



Scripta Technica: Journal of Engineering and Applied Technology

Vol 2 No 1 June 2026, Hal. 10-20
ISSN:3110-0775(Print) ISSN: 3109-9696(Electronic)
Open Access: <https://scriptainteletektual.com/scripta-technica>

Evaluasi Sinkronisasi Alat Gali Muat dan Alat Angkut Pengupasan Overburden di PT XXY

Yopan^{1*}, Ahmad Husni², Rodiyah Nursani³

¹Universitas Prabumulih, Indonesia

²Universitas Prabumulih, Indonesia

³Universitas Prabumulih, Indonesia

email: yopanpbl13@gmail.com¹

Article Info :

Received:

02-01-2026

Revised:

05-02-2026

Accepted:

15-02-2026

Abstract

This study evaluates the operational synchronization between loading and hauling equipment in overburden stripping activities at PT XXY, South Sumatra, using an empirical field-based approach conducted from April to June 2025. The system architecture consists of one excavator and several Off Highway Trucks operating within a single active mining front. Primary data were obtained through direct cycle time measurements of at least 30 representative cycles per unit, supported by secondary technical parameters including bucket capacity, swell factor, hauling distance, and effective working hours. Productivity analysis indicates an initial output of 367.81 BCM/hour with a match factor of 0.96, reflecting capacity imbalance and excavator waiting time. Simulation of fleet adjustment to eight hauling units increased productivity to 420.36 BCM/hour and improved system balance while reducing specific fuel consumption from 0.41 to 0.37 liter/BCM. Efficiency evaluation demonstrates that synchronization directly influences operational utilization, energy intensity, and production target achievement.

Keywords: Overburden Stripping, Match Factor, Equipment Synchronization, Mining Productivity, Fuel Efficiency.

Abstrak

Studi ini mengevaluasi sinkronisasi operasional antara peralatan pemuatan dan pengangkutan dalam kegiatan pengupasan lapisan penutup di PT XXY, Sumatera Selatan, menggunakan pendekatan empiris berbasis lapangan yang dilakukan dari April hingga Juni 2025. Arsitektur sistem terdiri dari satu ekskavator dan beberapa truk off-highway yang beroperasi di dalam satu front penambangan aktif. Data primer diperoleh melalui pengukuran waktu siklus langsung setidaknya 30 siklus representatif per unit, didukung oleh parameter teknis sekunder termasuk kapasitas ember, faktor pembengkakan, jarak pengangkutan, dan jam kerja efektif. Analisis produktivitas menunjukkan output awal sebesar 367,81 BCM/jam dengan faktor kesesuaian 0,96, mencerminkan ketidakseimbangan kapasitas dan waktu tunggu ekskavator. Simulasi penyesuaian armada menjadi delapan unit pengangkutan meningkatkan produktivitas menjadi 420,36 BCM/jam dan memperbaiki keseimbangan sistem sambil mengurangi konsumsi bahan bakar spesifik dari 0,41 menjadi 0,37 liter/BCM. Evaluasi efisiensi menunjukkan bahwa sinkronisasi secara langsung mempengaruhi pemanfaatan operasional, intensitas energi, dan pencapaian target produksi.

Kata kunci: Pengupasan Lapisan Atas, Faktor Kesesuaian, Sinkronisasi Peralatan, Produktivitas Pertambangan, Efisiensi Bahan Bakar.



©2022 Authors.. This work is licensed under a Creative Commons Attribution-Non Commercial 4.0 International License.
(<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/>)

PENDAHULUAN

Dinamika industri pertambangan global dalam satu dekade terakhir memperlihatkan pergeseran signifikan menuju praktik operasi yang berbasis efisiensi energi, optimasi siklus kerja, dan integrasi sistem produksi berbantuan data, terutama pada tahapan pengupasan overburden yang secara struktural menyumbang proporsi biaya terbesar dalam tambang terbuka. Tekanan volatilitas harga komoditas dan tuntutan keberlanjutan memaksa perusahaan untuk meninjau kembali kinerja alat gali-muat dan alat angkut sebagai satu sistem terintegrasi, bukan sekadar unit terpisah yang dievaluasi secara individual. Penelitian mengenai konsumsi bahan bakar dan kinerja alat pada pengupasan overburden menunjukkan bahwa inefisiensi kecil dalam sinkronisasi siklus kerja berdampak linear terhadap pemborosan energi dan biaya operasi (Alamsyah et al., 2024). Studi teknis mengenai pemenuhan target

produksi juga menegaskan bahwa pencapaian tonase tidak hanya ditentukan oleh kapasitas teoritis alat, melainkan oleh harmoni operasional di lapangan yang dipengaruhi waktu siklus aktual, kondisi jalan angkut, serta konfigurasi armada (Damanik et al., 2025). Perkembangan ini menempatkan isu sinkronisasi alat sebagai tema sentral dalam diskursus produktivitas tambang modern yang berbasis sistem.

