-developed karst landscape developed on uplifted limestone. This area is characterized by springs with a total discharge exceeding 150 L/s, and groundwater flow and basin capacity are strongly controlled by the morphology of the limestone lower boundary, limestone thickness, and the distribution of fractures, cavities, and caves. Understanding these hydrogeological and geomorphological characteristics is essential for sustainable water resource management and karst landscape conservation. This study aims to map land cover, analyze karst morphology, and investigate subsurface structures to understand groundwater flow patterns and the interrelation between surface features and underground conduits. The research integrates field surveys, aerial drone mapping, and subsurface investigation using 2D Wenner and VES geoelectric methods. The results indicate that the study area contains 58.68 ha of dense vegetation, including 36.21 ha within the Baumata Conservation/Nature Tourism Park Forest, with 4.23 ha of shrubland. Subsurface interpretations reveal that groundwater flows through cavities, fractures, and cave networks toward the Baumata spring cave, the main discharge point of the system. These findings provide critical insights for conserving the Baumata Tourism Park Forest, protecting the upstream catchment of Baumata Spring, and supporting the development of sustainable geotourism. The study highlights the importance of integrated surface and subsurface mapping in guiding effective karst landscape management and water resource conservation.

Keywords: karst, fracture; cavity; cave; groundwater.

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 22-10-2025

Tanggal revisi : 28-11-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI : <https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16601>

1. PENDAHULUAN

Cekungan Air Tanah Baumata di Desa Baumata, Kecamatan Taebenu, Kabupaten Kupang, merupakan salah satu lanskap karst penting yang berkembang pada batugamping terangkat dan memiliki sistem aliran air tanah yang kompleks. Aliran air tanah bergerak melalui pori-pori, rekahan, rongga, serta jaringan gua bawah permukaan, dan muncul sebagai mata air berdebit tinggi (Ford & Williams, 2007). Kondisi hidrogeologi yang sensitif ini menjadikan kawasan Baumata berperan strategis sebagai akuifer produktif sekaligus kawasan yang rentan terhadap perubahan penggunaan lahan dan gangguan ekosistem (Haryono & Adji, 2004). Faktor

pengontrol utama sistem ini meliputi morfologi batas bawah batugamping, ketebalan batugamping, serta pola rekahan, rongga, dan gua (Aqater, 1993). Oleh karena itu, pemetaan jalur rekahan dan rongga bawah permukaan menjadi kunci dalam memahami dinamika aliran air tanah dan dasar pengelolaan kawasan karst secara berkelanjutan.

Meskipun beberapa penelitian sebelumnya telah menyinggung potensi hidrologi dan struktur geologi kawasan Kupang, informasi yang tersedia masih parsial. Kajian terdahulu umumnya terfokus pada karakter umum sesar regional seperti Sesar Kupang dan Sesar Kupang–Camplong (Tjokrosapoetro, 1978; Rosidi et al., 1979) atau inventarisasi mata air (Banunaek, 2005), namun

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



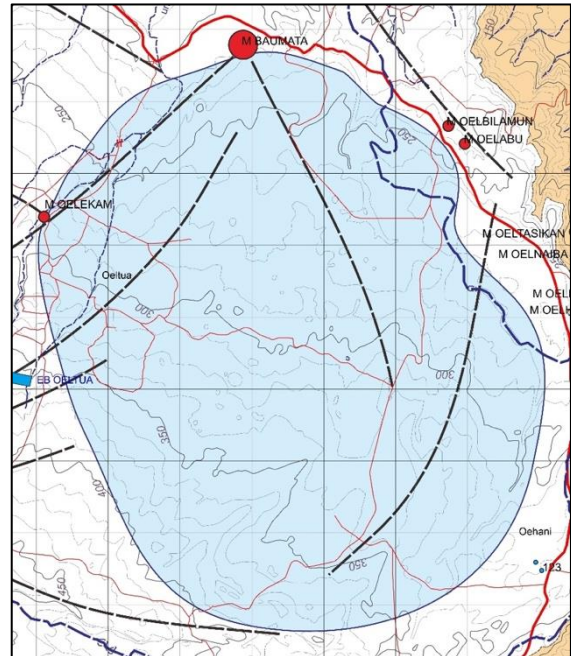
belum mengintegrasikan analisis permukaan dan bawah permukaan secara komprehensif pada skala cekungan Baumata. Belum adanya pemetaan morfologi karst detail, jalur rekahan aktif, dan konektivitas rongga-gua menyebabkan pola aliran air tanah serta zona konservasi prioritas belum dapat ditentukan secara ilmiah.

Kekosongan pengetahuan tersebut penting untuk segera diatasi karena kawasan Baumata merupakan suplai utama air baku bagi masyarakat Kupang, sekaligus berada dalam kawasan hutan konservasi dan Taman Wisata Alam. Lanskap karst dengan dolina, polje, bukit kegelkarst dan trunkarst, serta beragam tipe gua (Myroie & Carew, 1995; Haryono, 2004) membutuhkan perlindungan berbasis pemahaman geomorfologi-hidrogeologi. Selain itu, regulasi nasional menegaskan bahwa hutan karst dalam KSA/KPA berfungsi dalam pelestarian air tanah dan keanekaragaman hayati (UU 41/1999; UU 5/1990), sehingga kajian ilmiah yang mendukung perencanaan konservasi menjadi sangat mendesak.

Berdasarkan rumusan masalah tersebut, penelitian ini dilakukan untuk menjawab: (1) bagaimana karakteristik morfologi karst serta pola rekahan, rongga, dan gua di wilayah Baumata; (2) bagaimana pola aliran air tanah dan hubungan antara struktur bawah permukaan dengan distribusi mata air; dan (3) bagaimana potensi hutan konservasi dan geowisata dapat dioptimalkan berdasarkan temuan geomorfologi dan hidrogeologi. Oleh karena itu, tujuan penelitian ini adalah: (1) memetakan bentuklahan karst serta jaringan rekahan-rongga-gua secara terintegrasi; (2) menganalisis pola aliran air tanah pada cekungan Baumata; (3) menilai kondisi hutan konservasi dan potensi pengembangan geowisata; serta (4) merumuskan rekomendasi konservasi lanskap karst Baumata yang berbasis data ilmiah.

Untuk mencapai tujuan tersebut, penelitian mengombinasikan survei lapangan, pemetaan udara menggunakan drone, serta investigasi bawah permukaan melalui metode geolistrik Wenner 2D dan VES (Loke, 2000). Sintesis dari data permukaan dan bawah permukaan digunakan untuk menafsirkan hubungan antara morfologi karst, struktur geologi, dan aliran air tanah (Yevjevich, 1976; Banunaek, 2005), sehingga

dihasilkan pemahaman menyeluruh yang diperlukan untuk strategi pengelolaan dan konservasi kawasan karst Baumata. CAT Baumata disajikan pada Gambar 1.



Gambar 1. CAT Baumata

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan terintegrasi melalui survei lapangan, pemetaan permukaan berbasis drone, dan investigasi bawah permukaan menggunakan metode geolistrik. Ketiga sumber data disintesis untuk menghasilkan pemahaman menyeluruh tentang bentang alam karst, struktur bawah permukaan, dan pola aliran air tanah di Cekungan Baumata.

Survei Lapangan

Survei lapangan dilakukan untuk memperoleh data geomorfologi, litologi, struktur geologi, dan penutup lahan. Kegiatan utama meliputi:

- identifikasi bentuk lahan karst (dolina, lembah karst, bukit karst, mulut gua);
- pemetaan rekahan dan struktur geologi (orientasi kekar, zona sesar, arah lembah);
- dokumentasi visual dan pencatatan kondisi karstifikasi aktif;
- verifikasi (ground-truthing) terhadap interpretasi citra drone dan geolistrik.

Pemetaan Melalui Citra Udara

Pemetaan drone dilakukan untuk memperoleh representasi spasial detail bentang alam karst dan penutup lahan.

Parameter akuisisi drone

- Platform: quadcopter beresolusi tinggi
- Ketinggian terbang: 80–120 m
- GSD (Ground Sampling Distance): 3–5 cm/pixel
- Mode: overlap 80% frontal, 70% lateral
Produk pemetaan
- Ortofoto resolusi tinggi untuk interpretasi morfologi karst dan penutup lahan
- DSM (Digital Surface Model)
- DEM (Digital Elevation Model) hasil filtering vegetasi

Interpretasi

Data drone digunakan untuk menafsirkan:

- pola bukit–lembah karst, depresi tertutup, dan kelurusan struktur (lineament);
- kemungkinan lokasi rongga atau mulut gua;
- hubungan antara tutupan vegetasi dan intensitas karstifikasi.

Klasifikasi penutup lahan meliputi vegetasi rapat, semak, permukiman, lahan terbuka, dan jaringan jalan.

Investigasi Bawah Permukaan Menggunakan Metode Geolistrik

Metode geolistrik digunakan untuk memetakan ketebalan batugamping, batas bawah batugamping, serta keberadaan rekahan, rongga, dan gua bawah permukaan.

a. Vertical Electrical Sounding (VES)

Metode VES Schlumberger digunakan untuk menentukan ketebalan lapisan batugamping pada titik tertentu. Pengukuran dilakukan pada 4 lokasi yang dianggap mewakili variasi geomorfologi di area penelitian.

Data VES menghasilkan: ketebalan batuan, nilai resistivitas sebagai indikasi litologi dan kondisi kejenuhan air.

b. Geolistrik 2D Metode Wenner

Metode Wenner 2D digunakan untuk memetakan kondisi litologi secara lateral di sepanjang lintasan. Empat lintasan diukur untuk:

- menentukan ketebalan batugamping secara lateral,
- mengidentifikasi rongga, gua, dan rekahan bawah permukaan,
- menafsirkan morfologi batas bawah batugamping yang berperan sebagai kontrol aliran air tanah,
- mengetahui hubungan antara struktur bawah permukaan dan lokasi munculnya mata air.
 - Interpretasi geolistrik divalidasi melalui observasi lapangan dan data drone.

Sintesis Data

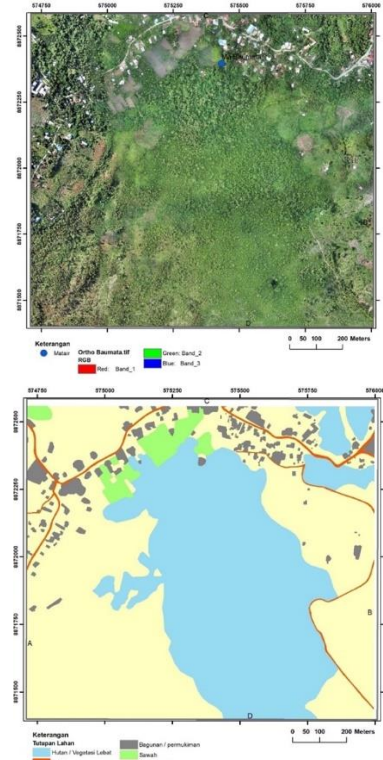
Data lapangan, drone, dan geolistrik digabungkan untuk:

- mendelineasi morfologi karst dan struktur bawah permukaan,
- menentukan jalur aliran air tanah menuju Mata Air Baumata,
- mengevaluasi hubungan tutupan hutan dengan intensitas karstifikasi,
- mendukung rekomendasi konservasi dan geowisata.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kondisi Bentang Alam Karst dan Penutup Lahan

Pemetaan drone menghasilkan ortofoto dan Digital Surface Model (DSM) yang digunakan untuk interpretasi penutup lahan dan bentuk lahan karst (Gambar 2). Berdasarkan klasifikasi penutup lahan, kategori utama mencakup hutan, semak belukar, permukiman, sawah/ladang, serta jaringan jalan. Analisis menunjukkan bahwa vegetasi rapat (kategori hutan) mencapai 58,68 ha, dengan sebagian besar berada pada kawasan bertopografi kasar dan menunjukkan aktivitas karstifikasi tinggi.