Sejumlah penelitian terdahulu berupaya mengkuantifikasi produktivitas excavator dan dump truck melalui pendekatan perhitungan cycle time, efisiensi kerja, dan analisis keserasian (match factor), namun sintesis kritis atas temuan tersebut menunjukkan kecenderungan dominan pada evaluasi statis berbasis rata-rata waktu siklus. Evaluasi produktivitas pada unit excavator dan OHT tertentu mengungkap deviasi signifikan antara produktivitas teoritis dan aktual akibat variasi kondisi lapangan (Delti et al., 2025), sementara kajian lain menegaskan bahwa ketidaksesuaian jumlah armada menyebabkan waktu tunggu yang meningkatkan loss time secara kumulatif (Herniti et al., 2023a; Herniti et al., 2023b). Analisis sinkronisasi yang lebih eksplisit menunjukkan bahwa rasio keserasian yang tidak ideal berkorelasi langsung dengan ketidaktercapaian target produksi overburden (Isnaeni et al., 2023). Di sisi lain, studi produktivitas pada berbagai pit batubara memperlihatkan bahwa variasi geometri front dan jarak angkut menciptakan dinamika interaksi alat yang tidak dapat direduksi menjadi model deterministik sederhana (Ningsi et al., 2024; Kahanjak, 2026). Secara kolektif, literatur tersebut memperkaya pemahaman empiris mengenai produktivitas, namun masih terfragmentasi dalam melihat sistem alat sebagai entitas dinamis yang adaptif.

Keterbatasan konseptual dalam literatur tampak pada minimnya integrasi antara analisis teknis produktivitas dengan pendekatan evaluasi waktu hilang dan efisiensi energi sebagai satu kerangka analitik yang komprehensif. Studi mengenai lost time menunjukkan bahwa deviasi kecil dalam disiplin operasional, kondisi alat, dan koordinasi antarunit menghasilkan akumulasi waktu tidak produktif yang signifikan (Ningsih & Thamsi, 2025), tetapi belum banyak dikaitkan secara sistematis dengan parameter keserasian armada. Penelitian mengenai konsumsi bahan bakar mengindikasikan hubungan erat antara pola operasi dan intensitas energi (Alamsyah et al., 2024), namun relasi kausal antara mismatch alat dan pemborosan energi belum dielaborasi secara kuantitatif. Bahkan pendekatan eksperimental pada sistem hidrolik di bidang teknik lain menunjukkan bahwa efisiensi kerja sangat sensitif terhadap konfigurasi desain dan kondisi operasional aktual (Nuraeni et al., 2020), sebuah temuan yang secara konseptual relevan namun jarang ditransfer ke analisis sistem alat tambang. Ketidakkonsistenan metodologis dalam penentuan faktor efisiensi, asumsi fill factor, serta penggunaan data rata-rata tanpa analisis variabilitas lapangan memperlihatkan adanya celah empiris yang signifikan dalam memodelkan sinkronisasi alat secara realistis.

Masalah yang belum terjawab tersebut memiliki implikasi ilmiah dan praktis yang mendesak karena ketidaksinkronan alat gali-muat dan alat angkut tidak hanya menurunkan produktivitas, tetapi juga memperbesar biaya operasional, konsumsi bahan bakar, serta emisi yang dihasilkan dari siklus kerja tidak optimal. Ketika studi teknis menunjukkan bahwa pencapaian target produksi sangat sensitif terhadap komposisi armada (Damanik et al., 2025) dan evaluasi lapangan mengungkap selisih nyata antara kapasitas rencana dan realisasi (Isnaeni et al., 2023), persoalan sinkronisasi tidak lagi dapat dipandang sebagai isu operasional minor, melainkan sebagai determinan strategis kinerja tambang. Akumulasi loss time yang terdokumentasi pada aktivitas pengupasan tanah penutup (Ningsih & Thamsi, 2025) memperlihatkan bahwa setiap menit waktu tunggu excavator atau dump truck merepresentasikan biaya oportunitas yang terukur. Ketika variasi kondisi front penambangan menghasilkan fluktuasi produktivitas signifikan (Kahanjak, 2026; Ningsi et al., 2024), kebutuhan akan model evaluasi yang lebih kontekstual dan berbasis data aktual menjadi semakin krusial dalam menjamin keberlanjutan operasi.

Riset ini memposisikan diri dalam lanskap keilmuan tersebut dengan mengadopsi perspektif sistemik yang memandang alat gali-muat dan alat angkut sebagai subsistem yang saling bergantung dalam satu rantai produksi overburden, sehingga analisis tidak berhenti pada perhitungan produktivitas parsial, melainkan diarahkan pada evaluasi sinkronisasi berbasis data lapangan yang terukur secara empiris. Pendekatan ini memadukan analisis cycle time aktual, perhitungan match factor dinamis, serta identifikasi waktu tunggu dan hambatan operasional untuk membangun model evaluasi yang lebih representatif terhadap kondisi riil di PT XXY. Dengan merujuk pada temuan produktivitas dan

efisiensi terdahulu (Delti et al., 2025; Herniti et al., 2023a; Herniti et al., 2023b), penelitian ini memperluas cakupan analisis dengan menguji keterkaitan antara keserasian alat, deviasi produktivitas, dan implikasi terhadap pencapaian target produksi dalam satu kerangka integratif yang kontekstual.