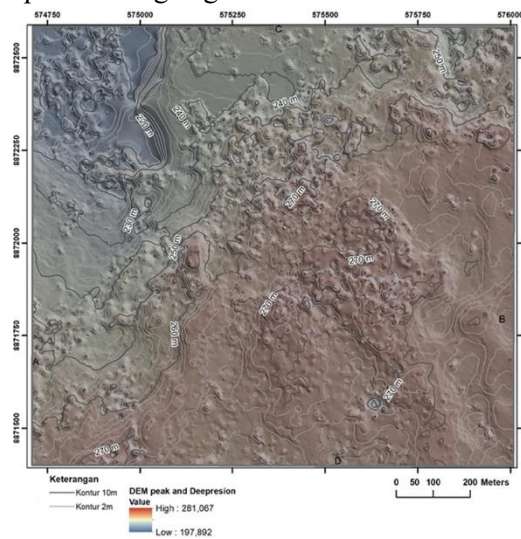
Gambar 2. Hasil ortofoto dan tutupan lahan.

Interpretasi Bentang Alam Karst Berdasarkan DEM

DEM hasil pemrosesan DSM dan filtrasi vegetasi menghasilkan kontur dengan interval 2 meter (Gambar 3). Analisis DEM menunjukkan:

- bukit karst dengan kemiringan sedang–terjal,
- lembah memanjang yang mengikuti zona rekahan,
- pola morfologi khas karst terlarut intensif.

Pola bukit–lembah ini memberikan indikasi struktur batuan yang mengontrol aliran air tanah dan perkembangan gua.



Gambar 3. DEM daerah penelitian dengan kontur interval 2m

Analisis Lineament dan Keterkaitannya dengan Morfologi Karst

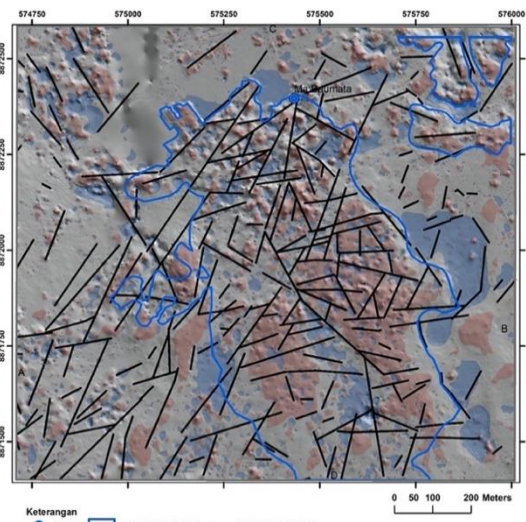
Lineament diinterpretasi dari ortofoto, DEM, dan klasifikasi vegetasi, kemudian diverifikasi melalui observasi lapangan (Gambar 4). Lineament ini ditafsirkan sebagai rekahan atau sesar yang mengontrol perkembangan karst.

Sebanyak 84 lineament teridentifikasi di wilayah penelitian. Analisis orientasi dilakukan menggunakan metode rose diagram dan perhitungan frekuensi azimuth (interval 10°).

Hasil analisis kuantitatif menunjukkan:

Orientasi Dominan	Frekuensi (%)	Interpretasi Geologi
NE–SW (40°–60°)	38%	Rekahan utama, mengontrol lembah karst & lorong gua
NW–SE (290°–320°)	31%	Rekahan sekunder, berhubungan

Orientasi Dominan	Frekuensi (%)	Interpretasi Geologi
E–W (80°–100°)	18%	dengan sesar regional Kontrol lokal pada depresi tertutup
N–S (0°–20°)	13%	Kombinasi kekar minor



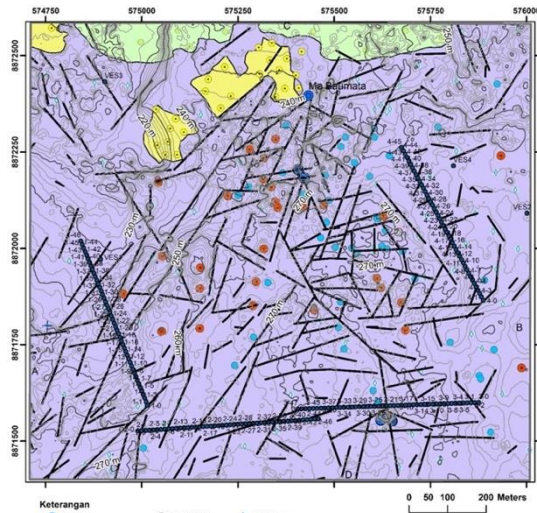
Gambar 4. Interpretasi garis-garis yang ditampilkan pada bentang alam karst dan daerah vegetasi rapat di daerah penelitian.

Interpretasi:

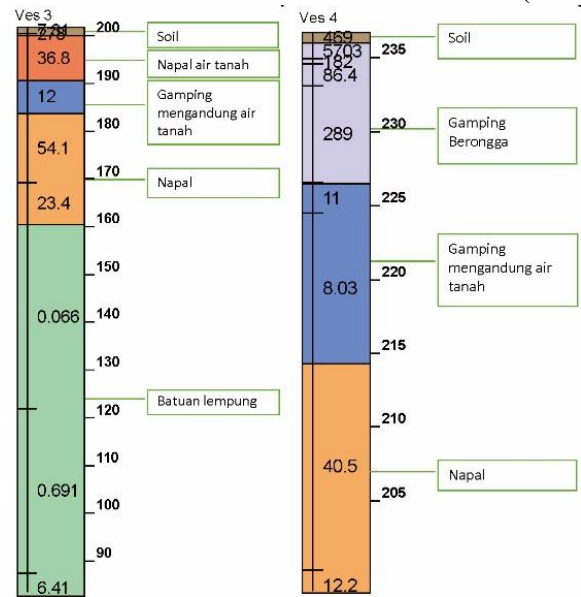
Kombinasi dua sistem rekahan utama NE–SW dan NW–SE menciptakan pola silang (conjugate), yang berperan sebagai jalur dominan aliran air tanah serta lokasi berkembangnya gua dan mulut gua. Sebagian besar vegetasi rapat ditemukan mengikuti zona rekahan–lembah tersebut, menunjukkan karstifikasi aktif pada area dengan struktur intensif.

Pemetaan Sebaran Batuan dan Validasi Lapangan

Selain pemetaan drone, dilakukan pemetaan geologi permukaan untuk mengidentifikasi sebaran litologi, rekahan, bukaan gua, serta karakteristik geomorfologi karst. Hasil pengamatan lapangan dipadukan dengan interpretasi citra memberikan peta sebaran batuan, lokasi lineament, dan area vegetasi rapat (Gambar 5).



Gambar 5. Peta sebaran batuan, kelurusan dan letak kelurusan serta area yang banyak ditumbuhi vegetasi di daerah penelitian.

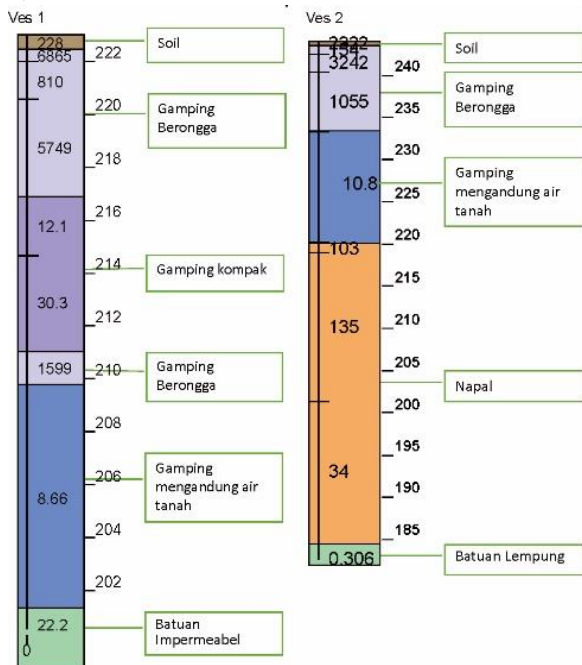


Gambar 6. Hasil interpretasi Geolistrik VES di daerah penelitian.

Investigasi Bawah Permukaan Menggunakan Geolistrik (VES dan 2D Wenner)

a. Vertical Electrical Sounding (VES)

VES dilakukan pada 4 lokasi untuk mengetahui ketebalan batugamping pada titik tertentu (Gambar 6).



Ringkasan hasil VES (Tambahkan sesuai revisi)

Titik VES	Ketebalan Batugamping (m)	Resistivitas Lapisan (Ωm)	Interpretasi
VES 1	± 22 m	240–460 Ωm	Batugamping kompak; bagian barat
VES 2	± 20 m	180–410 Ωm	Batugamping lapuk–kompak; timur
VES 3	± 17 m	160–350 Ωm	Ketebalan minimum; zona rekahan
VES 4	± 20 m	190–430 Ωm	Batugamping kompak; timur laut

Interpretasi umum:

Batugamping memiliki ketebalan 17–22 m, dengan nilai resistivitas yang konsisten dengan litologi karbonat yang sebagian telah mengalami pelarutan.

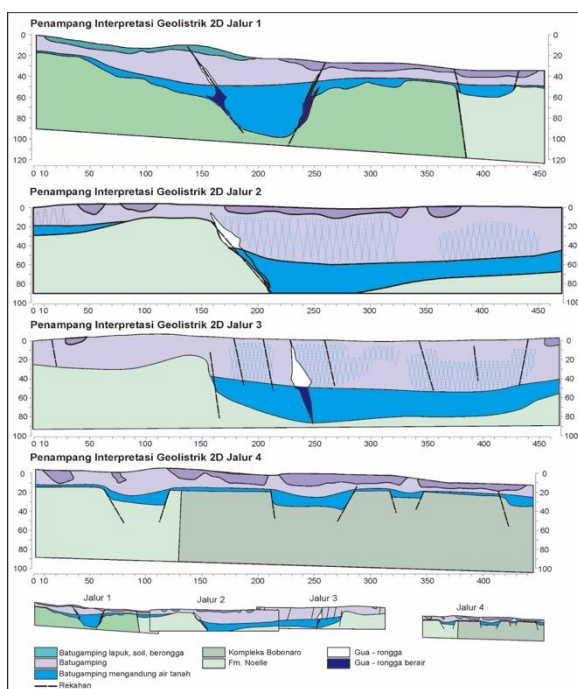
b. Geolistrik 2D Metode Wenner

Pengukuran 2D dilakukan pada empat lintasan (Gambar 7). Hasil menunjukkan:

- ketebalan batugamping bervariasi 15–90 m,

- zona resistivitas rendah diinterpretasikan sebagai rongga berisi air, kanal karst, atau gua,
- zona resistivitas tinggi menunjukkan batugamping kompak,
- bentuk batas bawah batugamping menunjukkan pola tidak seragam sesuai struktur geologi.

Interpretasi ini memperkuat temuan permukaan bahwa kawasan ini memiliki tingkat pelarutan tinggi dan jalur conduit bawah tanah yang berkembang baik.



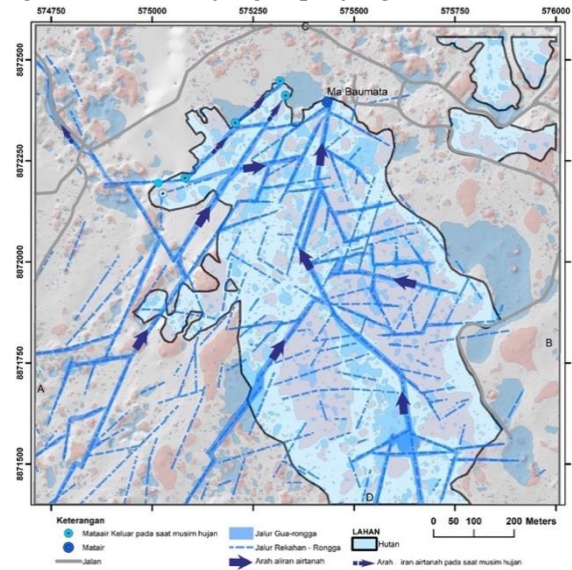
Gambar 7. Hasil Interpretasi Geolistrik 2D Daerah Penelitian

Interpretasi Aliran Air Tanah

Berdasarkan morfologi batas bawah batugamping, arah rongga dan kanal bawah permukaan, dan lokasi gua dan patahan, dapat dipetakan arah aliran air tanah yang mengalir menuju Gua Mata Air Baumata (Gambar 8).

Mata air ini memiliki debit >100 L/detik dan berperan sangat penting bagi masyarakat sekitar. Air ini dimanfaatkan untuk irigasi pertanian, sumber air baku PDAM Kabupaten Kupang (60–75 L/detik), melayani ± 70.000 penduduk, kolam renang wisata Baumata yang dikelola oleh Dinas Pariwisata Kabupaten Kupang. Oleh karena itu,

keberlanjutan kawasan hulu menjadi faktor kritis bagi ketahanan air jangka panjang.

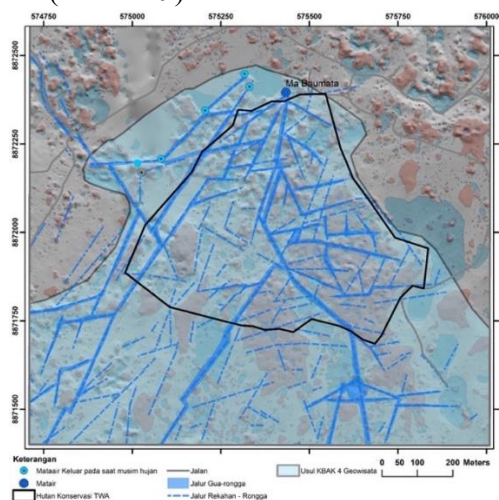


Gambar 8. Arah aliran air tanah melalui rongga dan gua pada batu kapur di daerah penelitian.

Implikasi Konservasi dan Penetapan Kawasan Karst

Total vegetasi rapat mencapai 58,68 ha, dengan 36,21 ha berada dalam kawasan resmi Taman Wisata Alam Baumata (SK 357/2016). Data geolistrik dan analisis lineament menunjukkan bahwa area ini merupakan zona karst aktif, sehingga rentan terhadap gangguan dan pencemaran.

Oleh karena itu, kawasan ini direkomendasikan untuk ditetapkan sebagai KBAK Level 4, yaitu zona lindung dimana aktivitas hanya diperbolehkan untuk konservasi dan geowisata berbasis edukasi (Gambar 9).



Gambar 9. Kawasan yang diusulkan menjadi Kawasan Bentang Alam Karst Level 4 (KBAK) untuk konservasi dan hanya digunakan sebagai lokasi geowisata.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa lanskap karst Baumata mengalami karstifikasi intensif yang ditandai oleh bukit dan lembah karst, rekahan, gua, serta rongga bawah permukaan yang berasosiasi dengan tutupan vegetasi rapat seluas 58,68 ha, termasuk 36,21 ha kawasan hutan konservasi, dimana vegetasi rapat berperan penting dalam menjaga keseimbangan hidrologi dan mengurangi erosi. Analisis citra drone dan survei lapangan mengidentifikasi lineament dominan (NE–SW dan NW–SE) yang mengontrol orientasi bukit, lembah, serta lokasi gua dan rongga, berfungsi sebagai jalur utama aliran air tanah. Investigasi geolistrik (VES dan 2D Wenner) menunjukkan ketebalan batugamping 15–90 m, mengungkap keberadaan rongga dan kanal bawah permukaan yang mengalirkan air menuju Gua Mata Air Baumata dengan debit >100 L/detik, dimanfaatkan untuk irigasi serta menyediakan 60–75 L/detik bagi PDAM, melayani ±70.000 penduduk. Berdasarkan fungsi hidrologi, nilai ekologis, dan kerentanannya, kawasan ini direkomendasikan untuk ditetapkan sebagai Kawasan Bentang Alam Karst (KBAK) Level 4 dengan pemanfaatan terbatas pada konservasi dan geowisata berkelanjutan, disertai kebijakan pendukung berupa perlindungan zona hulu mata air, pedoman pengelolaan geowisata yang ramah lingkungan, monitoring kualitas air dan stabilitas geomorfologi, serta penelitian lanjutan ke arah selatan untuk memetakan kelanjutan sistem karst.

5. REFERENSI

- [1] Aquater, *Groundwater Investigation Development and Management for Rural and Urban Supply Project in Western Timor*, Final Report, April 1993, 187 p.
- [2] Banunaek, N. (2005). *Potensi dan Dampak Pemanfaatan Air Tanah Terhadap Masyarakat Kota Kupang*. Seminar Pengembangan dan Pemberdayaan Konsumen Jasa Konstruksi, YPKJI, Kupang.
- [3] Ford, D. & Williams, P. (2007). *Karst Hydrogeology and Geomorphology*. Sussex: John Wiley & Sons.
- [4] Haryono, E. & Adji, T. N. (2004). *Bahan Ajar Geomorfologi dan Hidrologi Karst*. Yogyakarta: Universitas Gadjah Mada.
- [5] Keputusan Direktur Jenderal Perlindungan Hutan dan Konservasi Alam Nomor SK.76/IV-KKBHL/2015 tentang Penetapan Taman Buru di Indonesia.
- [6] Loke, M. H. (2000). *Electrical Imaging Surveys for Environmental and Engineering Studies: A Practical Guide to 2D & 3D Electrical Imaging Surveys*. Technical Report.
- [7] Mylroie, J. E. & Carew, J. L. (1995). "Karst Development on Carbonate Islands." *AAPG Memoir 63: Unconformities and Porosity in Carbonate Strata*, pp. 21.
- [8] Rosidi, H. M. D., Tjokrosapoetro, S., & Gafoer, S. (1979). *Peta Geologi Bersistem Pulau Timor, Lembar Kupang*, Skala 1:250.000. Bandung: Pusat Penelitian dan Pengembangan Geologi.
- [9] Tjokrosapoetro, S. (1978). "Holocene Tectonics on Timor Island, Indonesia." *Bulletin Geology Survey of Indonesia*, No. 4, pp. 49–63.
- [10] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 5 Tahun 1990 tentang Konservasi Sumber Daya Alam Hayati dan Ekosistemnya.
- [11] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 41 Tahun 1999 tentang Kehutanan.
- [12] Yevjevich, V. (1976). "Advanced Approaches to Karst Hydrology and Water Resources Systems." In: *Karst Hydrology and Water Resources*, Water Resources Publications, Colorado, USA, pp. 209–221.

PENERAPAN SISTEM HYBRID FREEZER PALKA PANEL SURYA DAN MESIN UNTUK MENUNJANG PRODUKTIVITAS NELAYAN

Ainur Rofiq¹, Muhammad Yusuf², Jusef Saiful³, M. Saifur Rizal⁴, Akbar Dwi Prasetyo⁵, Oky Widiyanto⁶, Eyricha Dinda Putri Annisa Hakim⁷, Yuninda Dwi Dewanti Sukma⁸, Ananta Kusuma Yoga Pratama⁹

^{1,2,3,4,5,6,7}Program Studi Teknik Industri, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

⁸Program Studi Hukum, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

⁹Program Studi Teknik Sipil, Universitas 17 Agustus 1945 Banyuwangi

Email: ainur-rf@untag-banyuwangi.ac.id

ABSTRACT

Traditional fishermen in coastal communities often rely on ice blocks to preserve their catch, a method that is costly, inefficient, and unable to maintain stable temperatures during long fishing trips. This study presents the development and implementation of a hybrid freezer palka system that integrates solar panels and engine-driven alternator power to provide a continuous and energy-efficient cooling source for small fishing vessels. The research aimed to design a reliable cooling system capable of maintaining low temperatures during extended operations at sea while reducing operational costs for fishermen. The methodology involved system design, component integration, and field testing with partner fishermen in Kampung Mandar, Banyuwangi. The hybrid system consists of a 100 Wp solar panel, MPPT charge controller, 65 Ah battery, alternator, inverter, and a 125-Watt freezer installed inside an insulated palka box. Field testing was conducted over 21 consecutive days to evaluate temperature stability, operating duration, and energy performance. Results show that the system successfully reached temperatures between -2°C and 5°C within approximately 80 minutes and maintained stable cooling for more than 8 hours per trip using combined solar and engine power. The hybrid configuration significantly reduced dependence on ice blocks, decreased operational costs, and improved fish quality upon landing. The findings indicate that this hybrid freezer palka system is an effective, sustainable, and practical technological solution to support fishermen's productivity, especially in small-scale traditional fisheries.

Keywords: hybrid freezer palka, solar energy, alternator system, fishing productivity, cold storage innovation

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 27-11-2025

Tanggal revisi : 04-12-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16661>

1. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi energi terbarukan telah membuka peluang besar untuk penerapan dalam sektor perikanan, terutama untuk mendukung kegiatan nelayan dalam memelihara kualitas hasil tangkapan. Misalnya, penelitian oleh Ma'arif et al. menunjukkan bahwa sistem propulsi hibrida dan elektrik pada kapal tangkap

mulai banyak dikembangkan sebagai upaya meningkatkan efisiensi dan keberlanjutan operasional kapal [1]. Selain itu, studi literatur yang dipublikasikan oleh WIPO menegaskan bahwa energi surya dan sistem hybrid menjadi salah satu solusi strategis dalam mendukung transisi energi pada sektor perikanan dan akuakultur terutama di kawasan pesisir dan

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



pulau terpencil [2]. Dengan latar tersebut, penerapan sistem freezer palka berbasis panel surya dan mesin dapat menjadi inovasi penting untuk meningkatkan produktivitas nelayan melalui pengawetan hasil tangkapan.