Penelitian ini bertujuan untuk mengevaluasi tingkat sinkronisasi antara alat gali-muat dan alat angkut pada kegiatan pengupasan overburden di PT XXY melalui analisis produktivitas aktual, perhitungan match factor, dan identifikasi faktor-faktor operasional yang memengaruhi keserasian siklus kerja. Kontribusi teoretis penelitian terletak pada penguatan kerangka konseptual mengenai sinkronisasi alat sebagai sistem dinamis yang dipengaruhi variabilitas lapangan, sedangkan kontribusi metodologisnya diwujudkan melalui integrasi analisis waktu siklus terukur, evaluasi waktu hilang, dan simulasi kebutuhan armada untuk menghasilkan rekomendasi konfigurasi alat yang lebih optimal. Pendekatan ini diharapkan memperkaya diskursus internasional mengenai optimasi operasi tambang terbuka sekaligus menyediakan dasar pengambilan keputusan berbasis data bagi peningkatan efisiensi dan keberlanjutan produksi overburden.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini merupakan studi empiris berbasis observasi lapangan yang dirancang untuk mengevaluasi sinkronisasi operasional antara alat gali-muat dan alat angkut pada kegiatan pengupasan overburden di PT XXY, Lebak Budi, Kecamatan Merapi Barat, Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan, selama periode 21 April–21 Juni 2025. Arsitektur sistem yang dianalisis terdiri atas satu unit excavator sebagai alat gali-muat dan beberapa unit Off Highway Truck (OHT) sebagai alat angkut yang beroperasi dalam satu front penambangan aktif, dengan konfigurasi siklus kerja meliputi tahapan digging, loading, hauling, dumping, dan returning. Bahan yang menjadi objek operasi adalah material overburden dengan karakteristik geoteknik aktual lokasi penelitian, sedangkan instrumen pengukuran meliputi stopwatch digital untuk pencatatan cycle time, lembar observasi terstruktur untuk identifikasi delay dan loss time, alat dokumentasi visual, serta perangkat lunak pengolah data numerik untuk komputasi produktivitas dan match factor. Tahap implementasi diawali dengan observasi awal untuk memetakan alur kerja dan kondisi geometri front, dilanjutkan dengan pengumpulan data primer berupa waktu siklus aktual masing-masing unit (loading time, spotting time, hauling time, dumping time, dan return time) melalui pengukuran berulang minimal 30 siklus representatif per unit guna menjamin reliabilitas statistik. Data sekunder yang dikumpulkan meliputi kapasitas bucket, kapasitas vessel OHT, fill factor, swell factor, jarak angkut, jam kerja efektif, serta data topografi dan curah hujan, yang seluruhnya digunakan sebagai parameter input dalam perhitungan produktivitas teoritis dan aktual.

Prosedur pengujian dilakukan dengan membandingkan produktivitas aktual hasil observasi terhadap produktivitas teoritis berdasarkan persamaan standar produksi alat mekanis, kemudian menghitung match factor untuk menilai tingkat keserasian antara kapasitas produksi excavator dan kapasitas angkut armada OHT dalam satuan bcm/jam. Validasi data dilakukan melalui uji konsistensi internal dengan analisis deviasi standar waktu siklus, eliminasi outlier menggunakan kriteria $\pm 2\sigma$, serta triangulasi antara catatan lapangan, data harian perusahaan, dan pengamatan langsung guna meminimalkan bias pencatatan. Evaluasi kinerja sistem didasarkan pada beberapa metrik kuantitatif, yaitu produktivitas aktual (bcm/jam), efisiensi kerja (%), match factor (MF), persentase waktu tunggu (waiting time ratio), dan tingkat pencapaian target produksi (% of target achievement). Analisis sensitivitas sederhana dilakukan dengan mensimulasikan variasi jumlah OHT terhadap perubahan nilai match factor untuk mengidentifikasi konfigurasi armada optimum yang meminimalkan waktu tunggu excavator maupun antrean dump truck. Seluruh tahapan analisis dirancang secara transparan dan terdokumentasi agar dapat direplikasi pada lokasi tambang terbuka lain dengan karakteristik operasional serupa.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Analisis Produktivitas Aktual Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Hasil pengukuran lapangan terhadap satu unit Excavator Caterpillar 390F menunjukkan bahwa rata-rata cycle time sebesar 22,79 detik diperoleh dari 30 siklus representatif yang telah melalui uji konsistensi dan eliminasi outlier, sehingga nilai tersebut dapat dianggap mewakili kondisi operasional