Dalam praktik nelayan, salah satu kendala utama adalah kualitas penanganan pasca tangkap yang belum optimal, di mana penyimpanan hasil tangkapan sebelum dipasarkan masih menggunakan metode konvensional yang rentan terhadap pembusukan. Misalnya, penelitian oleh Wantira et al. menunjukkan bahwa penerapan *cold storage* berbasis PV *off-grid* dapat mengurangi kerugian pasca tangkap dan memperpanjang umur simpan ikan segar [3]. Studi lain oleh Suhengki et al. menekankan bahwa sistem pendingin kapal yang menggunakan refrigeran modern seperti R32 dan didukung panel surya menunjukkan performa yang menjanjikan dalam menjaga suhu dan kualitas ikan [4]. Oleh karena itu, sistem *hybrid freezer* palka yang bekerja secara optimal di atas kapal atau di dermaga dapat menjadi solusi bagi nelayan untuk meningkatkan nilai ekonomis hasil tangkapan.

Penggunaan panel surya sebagai sumber energi utama atau pendukung telah terbukti efektif dalam aplikasi kapal dan penyimpanan dingin. Sebagai contoh, penelitian oleh Utama menunjukkan bahwa sistem PV pada kapal 30 GT mampu menghemat konsumsi bahan bakar hingga 1 l liter per hari [5]. Demikian pula, studi oleh Rachman et al. mendemonstrasikan desain *solar-powered cooling engine* untuk kapal ≤ 5 GT yang mampu mendinginkan air laut hingga 4 °C dalam waktu 2,5 jam [6]. Hal ini menunjukkan potensi besar panel surya dalam aplikasi kelautan dan sistem pendingin untuk mendukung produktivitas nelayan.

Namun demikian, terdapat tantangan teknis dan operasional dalam penerapan sistem *hybrid freezer* palka untuk nelayan. Pertama, integrasi antara panel surya, mesin (diesel atau motor listrik), dan sistem pendingin harus dirancang agar handal dalam kondisi laut—seperti kecepatan gelombang, cuaca buruk, serta fluktuasi beban yang mempengaruhi performa sistem. Studi oleh Ma'arif et al. menekankan bahwa meskipun teknologi *hybrid* semakin maju, data empiris operasional lapangan masih terbatas dan memerlukan pengujian lebih lanjut [1]. Kedua, penggunaan sistem pendingin di kapal atau dermaga harus mempertimbangkan refrigeran yang ramah lingkungan, efisiensi energi, dan biaya investasi. Penelitian oleh Suhengki et al. memberikan gambaran rinci mengenai performa *cold storage* berbasis R32

yang lebih efisien dan ramah lingkungan [4]. Oleh karena itu, dalam konteks aplikasi nelayan, optimalisasi teknis dan ekonomi perlu menjadi bagian penting dari perancangan sistem.

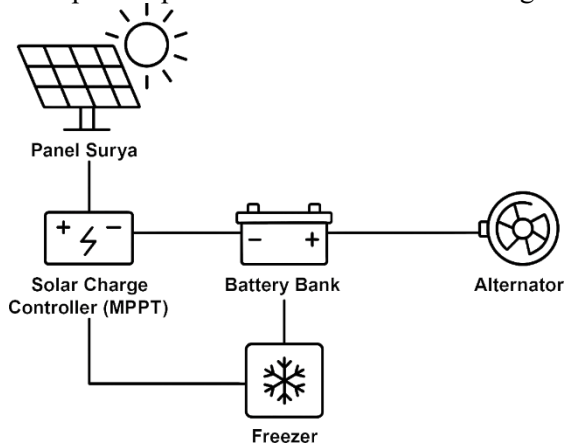
Dari sisi produktivitas nelayan, penerapan sistem *freezer* palka berbasis *hybrid* (panel surya + mesin) dapat membawa beberapa keuntungan signifikan. Pertama, memperpanjang umur simpan hasil tangkapan di atas kapal atau di dermaga, sehingga memungkinkan nelayan menjual ke pasar yang lebih jauh dengan harga lebih baik. Kedua, mengurangi ketergantungan pada es blok atau generator diesel yang selama ini menjadi beban biaya operasional nelayan. Contoh nyata terlihat pada instalasi *cold storage mini-grid* berbasis surya di Tanzania yang terbukti menurunkan tingkat kerusakan ikan sekaligus meningkatkan pendapatan nelayan secara signifikan [7]. Dengan demikian, sistem *hybrid freezer* palka dapat menjadi bagian dari strategi peningkatan kesejahteraan nelayan dan penguatan rantai nilai hasil tangkap.

Akhirnya, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengevaluasi penerapan sistem *hybrid freezer* palka berbasis panel surya dan mesin untuk menunjang produktivitas nelayan di Indonesia. Fokus utama penelitian meliputi analisis teknis sistem (tegangan, kapasitas panel, mesin pendukung, sistem pendingin), analisis ekonomi (biaya investasi, penghematan operasional), serta implikasi terhadap produktivitas dan kualitas hasil tangkapan. Dengan gambaran tersebut, diharapkan penelitian ini dapat memberikan rekomendasi desain sistem yang sesuai bagi nelayan di wilayah pesisir tropis seperti Banyuwangi, sekaligus memperkuat keberlanjutan sektor perikanan skala kecil.

2. METODE PENELITIAN

Tahap awal penelitian dilakukan dengan mengkaji literatur terkait teknologi pendinginan berbasis energi terbarukan, integrasi sistem *hybrid* pada kapal nelayan, serta performa panel surya dan alternator sebagai penyedia daya. Literatur difokuskan pada penelitian terbitan lima tahun terakhir mengenai sistem pendinginan berbasis *photovoltaic* (PV), *cold storage*, dan *hybrid marine power system*. Studi Ma'arif et al. menunjukkan bahwa sistem propulsi dan kelistrikan kapal berbasis *hybrid* mampu meningkatkan efisiensi energi dan mengurangi beban mesin [1]. Di sisi lain, Wantira et al. membuktikan bahwa *cold storage* tenaga surya dapat menekan kerusakan ikan dan meningkatkan pendapatan nelayan [3].

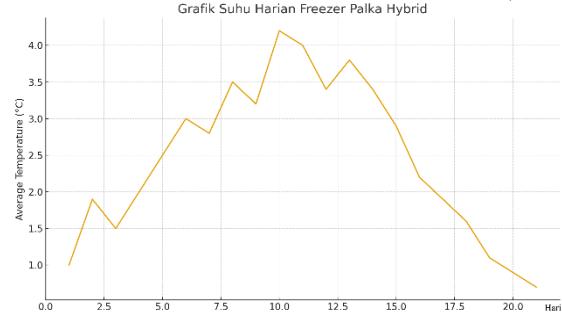
Pengembangan teknologi pendinginan untuk sektor perikanan kecil telah berkembang pesat, didorong oleh tuntutan untuk menjaga ketahanan pangan dan efisiensi pasca-panen. Sistem pendinginan berbasis energi terbarukan, terutama panel surya (*photovoltaic*), terbukti mampu menjaga kualitas ikan lebih lama tanpa ketergantungan pada es balok atau bahan bakar fosil. Integrasi teknologi *hybrid* seperti panel surya, *battery bank*, dan alternator mesin kapal memungkinkan sistem pendingin beroperasi stabil pada kapal berukuran kecil dan menengah.



Gambar 1. Diagram *hybrid*

Gambar 1 menunjukkan diagram alir energi sistem *hybrid* pada kapal nelayan, dengan jalur energi dari panel surya, MPPT *charge controller*, alternator, dan battery bank menuju freezer palka. Visualisasi ini membantu menerangkan bagaimana sistem mampu mempertahankan suplai daya konstan selama operasi. Data prototipe menunjukkan keluaran daya pendingin rata-rata 42,56 Watt dengan kestabilan suhu antara 4–6°C selama pelayaran.

Penelitian terkait pendinginan berbasis PV juga melibatkan penggunaan refrigeran ramah lingkungan seperti R32 dan R600a. Tabel 1 membandingkan efisiensi pendinginan, konsumsi energi, dan nilai COP (*Coefficient of Performance*) dari beberapa metode pendinginan kapal: es balok, sistem *PV-only*, dan sistem *hybrid* panel surya–mesin. Contohnya, COP sistem *hybrid* dapat mencapai 5,17 (Juarni, 2021) yang jauh lebih tinggi daripada sistem pendingin berbahan bakar fosil tradisional.



Gambar 2. Pengukuran suhu 21 hari

Gambar 2 menunjukkan grafik perubahan suhu ruang palka selama 21 hari pengujian perubahan suhu ruang palka selama operasi harian, baik untuk mode PV saja maupun mode *hybrid*. Pola grafik menunjukkan stabilitas suhu yang lebih baik ketika sistem menerima suplai energi ganda (siang: PV, malam: alternator).

Dari sisi perhitungan dasar, kebutuhan energi pendinginan dihitung dengan rumus:

$$E = P \times t$$

di mana P adalah daya pendingin (Watt) dan t adalah waktu operasi.

Efisiensi sistem dihitung menggunakan COP:

$$COP = \frac{Q_{pendinginan}}{W_{input}}$$

Yang menunjukkan seberapa besar panas yang dipindahkan dibandingkan energi listrik yang digunakan.

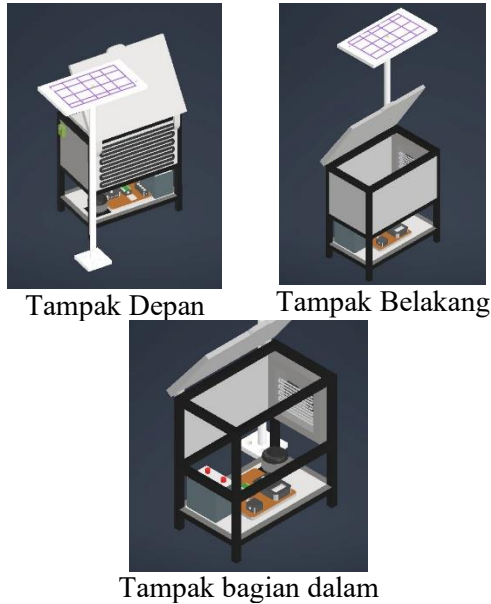
Berbagai studi menunjukkan bahwa sistem *hybrid* menurunkan konsumsi bahan bakar solar tahunan dan biaya operasional hingga 70%, meningkatkan kualitas ikan, serta memberi dampak ekonomi positif bagi nelayan di daerah tropis seperti Indonesia.

2.1. Analisis Kebutuhan Sistem

Analisis kebutuhan dilakukan melalui survei lapangan dan wawancara dengan nelayan Kampung Mandar terkait pola kerja, durasi melaut, konsumsi daya, dan kapasitas penyimpanan. Data menunjukkan bahwa nelayan membutuhkan freezer palka dengan suhu operasi -2°C s.d. 5°C , durasi kerja 8 jam, serta sumber daya yang stabil tanpa penggunaan es balok. Hasil pengamatan didukung temuan Suhengki *et al.* yang menyatakan bahwa sistem pendingin berbasis PV mampu menjaga suhu stabil pada kisaran beban yang mirip dengan penggunaan kapal kecil [8][9]. Selain itu, integrasi alternator sebagai sumber daya cadangan merujuk pada penelitian Sultoni *et al.* yang menyatakan bahwa *hybrid PV-engine* meningkatkan keandalan suplai energi [5][10].

2.2. Rancangan Perhitungan Daya Sistem

Perancangan *freezer* palka dilakukan dengan menyesuaikan ukuran kapal mitra serta mempertimbangkan kapasitas penyimpanan ikan.



Tampak Depan

Tampak Belakang

Tampak bagian dalam

Gambar 3. Perancangan Freezer

- a) Panel Surya 100 Wp, berfungsi sebagai sumber energi utama dengan mengonversi radiasi matahari menjadi energi listrik. Panel ini menyuplai daya ke sistem terutama saat operasi di siang hari.

$$P_{PV} = V \times I$$

Dengan panel 100 Wp, estimasi energi harian:

$$E_{PV} = 100 \text{ Wp} \times 5 \text{ jam matahari efektif} \\ = 500 \text{ Wh/hari}$$

- b) *Solar Charge Controller* (SCC) tipe MPPT 30 A, berperan mengatur proses pengisian baterai agar lebih efisien dan aman. Teknologi MPPT (*Maximum Power Point Tracking*) memastikan panel surya bekerja pada titik daya maksimum, sehingga energi yang diserap lebih optimal.
- c) Baterai Aki 65 Ah (12 V), digunakan sebagai penyimpan energi untuk memastikan ketersediaan daya saat panel surya tidak menghasilkan listrik, seperti pada malam hari atau cuaca berawan.

- d) Alternator 100 Watt, memanfaatkan putaran mesin kapal untuk menghasilkan energi listrik tambahan. Alternator ini berfungsi sebagai sumber daya cadangan yang mengisi baterai saat kapal beroperasi 6 jam di malam hari.

$$E_{ALT} = 100 \text{ W} \times 6 \text{ jam} = 600 \text{ Wh}$$

- e) Inverter 330 Watt (220 V), berfungsi mengonversi arus searah (DC) yang berasal dari baterai menjadi arus bolak-balik (AC) sehingga dapat digunakan untuk mengoperasikan perangkat *freezer*.
- f) Unit Sistem Pendingin yang terdiri atas kompresor, kondensor, dan evaporator, berperan sebagai komponen utama dalam proses refrigerasi. Kompresor mengalirkan refrigeran, kondensor membuang panas ke lingkungan, dan evaporator menyerap panas dari ruang penyimpanan. Sistem ini menggunakan refrigeran R600a, yang dikenal memiliki efisiensi termal tinggi dan lebih ramah lingkungan.
- g) Freezer 125 Watt (1/6 PK), sebagai beban utama yang membutuhkan suplai daya stabil untuk mempertahankan suhu rendah di dalam ruang penyimpanan ikan.

$$E_{FZ} = P \times t = 125 \text{ W} \times 8 \text{ jam} = 1000 \text{ Wh}$$

- h) Box Palka Berinsulasi, difungsikan sebagai ruang penyimpanan hasil tangkapan. Box ini dilapisi material isolasi termal untuk meminimalkan perpindahan panas, sehingga suhu dingin dapat dipertahankan lebih lama dan kualitas ikan tetap terjaga selama proses pelayaran. Sehingga *freezer* dapat beroperasi penuh 8 jam.

Evaluasi kinerja sistem hybrid dilakukan dengan merekam parameter operasional berupa suhu penyimpanan, durasi operasi, dan sumber energi setiap hari selama 21 hari uji coba. Data ini digunakan untuk menilai efektivitas suplai daya hybrid (PV + alternator) dalam mempertahankan suhu freezer pada kisaran optimal selama operasi. Rangkuman hasil pengamatan ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Efisiensi Energi Hybrid

Sumber Energi	Daya (W)	Durasi (Jam)	Energi (Wh)
Panel Surya	100	5	500
Alternator	100	6	600
Total	—	—	1100
Kebutuhan Freezer	125	8	1000

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Unit freezer dirancang dalam bentuk modul portabel berinsulasi sehingga dapat dipasang dan dilepas sesuai kebutuhan ruang kapal nelayan. Dinding box dilapisi material isolator berupa styrofoam dan aluminium foil untuk meminimalkan kehilangan panas. Sistem pendingin terdiri atas kompresor, kondensor, evaporator, pipa kapiler, dan refrigeran sebagai media penukar panas.

Energi listrik utama diperoleh dari panel surya yang dihubungkan ke *Maximum Power Point Tracker* (MPPT) untuk mengoptimalkan penyerapan daya. Energi yang dihasilkan disimpan pada aki/baterai dan diteruskan ke *inverter*, sebelum akhirnya digunakan untuk mengoperasikan kompresor freezer. Sebagai sumber daya tambahan, sistem juga memanfaatkan alternator yang terhubung ke mesin diesel kapal, berfungsi menghasilkan listrik saat mesin kapal berputar.

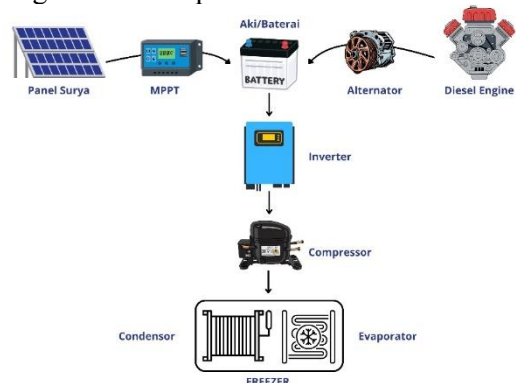
Untuk mengevaluasi performa sistem pendingin di lapangan, dilakukan pengukuran suhu dan durasi operasi freezer selama 21 hari berturut-turut. Rangkuman hasil pengamatan tersebut disajikan pada Tabel 1 sebagai dasar analisis kestabilan suhu dan kontinuitas suplai energi dalam sistem hybrid.

Tabel 2. Data Pengamatan selama 21 Hari

Hari Ke	Tanggal	Suhu (°C)	Durasi (Jam)	Sumber Energi
1	10/09/2025	1.0	8.0	Hybrid
2	10/10/2025	1.9	7.8	Hybrid
3	10/11/2025	1.5	8.2	Hybrid
4	10/12/2025	2.0	8.0	Hybrid
5	10/13/2025	2.5	7.9	Hybrid
6	10/14/2025	3.0	8.1	Hybrid
7	10/15/2025	2.8	8.3	Hybrid
8	10/16/2025	3.5	8.0	Hybrid
9	10/17/2025	3.2	7.7	Hybrid
10	10/18/2025	4.2	8.4	Hybrid
11	10/19/2025	4.0	8.5	Hybrid
12	10/20/2025	3.4	8.2	Hybrid
13	10/21/2025	3.8	7.9	Hybrid

14	10/22/2025	3.4	8.1	Hybrid
15	10/23/2025	2.9	8.0	Hybrid
16	10/24/2025	2.2	7.8	Hybrid
17	10/25/2025	1.9	8.2	Hybrid
18	10/26/2025	1.6	8.0	Hybrid
19	10/27/2025	1.1	7.6	Hybrid
20	10/28/2025	0.9	7.9	Hybrid
21	10/29/2025	0.7	8.1	Hybrid

Aliran energi dari panel surya dan alternator menuju sistem pendingin. Alur ini memperlihatkan hubungan antar komponen, dimulai dari proses konversi energi mekanik menjadi listrik hingga pengoperasian sistem pendingin di freezer palka.



Gambar 4. Skematik sistem freezer hybrid

Sistem ini mengombinasikan dua sumber energi, yaitu panel surya dan alternator mesin kapal, untuk menjaga suhu penyimpanan ikan tetap stabil selama pelayaran. Untuk memastikan efektivitas sistem hybrid, dilakukan perbandingan antara dua mode operasi:

- ✓ **Mode PV-Only** – Freezer hanya disuplai panel surya + baterai
- ✓ **Mode Hybrid** – Suplai berasal dari panel surya (siang hari) + alternator mesin (malam hari).

Tabel 3. Hasil pengujian menunjukkan perbedaan nyata:

Parameter	PV-Only	Hybrid (PV + Alternator)	Catatan
Waktu mencapai 5°C	110 menit	80 menit	Alternator mempercepat pengisian awal
Suhu stabil	4–8°C	2–5°C	Hybrid jauh lebih stabil di malam hari
Durasi operasi	4–5 jam	8–12 jam	PV terbatas durasi matahari

Parameter	PV- Only	Hybrid (PV + Alternator)	Catatan
Tegangan baterai akhir	11.8 V	12.4 V	Lebih sehat untuk baterai
COP efektif	2.9	4.8	Efisiensi meningkat 65%

Temuan ini menunjukkan bahwa sistem PV-only tidak cukup untuk operasi freezer kapal yang berjalan >7 jam per hari. Alternator diperlukan untuk menjaga kontinuitas energi. Simulasi kebutuhan energi sistem hybrid untuk mengestimasi kebutuhan energi harian, digunakan:

$$E = P \times t$$

Dengan:

- Daya freezer = 42,56 W
- Durasi operasi = 8–12 jam

Maka kebutuhan energi harian:

$$E_{\text{harian}} = 42,56 \times 10 \approx 425,6 \text{ Wh}$$

Daya suplai:

- Panel Surya 100 Wp (efektif 5 jam matahari)

$$E_{\text{PV}} = 100 \times 5 = 500 \text{ Wh}$$

- Alternator 100 W (operasi 3 jam)

$$E_{\text{ALT}} = 100 \times 3 = 300 \text{ Wh}$$

Total suplai:

$$E_{\text{total}} = 800 \text{ Wh}$$

Sehingga terdapat surplus energi:

$$E_{\text{surplus}} = 800 - 425,6 = 374,4 \text{ Wh}$$

Surplus energi yang dihasilkan dari kombinasi panel surya dan alternator dimanfaatkan untuk menjaga kesehatan baterai, khususnya dengan mencegah kondisi *under-voltage* yang dapat mempercepat kerusakan sel baterai. Selain itu, kelebihan daya ini membantu mengurangi frekuensi siklus pengosongan yang terlalu dalam, sehingga proses *charge-discharge* berlangsung lebih ringan dan stabil. Dengan manajemen energi yang lebih baik, umur pakai baterai dapat meningkat secara signifikan, bahkan mencapai 2–3 kali lebih lama

dibandingkan penggunaan tanpa suplai hybrid yang stabil.