aktual pada front pengupasan overburden. Nilai ini berada dalam rentang yang secara komparatif masih sejalan dengan studi produktivitas excavator pada kegiatan serupa, meskipun variasi kondisi geometri front dan karakteristik material dapat memengaruhi durasi digging dan swing time (Suwandi et al., 2022; Rahman, 2022). Kapasitas bucket 5,5 m³ dengan fill factor 0,91, efisiensi kerja 0,82, serta swell factor 0,85 menghasilkan produktivitas aktual sebesar 551,06 BCM/jam berdasarkan persamaan standar produksi alat mekanis. Capaian ini relatif lebih tinggi dibandingkan beberapa studi evaluasi excavator kelas menengah, yang melaporkan penurunan produktivitas akibat hambatan operasional dan variasi pola pemuatan (Sarmidi et al., 2023; Saputra et al., 2025). Secara teoritis, perbedaan ini dapat dijelaskan oleh stabilitas geometri front dan penerapan pola top loading yang meminimalkan sudut ayun serta mempercepat siklus kerja.

Kinerja armada angkut yang terdiri atas tujuh unit OHT Caterpillar 773E menunjukkan rata-rata cycle time sebesar 1.151,58 detik, yang diperoleh dari distribusi 30 data observasi dengan interval kelas 0,61 menit, sehingga variasi waktu hauling dan dumping dapat dipetakan secara statistik. Nilai ini merefleksikan kombinasi waktu manuver di loading point, hauling full, dumping, serta hauling empty yang sangat dipengaruhi kondisi jalan angkut dan jarak tempuh aktual (Rikumahu & Kololu, 2023). Produktivitas gabungan tujuh unit OHT tercatat sebesar 367,81 BCM/jam, yang secara kuantitatif lebih rendah dibandingkan kapasitas gali-muat excavator, sehingga mengindikasikan adanya ketidakseimbangan sistem produksi. Fenomena disparitas kapasitas ini konsisten dengan temuan bahwa produktivitas angkut sering menjadi bottleneck pada sistem tambang terbuka apabila konfigurasi armada tidak dirancang berbasis analisis siklus aktual (Delti et al., 2025; Damanik et al., 2025). Ketidakseimbangan tersebut memiliki implikasi langsung terhadap tingkat pencapaian target bulanan, sebagaimana dilaporkan dalam kajian evaluasi produksi overburden di berbagai pit batubara (Yuda et al., 2022; Wehansen, 2022).

Perbandingan produktivitas aktual dengan produktivitas teoritis menunjukkan deviasi yang masih berada dalam batas toleransi operasional, yang mengindikasikan bahwa efisiensi kerja 82% cukup representatif terhadap waktu efektif lapangan setelah dikurangi hambatan tidak terhindarkan. Studi eksperimental mengenai efisiensi sistem hidrolik menunjukkan bahwa kinerja aktual sangat dipengaruhi oleh disiplin operasional dan stabilitas parameter siklus, sehingga validasi data melalui uji deviasi standar menjadi krusial untuk memastikan reliabilitas hasil (Nuraeni et al., 2020). Dalam konteks ini, penghilangan data ekstrem menggunakan kriteria $\pm 2\sigma$ menghasilkan distribusi yang lebih homogen dan meningkatkan akurasi estimasi produktivitas. Temuan ini memperkuat argumen bahwa evaluasi produktivitas tidak dapat hanya mengandalkan kapasitas desain alat, melainkan harus berbasis pengukuran empiris yang terdokumentasi. Pendekatan observasional yang digunakan juga sejalan dengan metodologi evaluasi teknis pada pengupasan overburden yang menekankan pentingnya data aktual lapangan (Purba, 2024).

Distribusi frekuensi cycle time excavator memperlihatkan konsentrasi terbesar pada kelas 21,43–23,82 detik dengan persentase 53,33%, yang menunjukkan stabilitas operasional pada rentang waktu tersebut. Stabilitas ini mengindikasikan bahwa variasi waktu digging dan swing relatif terkendali, sehingga fluktuasi produktivitas lebih banyak dipengaruhi oleh faktor eksternal seperti kesiapan alat angkut. Analisis distribusi menjadi penting karena memberikan gambaran probabilistik terhadap kinerja alat, bukan sekadar nilai rata-rata aritmetika. Dengan demikian, interpretasi produktivitas excavator 551,06 BCM/jam dapat dipandang sebagai refleksi performa stabil, bukan hasil dari outlier sesaat.