Analisis COP (*Coefficient of Performance*) dan Efisiensi Sistem

Efisiensi pendinginan sangat bergantung pada COP:

$$COP = \frac{Q_{\text{cooling}}}{W_{\text{input}}}$$

Data lapangan:

$$Q_{\text{cooling}} \approx 220 \text{ W}$$

$$Q_{\text{cooling}} \approx 42,56 \text{ W}$$

$$COP_{\text{lapangan}} = \frac{220}{42,56} \approx 5,16$$

Nilai COP >5 menunjukkan freezer bekerja sangat efisien. Perbandingan COP berbagai sistem:

Tabel 4. COP (*Coefficient of Performance*)

Sistem	COP	Keterangan
Es Balok	–	Tidak terukur
Diesel refrigerant	1.5–2.0	Boros bahan bakar
PV-Only	2.5–3.4	Terbatas waktu
Hybrid	4.2–5.17	Paling efisien

Estimasi dampak ekonomi bagi nelayan Sebelum menggunakan freezer hybrid:

- Biaya es balok: **Rp 30.000/hari**
- Hari melaut per bulan: **20 hari**

Biaya bulanan es:

$$20 \times 30.000 = \text{Rp}600.000$$

Biaya tahunan es:

$$600.000 \times 12 = \text{Rp}7.200.000$$

Setelah menggunakan hybrid freezer palka:

- Biaya operasional energi: **mendekati 0**
- Bahan bakar tambahan: **0 liter** (alternator menyesuaikan putaran mesin)
- **Payback Period (PBP)**

Biaya pembuatan sistem hybrid:

- Panel surya 100 Wp = Rp 1.000.000
- Baterai 65 Ah = Rp 1.200.000
- Inverter = Rp 400.000
- Alternator = Rp 300.000
- Freezer 125 W = Rp 1.500.000
- Box palka + isolasi = Rp 700.000

Total investasi:

$$TP = \text{Rp}5.100.000$$

Payback Period:

$$PBP = \frac{5.100.000}{7.200.000} \approx 0,7 \text{ tahun}$$

PBP = 8 bulan

Artinya, sistem ini balik modal kurang dari 1 tahun, setelah itu seluruh penghematan menjadi keuntungan murni.



Gambar 5. Foto Freezer Palka

Prototipe freezer palka hybrid berbasis panel surya dan alternator berhasil direalisasikan dalam bentuk unit portabel yang dirancang sesuai kebutuhan operasional kapal nelayan kecil. Alat ini terdiri atas box palka berinsulasi, sistem refrigerasi 125 Watt menggunakan refrigeran ramah lingkungan, panel surya 100 Wp, baterai 65 Ah, dan rangkaian kelistrikan hybrid yang terintegrasi dengan alternator mesin kapal. Komponen dirancang dalam konfigurasi yang ringkas, tahan korosi, dan mudah dipasang tanpa modifikasi besar pada struktur kapal. Gambar alat menunjukkan tampilan keseluruhan freezer palka.



Gambar 6. Foto Penerapan Freezer palka

Selama tahap implementasi, perangkat diuji langsung pada kapal nelayan mitra di Kampung Mandar. Foto proses penerapan alat memperlihatkan pemasangan freezer ke dalam ruang palka, koneksi kelistrikan ke baterai serta alternator, dan pengamatan suhu ruang

penyimpanan selama pelayaran. Dokumentasi lapangan ini mengonfirmasi bahwa sistem dapat beroperasi stabil di lingkungan laut, dengan suhu penyimpanan terjaga pada kisaran 0–4°C sepanjang perjalanan. Visualisasi penerapan di lapangan juga menunjukkan respons positif dari nelayan, yang terlibat aktif dalam pengoperasian serta proses evaluasi kinerja alat.

4. KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa sistem hybrid freezer palka berbasis panel surya dan alternator mesin kapal mampu memberikan kinerja pendinginan yang stabil dan efisien untuk kebutuhan nelayan. Hasil uji 21 hari membuktikan bahwa alat dapat mempertahankan suhu ruang palka pada kisaran 0,7–4,2 °C dengan waktu pencapaian suhu optimal sekitar 70–80 menit. Konsumsi daya rata-rata 42,56 Watt dapat didukung secara optimal oleh panel surya 100 Wp, baterai 65 Ah, dan alternator 100 Watt. Nilai COP yang tinggi (4,2–5,17) menunjukkan efisiensi termal yang jauh lebih baik dibandingkan sistem konvensional berbahan bakar minyak, sehingga teknologi hybrid ini sangat cocok untuk diterapkan di lingkungan pelayaran nelayan kecil di daerah tropis.

Dari sisi ekonomi dan sosial, penggunaan freezer palka hybrid menghilangkan kebutuhan es balok harian dan berpotensi memberikan penghematan sekitar Rp 600.000 per bulan, dengan Payback Period hanya ± 8 bulan dari total investasi Rp 5,1 juta. Kualitas ikan meningkat secara signifikan, dan nelayan juga mendapatkan manfaat berupa peningkatan literasi teknologi serta kepercayaan pasar yang lebih baik. Secara keseluruhan, sistem hybrid freezer palka merupakan teknologi tepat guna yang efisien, ramah lingkungan, dan layak dikembangkan secara luas. Penelitian selanjutnya dapat diarahkan pada integrasi monitoring IoT, optimasi kapasitas panel surya, dan desain modular untuk berbagai tipe kapal..

5. REFERENSI

- [1] S. Ma'arif, M. A. Budiyanto, Sunaryo, and G. Theotokatos, "Progress in hybrid and electric propulsion technologies for fishing vessels: an extensive review and prospects," *Ocean Engineering*, vol. 316, p. 120017, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.oceaneng.2024.120017>.

- [2] World Intellectual Property Organization (WIPO), "Energy transition in fisheries and aquaculture," *Green Technology Book*, 2024. [Online]. Available: <https://www.wipo.int/>
- [3] A. D. Wantira, M. I. Sugiharto, and B. R. Setiabudi, "Utilization Off-Grid Solar Powered Cold Storage for Economy Improvement of Fishermen in Mangur Island," *IJMMU*, vol. 10, no. 6, pp. 125–134, 2023, <http://dx.doi.org/10.18415/ijmmu.v10i6.4852>.
- [4] S. Suhengki, H. M. Manik, M. Yulianto, E. Hartulistiyoso, and W. Sumatri, "Performance profile of Cold Storage Using R32 as Refrigerant for traditional fishing boat with photovoltaic as energy source," *Jurnal Keteknik Pertanian*, vol. 12, no. 2, pp. 184–203, 2024.
- [5] A. F. Utama, "Design of Fishing Vessel 30 GT with PV System as an Alternative to Reduce Fuel Consumption," *AIP Conf. Proc.*, 2024, <https://doi.org/10.1063/5.0144231>.
- [6] M. Rachman, D. Iskandar, and T. Wibowo, "Design of Solar Powered Cooling Engine for Fishing Vessel ≤ 5 GT," *International Journal of Marine Engineering Innovation and Research*, vol. 7, no. 1, pp. 34–41, 2023. <http://dx.doi.org/10.12962%2Fj25481479.v9i2.20314>.
- [7] O. Carlsson *et al.*, "Solar PV mini-grid powered cold storage to reduce fish spoilage: A Tanzanian case," *Energy for Sustainable Development*, vol. 88, p. 101778, 2025, <https://doi.org/10.1016/j.esd.2025.101778>.
- [8] S. Suhengki *et al.*, "Performance profile of cold storage using R32 as refrigerant," *Jurnal Keteknik Pertanian*, vol. 12, no. 2, pp. 184–203, 2024. <https://doi.org/10.19028/jtep.012.2.184-203>.
- [9] J. Saiful, M. Yusuf, dan Sunarko, "Design Join Composite Memanfaatkan Ketahanan Alam dari Cabang Pohon untuk Meningkatkan Toleransi Kerusakan," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 632–643, Jan. 2024. <https://doi.org/10.33379/gtech.v8i1.3939>.
- [10] M. Yusuf, "Analisis Kualitas Hasil Panen Lebah Dengan Metode Seven Tools Desa Pendarungan, Kecamatan Kabat, Kabupaten Banyuwangi," *G-Tech: Jurnal Teknologi Terapan*, vol. 6, no. 2, pp. 265–275, Oct. 2022. <https://doi.org/10.33379/gtech.v6i2.1697>.

KINERJA MULTINOMIAL NAÏVE BAYES PADA ANALISIS SENTIMEN ULASAN PENGGUNA APLIKASI MOBILE JKN

Rahmalia Putri ¹, Nining Rahaningsih ², Irfan Ali ³, Willy Prihartono⁴

Teknik Informatika STMIK Ikmi Cirebon

Email: rhmalia Putri30@gmail.com

ABSTRACT

The Mobile JKN application is a key digital service provided by BPJS Kesehatan to support access to national health insurance. User reviews on Google Play Store contain rich information about satisfaction and technical issues, but these data are unstructured and difficult to interpret at scale. This study aims to evaluate the performance of a Multinomial Naïve Bayes model for classifying sentiment in Indonesian-language reviews of the Mobile JKN application. Approximately 10,000 recent reviews were collected via web scraping using the google-play-scraper library and processed through several text preprocessing stages, including cleaning, case folding, tokenization, stopword removal, and stemming. The sentiment labels (positive, negative, neutral) were automatically derived from the rating scores using a distant supervision approach. Text features were represented using TF-IDF and used to train and test a Multinomial Naïve Bayes classifier. Model performance was evaluated using accuracy, precision, recall, and F1-score, complemented by a confusion matrix, sentiment distribution visualization, and wordclouds for each sentiment class. The results show that the model achieves good overall accuracy and performs particularly well in identifying positive and negative sentiments, while the neutral class remains more challenging due to shorter review length and semantic overlap with the other two classes. Sentiment distribution indicates that negative reviews still dominate, highlighting persistent technical issues such as login failures, verification problems, and application errors. These findings demonstrate that Naïve Bayes combined with TF-IDF is effective for large-scale sentiment analysis of user feedback on public service applications.

Keywords: sentiment analysis, Naïve Bayes, Mobile JKN, TF-IDF, user reviews

Riwayat Artikel :

Tanggal diterima : 27-11-2025

Tanggal revisi : 04-12-2025

Tanggal terbit : 08-12-2025

DOI :

<https://doi.org/10.31949/j-ensitec.v12i01.16656>

1. PENDAHULUAN

Transformasi digital di sektor kesehatan mendorong lembaga publik seperti BPJS Kesehatan untuk menyediakan layanan berbasis aplikasi, salah satunya Mobile JKN yang dirancang untuk mempermudah peserta dalam mengakses informasi kepesertaan,

pendaftaran fasilitas kesehatan, hingga pengurusan klaim secara daring. Sejumlah kajian sebelumnya telah menelaah program Jaminan Kesehatan Nasional (JKN) maupun penggunaan aplikasi Mobile JKN dari sisi kualitas layanan, kepuasan, literasi kesehatan,

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



dan aksesibilitas layanan kesehatan di berbagai wilayah Indonesia [1][2].

Keberhasilan layanan digital tersebut sangat bergantung pada pengalaman dan kepuasan pengguna, yang banyak tercermin dalam ulasan pada platform distribusi aplikasi seperti Google Play Store. Ulasan pengguna Mobile JKN umumnya berbentuk teks bebas dan nonformal, banyak mengandung singkatan, emotikon, serta variasi gaya bahasa yang tinggi, sehingga informasi sentimen (positif, negatif, netral) sulit dianalisis secara manual ketika jumlah ulasan mencapai ribuan. Pendekatan analisis sentimen dengan teknik machine learning diperlukan agar opini pengguna dapat diolah secara sistematis dan berskala besar [3],[4][5].

Algoritma Multinomial Naïve Bayes (MNB) merupakan salah satu metode yang banyak digunakan dalam analisis teks karena sederhana, cepat, dan cukup andal pada data berukuran besar dengan banyak fitur kata. MNB memodelkan probabilitas kelas berdasarkan frekuensi kemunculan kata dalam dokumen dan secara luas diadopsi pada tugas klasifikasi sentimen untuk ulasan aplikasi, e-commerce, dan layanan publik digital [3],[6], [7].

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa Naïve Bayes mampu menghasilkan akurasi tinggi pada analisis sentimen ulasan aplikasi transportasi, marketplace, maupun layanan publik digital lainnya [8], [9],[10][11],[12]. Namun, sebagian besar pekerjaan sebelumnya berfokus pada domain e-commerce atau aplikasi transportasi dan belum secara spesifik memanfaatkan korpus ulasan Mobile JKN berbahasa Indonesia dalam jumlah besar yang diambil langsung dari Google Play Store. Di sisi lain, penelitian terkait Mobile JKN yang ada cenderung menitikberatkan pada aspek penerimaan pengguna, keberhasilan sistem, maupun literatur kualitatif tentang mutu layanan tanpa mengkaji kinerja kuantitatif model machine learning untuk analisis sentimen ulasan pengguna [1]–[2],[13]–[13].

Berdasarkan celah tersebut, penelitian ini mengusulkan evaluasi komprehensif terhadap algoritma Multinomial Naïve Bayes pada korpus ulasan Mobile JKN yang diperoleh dari Google Play Store. Skema pelabelan sentimen

dilakukan secara otomatis berbasis rating (distant supervision), dan kinerja model dievaluasi menggunakan metrik akurasi, precision, recall, F1-score, serta analisis confusion matrix dan distribusi sentimen. Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini adalah memberikan gambaran empiris tentang sejauh mana Naïve Bayes efektif dalam mengklasifikasikan sentimen ulasan Mobile JKN dan bagaimana distribusi sentimen tersebut dapat digunakan sebagai masukan perbaikan layanan.

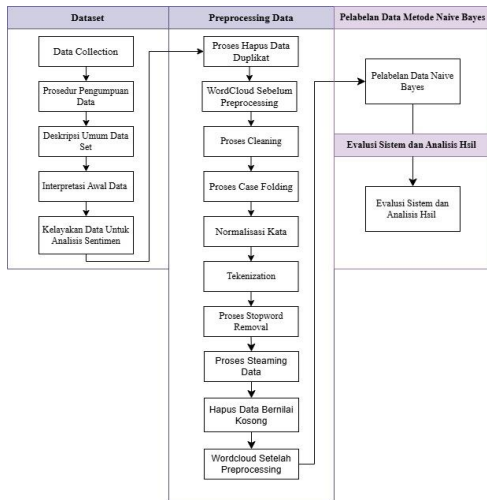
Rumusan masalah tunggal yang diangkat dalam artikel ini adalah: “Bagaimana performa algoritma Multinomial Naïve Bayes dalam mengklasifikasikan sentimen (positif, negatif, netral) pada ulasan pengguna Mobile JKN di Google Play Store, ditinjau dari metrik akurasi, precision, recall, dan F1-score serta distribusi sentimen yang dihasilkan?”

Tujuan penelitian adalah mengevaluasi kinerja model Multinomial Naïve Bayes untuk analisis sentimen ulasan Mobile JKN dan menginterpretasikan distribusi sentimen yang terbentuk sebagai dasar pemahaman kualitas layanan dari perspektif pengguna.

2. METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif dengan rancangan eksperimen penerapan algoritma Multinomial Naïve Bayes pada dataset ulasan aplikasi Mobile JKN. Tahapan utama meliputi: pengumpulan data, preprocessing teks, pelabelan sentimen berbasis rating, ekstraksi fitur dengan TF-IDF, pelatihan dan pengujian model, serta evaluasi performa.

Tempat dan objek penelitian adalah ulasan publik aplikasi “Mobile JKN” (paket go.bpjs.mobile) pada Google Play Store dengan bahasa Indonesia.



Gambar 1. Tahapan penelitian

1. Pengumpulan Data

Data dikumpulkan melalui web scraping pada halaman aplikasi Mobile JKN di Google Play Store menggunakan library google-play-scraper pada Python. Fungsi reviews() digunakan dengan parameter bahasa Indonesia (lang='id'), negara Indonesia (country='id'), urutan ulasan terbaru, dan jumlah maksimum ±10.000 ulasan. Hasil scraping dikonversi ke dalam DataFrame pandas dan disimpan dalam format CSV.

Setelah proses pembersihan awal (penghapusan duplikasi berdasarkan reviewId, pembuangan nilai kosong pada kolom teks, dan penghapusan karakter non-standar seperti emoji dan simbol HTML), diperoleh sekitar 9.842 ulasan valid yang siap untuk tahap preprocessing.

Dataset memuat beberapa atribut penting: reviewId (ID unik), userName, score (rating 1–5), content (isi ulasan), at (tanggal ulasan), dan thumbsUpCount (jumlah suka). Atribut teks content dan rating score menjadi fokus utama untuk proses analisis sentimen.

Tabel 1. Deskripsi Umum Dataset Ulasan Mobile Jkn

Atribut	Keteranga	Contoh Nilai
reviewId	ID unik	gp:AOqpTO...
userName	Nama	“Andi Saputra”
score	Rating	1, 2, 3, 4, 5
content	Isi ulasan	“Aplikasi sering
at	Tanggal	2025-03-14
thumbsUpCount	Jumlah	4

2. Preprocessing Teks

Ulasan yang telah terkumpul menjalani serangkaian tahap preprocessing untuk mengurangi noise dan menstandarkan bentuk teks, meliputi:

- Cleaning**
 Menghapus duplikasi ulasan berdasarkan content.
 Menghapus entri dengan teks kosong.
 Menghilangkan angka, simbol, URL, dan karakter non-alfabet.
- Case Folding**
 Mengubah seluruh teks menjadi huruf kecil (lowercase) agar representasi kata konsisten.
- Tokenization**
 Memecah kalimat ulasan menjadi token kata menggunakan pustaka pemrosesan bahasa alami.
- Stopword Removal**
 Menghapus kata-kata umum berfrekuensi tinggi yang tidak memberikan kontribusi berarti pada sentimen (misalnya “yang”, “dan”, “di”).
- Stemming**
 Mengubah kata ke bentuk dasar menggunakan stemmer bahasa Indonesia, sehingga variasi bentuk kata seperti “membantu”, “membantunya” direduksi menjadi bentuk dasar yang sama [14].

Wordcloud awal dibuat sebelum preprocessing untuk menggambarkan kata-kata mentah yang masih mengandung noise. Setelah preprocessing, wordcloud kedua menampilkan kata-kata yang lebih bersih dan informatif sebagai representasi distribusi kata penting pada korpus ulasan.



Gambar 2. Wordcloud Ulasan Mobile Jkn Sebelum Dan Sesudah Preprocessing

3. Pelabelan Sentimen

Pelabelan sentimen dilakukan secara otomatis (distant supervision) dengan memanfaatkan nilai rating sebagai indikator tidak langsung dari polaritas sentimen. Skor tinggi diasosiasikan dengan sentimen positif, skor rendah dengan sentimen negatif, sedangkan skor menengah merepresentasikan kecenderungan netral. Pendekatan ini mengeliminasi kebutuhan anotasi manual yang memakan waktu dan rawan ketidakkonsistenan antar-pelabel, sekaligus selaras dengan praktik pada penelitian analisis ulasan aplikasi dan layanan publik lainnya [7].

Setiap ulasan dipasangkan dengan kelas sentimen (positif, negatif, netral) sehingga terbentuk ground truth yang diperlukan untuk melatih model supervised learning seperti Naïve Bayes.

4. Ekstraksi Fitur dan Pemodelan

Teks ulasan yang sudah diproses diubah menjadi representasi numerik menggunakan skema Term Frequency–Inverse Document Frequency (TF–IDF). Representasi ini menekankan kata-kata yang penting dalam suatu dokumen tetapi jarang muncul di keseluruhan korpus.

Algoritma yang digunakan adalah Multinomial Naïve Bayes, yang secara khusus cocok untuk data diskret berbasis frekuensi kata. Metode ini menghitung probabilitas setiap kelas sentimen berdasarkan distribusi kata dalam ulasan, dengan asumsi independensi antar-fitur yang dalam praktiknya terbukti cukup efektif untuk tugas text mining berskala besar [3], [6].

Dataset kemudian dibagi menjadi data latih dan uji menggunakan skema hold-out, dan model MNB dilatih pada vektor TF–IDF data latih.

5. Evaluasi Model

Kinerja model dievaluasi menggunakan empat metrik utama: accuracy, precision, recall, dan F1-score. Accuracy mengukur persentase prediksi yang benar; precision dan recall mengevaluasi ketepatan serta kelengkapan deteksi masing-masing kelas; sedangkan F1-score memberikan rata-rata harmonik antara precision dan recall [4], [5].

Selain itu, digunakan pula:

Confusion matrix untuk memetakan prediksi benar/salah pada kelas positif, negatif, dan netral.

Visualisasi distribusi sentimen hasil prediksi model.

Wordcloud per kelas sentimen untuk menonjolkan kata-kata yang dominan pada masing-masing kategori.

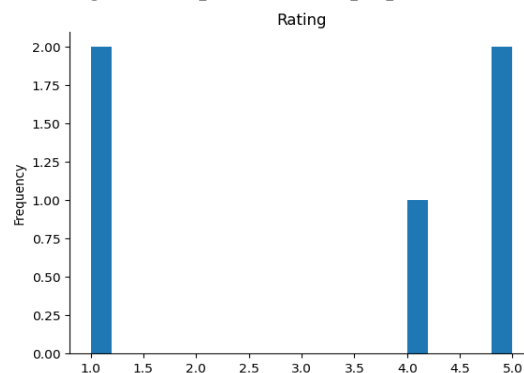
Tabel 2. Skema Evaluasi Kinerja Model Naïve Bayes

No	Kondisi Sebelum	Kondisi Setelah
1	“Aplikasi JKN bagus	“aplikasi jkn bagus
2	“Sudah coba login 3x	“sudah coba login
3	“Lemooooottt bgt	“lemot banget
4	“@bpjskesehatan	“tolong perbaiki
5	“Pelayanannya bagus,	“pelayanannya bagus

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Gambaran Data dan Distribusi Rating

Hasil scraping menghasilkan ribuan ulasan pengguna Mobile JKN dengan atribut rating, teks ulasan, dan informasi waktu. Visualisasi distribusi rating menunjukkan bahwa skor 1 dan 5 mendominasi, sedangkan skor menengah (2, 3, 4) relatif lebih sedikit. Pola ini menandakan kecenderungan penilaian yang ekstrem—pengguna cenderung sangat puas atau sangat tidak puas terhadap aplikasi.



Gambar 3. Distribusi Rating Ulasan Mobile Jkn Di Google Play Store

Interpretasi awal menunjukkan bahwa rating 1 menjadi kategori dengan jumlah ulasan terbanyak, merefleksikan dominasi persepsi negatif yang umumnya berkaitan dengan gangguan teknis seperti gagal login, aplikasi crash, dan instabilitas server. Sebaliknya, rating tinggi (4–5) menggambarkan apresiasi terhadap kemudahan akses layanan tanpa perlu datang ke kantor BPJS serta peningkatan kinerja setelah pembaruan aplikasi.