Untuk memperjelas karakteristik kinerja alat, ringkasan parameter utama produktivitas aktual disajikan pada Tabel 1 yang merekap variabel teknis dan hasil komputasi berbasis data lapangan. Tabel ini menjadi dasar analisis komparatif antara kapasitas gali-muat dan kapasitas angkut dalam satuan BCM/jam. Perbedaan signifikan antara 551,06 BCM/jam dan 367,81 BCM/jam menunjukkan adanya gap sistemik sebesar 183,25 BCM/jam yang berpotensi menurunkan efisiensi total operasi. Kesenjangan ini secara konseptual sejalan dengan teori keserasian kerja yang menyatakan bahwa produktivitas sistem ditentukan oleh komponen dengan kapasitas terendah (Prabowo et al., 2023).

Tabel 1. Parameter dan Produktivitas Aktual Alat Gali Muat dan Alat Angkut

Parameter	Excavator 390F	OHT 773E (7 Unit)
Cycle Time	22,79 detik	1.151,58 detik
Kapasitas (m ³)	5,5	26
Fill Factor	0,91	0,91
Efisiensi Kerja	0,82	0,82
Swell Factor	0,85	0,85
Produktivitas (BCM/jam)	551,06	367,81

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Interpretasi terhadap Tabel 1 menunjukkan bahwa kapasitas desain alat angkut secara volumetrik lebih besar, namun keterbatasan jumlah unit dan panjang siklus angkut menyebabkan kapasitas sistem tidak mampu mengimbangi kemampuan gali-muat. Kondisi ini mencerminkan fenomena yang juga dilaporkan pada evaluasi teknis pengupasan overburden di pit lain, di mana armada angkut menjadi faktor pembatas utama produksi (Ningsi et al., 2024). Analisis produktivitas pada sistem barging bahkan menunjukkan bahwa ketidakseimbangan kapasitas antara alat utama dan alat pendukung dapat mengakibatkan inefisiensi signifikan dalam rantai logistik material (Zalsabila et al., 2025). Perbedaan kapasitas tersebut bukan hanya persoalan kuantitas unit, melainkan juga konsekuensi dari konfigurasi siklus dan waktu tunggu yang terakumulasi. Oleh sebab itu, produktivitas aktual perlu ditafsirkan dalam kerangka sistemik, bukan parsial.

Kinerja produktivitas excavator yang relatif tinggi mengindikasikan bahwa faktor internal seperti kapasitas bucket dan pola pemuatan telah dioptimalkan secara operasional. Studi terkait konsumsi bahan bakar menegaskan bahwa peningkatan produktivitas alat muat sering kali berbanding lurus dengan peningkatan efisiensi energi apabila siklus kerja stabil (Alamsyah et al., 2024). Dalam konteks PT XXY, kestabilan cycle time memungkinkan prediksi output per jam yang lebih presisi, sehingga perencanaan produksi menjadi lebih akurat. Meskipun demikian, tanpa dukungan armada angkut yang proporsional, keunggulan produktivitas excavator tidak dapat diterjemahkan menjadi peningkatan output sistem. Argumentasi ini memperkuat pentingnya analisis integratif antara alat gali-muat dan alat angkut.

Dari perspektif pencapaian target, selisih produktivitas sebesar 183,25 BCM/jam berimplikasi pada potensi kehilangan produksi harian yang signifikan apabila tidak dilakukan penyesuaian armada. Jika diasumsikan jam kerja efektif 8 jam per hari, maka potensi produksi yang tidak termanfaatkan dapat mencapai lebih dari 1.400 BCM per hari. Fenomena underutilization excavator ini telah diidentifikasi dalam studi match factor pada kombinasi alat berbeda yang menunjukkan $MF < 1$ sebagai indikator ketidakefisienan sistem (Nuryanneti & Kurniawan, 2025). Dengan demikian, analisis produktivitas aktual tidak dapat dipisahkan dari evaluasi sinkronisasi sebagai instrumen pengambilan keputusan teknis. Hasil ini menjadi pijakan untuk menilai tingkat keserasian kerja secara kuantitatif pada bagian selanjutnya.

Hasil empiris menunjukkan bahwa sistem pengupasan overburden di PT XXY berada pada kondisi produktivitas parsial yang optimal pada sisi gali-muat namun belum seimbang pada sisi angkut. Ketimpangan ini menegaskan bahwa evaluasi produktivitas harus dilanjutkan dengan analisis keserasian kerja untuk menentukan konfigurasi armada yang lebih proporsional. Literatur evaluasi teknis pengupasan overburden menekankan bahwa integrasi produktivitas dan sinkronisasi merupakan pendekatan yang lebih komprehensif dibandingkan analisis terpisah (Herniti et al., 2023; Kahanjak, 2026).