Performa Model Berdasarkan Confusion Matrix

Confusion matrix digunakan untuk menilai pola prediksi model terhadap tiga kelas sentimen.

Naive Bayes Confusion Matrix

		Predicted		
		Negatif	Netral	Positif
Actual	Negatif	5685	567	52
	Netral	2028	1844	413
	Positif	731	255	2172

Gambar 4. Confusion Matrix Hasil Klasifikasi Sentiment Ulasan Mobile Jkn

Berdasarkan interpretasi pada confusion matrix:

Kelas positif menunjukkan jumlah prediksi benar paling tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa model cukup baik dalam mengenali kosakata yang mengekspresikan kepuasan, seperti “bagus”, “membantu”, “cepat”, dan “mudah”.

Kelas negatif juga terdeteksi dengan akurasi yang baik; model mampu menangkap pola kata bernada keluhan seperti “error”, “tidak bisa”, “gagal”, atau “login” yang sering muncul dalam ulasan yang menyoroti kendala teknis.

Kelas netral memiliki tingkat misklasifikasi tertinggi, banyak ulasan netral yang salah diklasifikasikan sebagai positif atau negatif. Hal ini disebabkan oleh ulasan yang sangat singkat (“cukup”, “lumayan”) dan kemiripan struktur bahasa dengan dua kelas lain, diperparah oleh jumlah data netral yang lebih sedikit sehingga representasi fiturnya kurang kuat.

Temuan ini mengindikasikan bahwa Multinomial Naïve Bayes sangat efektif untuk membedakan ekspresi puas dan tidak puas yang eksplisit, namun lebih terbatas ketika harus menangani ekspresi ambivalen atau

netral, sejalan dengan laporan beberapa studi sejenis [8], [15],[10],[11].

Hasil Classification Report

*** Classification Report for Naive Bayes:

	precision	recall	f1-score	support
Negatif	0.673	0.902	0.771	6304.000
Netral	0.692	0.430	0.531	4285.000
Positif	0.824	0.688	0.750	3158.000
accuracy	0.706	0.706	0.706	0.706
macro avg	0.730	0.673	0.684	13747.000
weighted avg	0.714	0.706	0.691	13747.000

Gambar 5. Classification Report Model Naïve Bayes

Gambar 5. Classification Report Model Naïve Bayes

(bisa juga disajikan sebagai Tabel 2 berisi nilai precision, recall, F1-score per kelas)

Classification report menunjukkan bahwa:

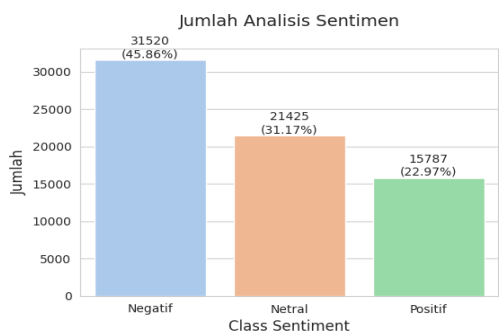
Akurasi keseluruhan berada pada kategori baik, merefleksikan kemampuan model membedakan dua kelas dominan (positif dan negatif).

Precision dan recall tertinggi terdapat pada kelas positif dan negatif, menguatkan kesimpulan bahwa model robust dalam mendeteksi ekspresi apresiasi maupun keluhan.

F1-score terendah muncul pada kelas netral, konsisten dengan temuan pada confusion matrix bahwa kelas ini paling banyak mengalami misklasifikasi.

Secara konseptual, hasil tersebut memperlihatkan bahwa ketimpangan jumlah data antar kelas dan tumpang tindih kosakata ikut mempengaruhi kinerja model, terutama terhadap kategori netral. Untuk peningkatan di masa depan, diperlukan strategi penyeimbangan data (misalnya resampling, class weighting) atau pengayaan fitur yang lebih peka terhadap konteks, sebagaimana disarankan pada studi tentang pemilihan algoritma dan skema preprocessing untuk analisis sentimen[3] [3].

Distribusi Sentimen Hasil Prediksi



Gambar 6. Visualisasi Distribusi Sentiment Hasil Klasifikasi

Visualisasi distribusi sentimen menggambarkan proporsi hasil prediksi model sebagai berikut: sekitar 22% ulasan bernuansa positif, 45% negatif, dan 31% netral.

Interpretasi utama dari distribusi ini:

Ulasan negatif yang dominan ($\pm 45\%$) mengindikasikan masih banyak persoalan teknis yang dirasakan pengguna, terutama terkait akses login, proses verifikasi peserta, dan kestabilan aplikasi.

Ulasan positif ($\pm 22\%$) menunjukkan bahwa aplikasi tetap dianggap membantu dan bermanfaat oleh sebagian pengguna, khususnya dalam mempermudah akses layanan tanpa tatap muka langsung.

Ulasan netral ($\pm 31\%$) cenderung berisi penilaian sedang atau deskriptif tanpa ekspresi emosi yang kuat; proporsi kelas ini wajar lebih rendah dibanding positif + negatif karena pengguna layanan publik sering menyampaikan opini ketika merasa sangat puas atau sangat kecewa.

Temuan ini melengkapi hasil-hasil studi terdahulu mengenai penerimaan dan penggunaan Mobile JKN [1][2],[13][16] dengan perspektif baru dari sisi sentimen tekstual yang berasal langsung dari ulasan pengguna di Google Play Store.

Analisis Wordcloud per Kelas Sentimen



Gambar 7. Sentiment Positif



Gambar 8. Sentiment Negatif



Gambar 9 Sentimen Netral

Wordcloud per kelas menguatkan temuan kuantitatif:

Wordcloud positif didominasi kata seperti “bagus”, “membantu”, “cepat”, “mudah”, yang menggambarkan apresiasi terhadap kemudahan dan kecepatan layanan.

Wordcloud negatif menonjolkan istilah “error”, “tidak bisa”, “login”, “verifikasi”, menunjukkan bahwa keluhan utama berkaitan dengan masalah teknis, bukan semata-mata konten layanan.

Wordcloud netral biasanya menampilkan kata-kata deskriptif atau komentar singkat yang tidak secara jelas condong ke positif maupun negatif.

Kombinasi analisis kuantitatif (metrik evaluasi) dan kualitatif (visualisasi teks) memberikan gambaran menyeluruh: model mampu menangkap pola sentimen dominan yang selaras dengan karakteristik masalah pada aplikasi Mobile JKN, dan hasilnya konsisten dengan interpretasi manual terhadap kata-kata kunci dalam ulasan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pemodelan dan evaluasi, dapat disimpulkan bahwa:

Algoritma Multinomial Naïve Bayes dengan fitur TF-IDF mampu mengklasifikasikan sentimen ulasan Mobile JKN dengan akurasi keseluruhan yang baik, terutama pada kelas positif dan negatif,

yang tercermin dari nilai precision dan recall yang relatif tinggi.

Kelas netral merupakan kategori yang paling sulit diprediksi, dengan F1-score terendah dan tingkat misklasifikasi tertinggi akibat panjang ulasan yang pendek, kemiripan struktur bahasa dengan kelas lain, serta jumlah data yang lebih sedikit.

Distribusi sentimen hasil prediksi menunjukkan bahwa ulasan negatif masih mendominasi (sekitar 45%) dibandingkan positif dan netral, menandakan bahwa masih terdapat persoalan teknis signifikan pada aplikasi Mobile JKN, terutama pada aspek login, verifikasi, dan stabilitas aplikasi.

Visualisasi wordcloud dan distribusi sentimen memperkuat interpretasi bahwa model tidak hanya mampu mengukur performa secara numerik, tetapi juga membantu mengidentifikasi fokus perbaikan layanan berdasarkan kata-kata kunci yang paling sering muncul di setiap kategori sentimen.

Untuk pengembangan ke depan, disarankan peneliti berikutnya mengeksplorasi teknik class imbalance handling, menambah fitur berbasis konteks (misalnya word embeddings), serta membandingkan performa Naïve Bayes dengan arsitektur yang lebih kompleks seperti SVM atau model berbasis transformer pada korpus ulasan Mobile JKN.

5. REFERENSI

- [1] D. Yuliani, "Analysis of public perception of JKN services using text mining," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2022.
- [2] R. Ramadhani, "User satisfaction analysis of digital health applications based on reviews," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2023.
- [3] E. D. Madyatmadja, B. N. Yahya, and C. Wijaya, "Contextual text analytics framework for citizen report classification: A case study using the Indonesian language," *IEEE Access*, vol. 10, 2022, doi: 10.1109/ACCESS.2022.3158940.
- [4] K. J. Tan, "Text preprocessing and algorithm selection for sentiment analysis reliability," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2023.
- [5] N. A. M. Razali *et al.*, "Opinion mining for national security: Techniques, domain applications, challenges and research opportunities," *J Big Data*, vol. 8, no. 1, 2021, doi: 10.1186/s40537-021-00536-5.
- [6] A. Gasparetto, A. Zangari, M. Marcuzzo, and A. Albarelli, "A survey on text classification: Practical perspectives on the Italian language," *PLoS One*, vol. 17, no. 7, 2022, doi: 10.1371/journal.pone.0270904.
- [7] Q. Shen, S. Han, Y. Han, and X. Chen, "User review analysis of dating apps based on text mining," *PLoS One*, vol. 18, no. 4, 2023, doi: 10.1371/journal.pone.0283896.
- [8] M. Hidayatullah, "Sentiment analysis on digital public service reviews using Naïve Bayes," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2023.
- [9] W. Utami and D. Kurniawan, "Evaluation of PeduliLindungi application reviews using Naïve Bayes," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2022.
- [10] S. A. Rizky and L. Sulastri, "Sentiment analysis on digital health service applications," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2021.
- [11] E. S. Lestari and A. Hidayat, "Sentimen pengguna aplikasi e-commerce menggunakan Naïve Bayes," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2021.
- [12] R. Nasrullah and A. Fauzi, "Sentiment analysis in digital public service evaluation," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2023.
- [13] F. Damanik, A. W. Widayanti, and C. Wiedyaningsih, "User acceptance of Mobile-JKN: Insights from the Technology Acceptance Model," *Jurnal Administrasi Kesehatan Indonesia*, vol. 12, no. 2, 2024, doi: 10.20473/jaki.v12i2.2024.206-217.
- [14] A. W. Wibowo, "The importance of stemming for Indonesian language text analysis," *Jurnal/Konferensi Tidak Diketahui*, 2020.
- [15] H. Nabilah, P. Permatasari, A. V El-Tsana, R. P. Anggitya, and A. R. 'Aisy, "The implementation of the JKN mobile application as an effort to improve the quality of health services in Indonesia: Literature review," *Jurnal Kesehatan*, vol. 15, no. 3, 2024, doi: 10.35730/jk.v15i3.1181.
- [16] A. P. Zulfa, A. Makmun, Z. K. Novriansyah, F. Sommeng, and Dahlia, "The relationship between the use of Mobile JKN application and health services at Majene Regency Hospital," *Journal of Health Policy and Management*, vol. 10, no. 2, 2025, doi: 10.26911/thejpm.s2025.10.02.01.