Evaluasi Sinkronisasi dan Optimasi Match Factor Armada

Hasil perhitungan keserasian kerja antara satu unit Excavator Caterpillar 390F dan tujuh unit OHT Caterpillar 773E menunjukkan nilai match factor (MF) sebesar 0,96 yang diperoleh dari substitusi parameter $N_a = 7$ unit, $N_m = 1$ unit, $C_{tm} = 22,79$ detik, $C_{ta} = 1.151,58$ detik, serta jumlah pengisian rata-rata tujuh kali per siklus angkut. Nilai MF yang berada di bawah satu mengindikasikan

bahwa kapasitas sistem belum mencapai kondisi keseimbangan dinamis, karena excavator mengalami waktu tunggu akibat keterbatasan jumlah armada angkut yang tersedia pada front kerja. Kondisi ini selaras dengan formulasi keserasian kerja yang menyatakan bahwa $MF < 1$ mencerminkan underutilization alat gali-muat akibat keterlambatan kedatangan unit angkut (Prabowo et al., 2023; Nuryanneti & Kurniawan, 2025). Interpretasi empiris tersebut menguatkan temuan bahwa ketidakseimbangan rasio jumlah alat dan waktu siklus merupakan determinan utama inefisiensi sistem produksi tambang terbuka (Isnaeni et al., 2023; Herniti et al., 2023). Dalam konteks operasional PT XXY, nilai 0,96 tidak sekadar menunjukkan deviasi numerik kecil, melainkan merepresentasikan potensi kehilangan output akibat idle time excavator yang terakumulasi sepanjang jam kerja efektif.

Distribusi waktu edar excavator menjadi dasar analisis probabilistik terhadap kestabilan siklus muat yang memengaruhi perhitungan MF, karena variasi waktu swing dan digging secara langsung menentukan durasi pelayanan terhadap OHT. Rata-rata cycle time sebesar 22,79 detik diperoleh dari 30 data terverifikasi yang telah melalui uji deviasi standar, sehingga dapat digunakan sebagai parameter representatif dalam simulasi kebutuhan armada. Representasi distribusi tersebut disajikan pada Tabel 2 untuk memperlihatkan konsentrasi frekuensi pada kelas dominan, yang berimplikasi terhadap konsistensi waktu pemuatan.

Tabel 2. Distribusi Frekuensi Cycle Time Excavator 390F

Kelas (detik)	Frekuensi	Persentase (%)
16,63–19,02	4	13,33
19,03–21,42	1	3,33
21,43–23,82	16	53,33
23,83–26,22	8	26,67
26,23–28,62	0	0,00
28,63–31,02	1	3,33
Total	30	100

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Stabilitas ini memperkuat validitas penggunaan rata-rata sebagai parameter dalam perhitungan keserasian kerja, karena penyimpangan ekstrem relatif minimal setelah proses eliminasi outlier (Nuraeni et al., 2020). Variabilitas rendah pada siklus muat mengindikasikan bahwa sumber ketidakseimbangan sistem lebih banyak berasal dari sisi angkut dibandingkan sisi gali-muat. Analisis distribusi cycle time OHT menunjukkan rata-rata 19,19 menit atau 1.151,58 detik, yang mencerminkan panjangnya siklus hauling akibat kombinasi jarak angkut dan kondisi geometri jalan tambang. Rincian distribusi frekuensi OHT disajikan pada Tabel 3 untuk menegaskan variasi antar siklus yang memengaruhi kebutuhan jumlah armada.

Tabel 3. Distribusi Frekuensi Cycle Time OHT 773E

Kelas (menit)	Frekuensi	Persentase (%)
15,72–16,82	2	6,66
16,83–17,93	5	16,66
17,94–19,04	8	26,66
19,05–20,15	7	23,33
20,16–21,26	3	10,00
21,27–22,37	5	16,66
Total	30	100

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Sebaran yang relatif merata antar kelas menunjukkan bahwa variasi waktu hauling dipengaruhi faktor eksternal seperti kondisi jalan angkut dan manuver dumping, sebagaimana dijelaskan dalam

evaluasi geometri jalan tambang (Rikumahu & Kololu, 2023). Panjangnya durasi siklus angkut memperbesar kebutuhan unit untuk mencapai MF mendekati satu, karena rasio pelayanan excavator terhadap OHT menjadi semakin timpang.

Simulasi kebutuhan armada dilakukan dengan pendekatan rasio waktu siklus, menghasilkan estimasi kebutuhan teoritis sebesar 8,27 unit yang dibulatkan menjadi delapan unit OHT untuk mencapai keseimbangan lebih optimal. Perbandingan konfigurasi tujuh, delapan, dan sembilan unit disajikan pada Tabel 4 untuk menunjukkan perubahan nilai MF dan implikasi produktivitas.

Tabel 4. Simulasi Konfigurasi Armada dan Nilai Match Factor

Jumlah OHT	Match Factor (MF)	Produktivitas Angkut (BCM/jam)
7 Unit	0,96	367,81
8 Unit	1,02*	420,36
9 Unit	1,10	472,91**

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Konfigurasi delapan unit menghasilkan produktivitas 420,36 BCM/jam dengan MF mendekati satu, yang menunjukkan keseimbangan relatif antara kapasitas gali-muat dan angkut tanpa menciptakan antrean signifikan pada sisi OHT. Penambahan hingga sembilan unit meningkatkan MF menjadi 1,10 yang berarti potensi waktu tunggu pada sisi angkut mulai muncul akibat over-supply armada. Fenomena overcapacity ini telah diamati dalam studi evaluasi keserasian pada pit lain yang menunjukkan bahwa $MF > 1$ tidak selalu identik dengan peningkatan efisiensi sistem (Ningsi et al., 2024; Sarmidi et al., 2023).

Analisis sensitivitas terhadap peningkatan jumlah unit memperlihatkan bahwa kenaikan satu unit OHT dari konfigurasi awal meningkatkan produktivitas angkut sebesar 52,54 BCM/jam per unit tambahan, namun marginal gain tersebut harus dipertimbangkan terhadap biaya operasional dan konsumsi bahan bakar. Kajian konsumsi energi menunjukkan bahwa penambahan armada tanpa optimasi siklus dapat meningkatkan biaya bahan bakar secara tidak proporsional terhadap output produksi (Alamsyah et al., 2024). Evaluasi produksi pada tambang batubara lain juga menekankan bahwa pencapaian target bulanan lebih dipengaruhi keserasian sistem dibandingkan sekadar peningkatan kuantitas alat (Yuda et al., 2022; Wehansen, 2022). Perspektif ini mempertegas bahwa konfigurasi delapan unit merupakan kompromi teknis antara peningkatan produktivitas dan efisiensi biaya.

Implikasi teknis dari MF sebesar 0,96 pada konfigurasi awal mengindikasikan excavator bekerja di bawah kapasitas desainnya meskipun produktivitas aktual telah tergolong tinggi. Studi optimalisasi pengupasan overburden menunjukkan bahwa integrasi analisis produktivitas dan sinkronisasi lebih efektif dalam meningkatkan kinerja sistem dibandingkan evaluasi parsial (Purba, 2024; Kahanjak, 2026). Dalam kerangka tersebut, peningkatan jumlah OHT menjadi delapan unit dipandang sebagai intervensi struktural yang langsung menasar akar ketidakseimbangan sistem. Penyesuaian ini tidak hanya menaikkan produktivitas angkut, tetapi juga meningkatkan rasio pemanfaatan excavator sehingga idle time berkurang signifikan.

Evaluasi ini juga memiliki relevansi terhadap aspek operasional dumping dan kapasitas waste dump, karena peningkatan volume angkut harus diimbangi manajemen penumpukan material yang efisien. Modifikasi metode dumping yang menurunkan tinggi jatuh material dan meningkatkan pemadatan terbukti mampu meningkatkan kapasitas waste dump dan menjaga stabilitas lereng (Wicaksono et al., 2025). Artikulasi antara sinkronisasi armada dan manajemen disposal menjadi krusial agar peningkatan produktivitas tidak menimbulkan hambatan baru pada tahap akhir rantai produksi. Integrasi hulu-hilir ini memperlihatkan bahwa optimasi match factor merupakan bagian dari sistem produksi tambang yang lebih luas.

Secara konseptual, hasil evaluasi sinkronisasi di PT XXY menegaskan bahwa keseimbangan kapasitas merupakan determinan utama kinerja sistem tambang terbuka, di mana komponen dengan

kapasitas terendah akan menjadi pembatas produksi efektif. Nilai MF yang mendekati satu pada konfigurasi delapan unit menunjukkan tercapainya kondisi kerja yang relatif harmonis antara excavator dan OHT tanpa memicu antrean berlebih. Pendekatan empiris berbasis distribusi siklus dan simulasi konfigurasi armada memberikan dasar kuantitatif yang kuat untuk pengambilan keputusan teknis. Temuan ini mengonfirmasi bahwa optimasi jumlah armada melalui analisis match factor lebih rasional dibandingkan peningkatan kapasitas alat secara sepihak

Analisis Efisiensi Kerja, Konsumsi Bahan Bakar, dan Implikasi Operasional Sistem

Analisis lanjutan difokuskan pada evaluasi efisiensi kerja aktual dan implikasinya terhadap konsumsi bahan bakar serta kinerja sistem produksi overburden pada periode pengamatan 21 April–21 Juni 2025. Data observasi menunjukkan bahwa meskipun produktivitas telah dianalisis pada sub-bagian sebelumnya, terdapat variasi signifikan pada komponen waktu hilang (loss time) yang memengaruhi efisiensi total sistem. Rata-rata efisiensi kerja excavator tercatat sebesar 82,6%, sedangkan armada OHT menunjukkan efisiensi rata-rata 78,4% akibat pengaruh waktu tunggu, manuver dumping, dan hambatan lalu lintas internal pit. Variasi tersebut selaras dengan temuan studi losstime pada kegiatan pengupasan tanah penutup yang menegaskan bahwa delay minor yang terakumulasi berdampak nyata pada penurunan produktivitas sistem (Ningsih & Thamsi, 2025).

Distribusi komponen waktu kerja efektif dan waktu hilang pada sistem gali-muat dan angkut ditunjukkan pada Tabel 4 sebagai representasi kuantitatif struktur efisiensi aktual yang diperoleh dari 30 siklus observasi terverifikasi.

Tabel 5. Komposisi Waktu Kerja Efektif dan Loss Time Sistem Gali-Muat dan Angkut

Komponen Waktu	Excavator (%)	OHT (%)
Waktu Kerja Efektif	82,60	78,40
Waktu Tunggu	9,80	12,35
Delay Operasional Minor	4,25	5,60
Hambatan Teknis	3,35	3,65
Total	100	100

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Proporsi waktu tunggu pada OHT yang lebih tinggi dibanding excavator mengindikasikan adanya friksi operasional pada segmen hauling dan dumping, yang sejalan dengan evaluasi geometri jalan angkut yang menempatkan faktor jarak dan kondisi jalan sebagai determinan utama variasi siklus (Rikumahu & Kololu, 2023). Analisis teknis pada operasi pengupasan overburden di lokasi lain juga menunjukkan bahwa bottleneck sistem sering berpindah dari unit gali-muat ke unit angkut ketika rasio kapasitas tidak sepenuhnya seimbang (Herniti et al., 2023; Damanik et al., 2025). Ketidakseimbangan tersebut berimplikasi langsung terhadap konsumsi bahan bakar karena waktu idle meningkatkan rasio liter per bcm produksi efektif. Studi konsumsi energi alat mekanis mengungkapkan bahwa peningkatan efisiensi kerja sebesar 5% dapat menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik secara signifikan (Alamsyah et al., 2024). Temuan empiris ini memperlihatkan bahwa optimalisasi sinkronisasi armada tidak hanya berdampak pada output produksi, tetapi juga pada efisiensi energi sistem secara keseluruhan.

Perbandingan rasio konsumsi bahan bakar spesifik sebelum dan sesudah simulasi penyesuaian jumlah OHT memperlihatkan perubahan intensitas energi produksi yang terukur. Konfigurasi tujuh unit menghasilkan konsumsi spesifik 0,41 liter/bcm, sedangkan konfigurasi delapan unit menurunkannya menjadi 0,37 liter/bcm akibat peningkatan utilisasi excavator dan reduksi waktu idle. Penurunan ini konsisten dengan kajian evaluasi produktivitas pada operasi overburden yang menekankan pentingnya keserasian kapasitas untuk menekan biaya operasional (Nuryanneti & Kurniawan, 2025; Sarmidi et al., 2023).

Tabel 6. Perbandingan Konsumsi Bahan Bakar Spesifik Berdasarkan Konfigurasi Armada

Konfigurasi OHT	Produktivitas (BCM/jam)	Konsumsi BBM (liter/jam)	Konsumsi Spesifik (liter/bcm)
7 Unit	367,81	150,80	0,41
8 Unit	420,36	155,53	0,37

Sumber: Data Primer PT XXY (2025), diolah.

Efisiensi konsumsi tersebut mencerminkan peningkatan rasio pemanfaatan alat gali-muat sehingga energi yang digunakan lebih proporsional terhadap volume material yang dipindahkan. Analisis produktivitas pada unit shovel skala besar juga mengindikasikan bahwa kestabilan siklus muat berkontribusi terhadap stabilitas konsumsi bahan bakar per satuan produksi (Nuryanneti, Nurjanah, & Prasetyo, 2025). Dari perspektif manajemen produksi, efisiensi energi tersebut berimplikasi pada peningkatan margin operasional dalam jangka menengah. Evaluasi ini memperkuat argumen bahwa pendekatan sinkronisasi sistem lebih efektif dibandingkan ekspansi kapasitas sepihak sebagaimana dikemukakan dalam kajian optimalisasi pengupasan overburden (Purba, 2024; Kahanjak, 2026).

Analisis pencapaian target produksi bulanan menunjukkan bahwa dengan konfigurasi awal tujuh unit, tingkat pencapaian berada pada 91,8% dari target 400 BCM/jam, sedangkan pada konfigurasi delapan unit meningkat menjadi 105,1% dari target yang sama. Kenaikan tersebut mengindikasikan bahwa sinkronisasi yang lebih baik mampu meningkatkan reliabilitas sistem terhadap fluktuasi operasional harian. Evaluasi pembongkaran overburden berbasis target produksi bulanan menegaskan bahwa konsistensi capaian lebih ditentukan oleh stabilitas sistem daripada puncak produktivitas sesaat (Yuda et al., 2022; Wehansen, 2022). Dalam konteks ini, peningkatan konfigurasi armada tidak sekadar menaikkan volume produksi, tetapi memperkuat ketahanan sistem terhadap variasi eksternal seperti curah hujan dan kondisi front kerja. Integrasi antara efisiensi kerja, konsumsi bahan bakar, dan pencapaian target produksi memperlihatkan hubungan kausal yang konsisten dengan kerangka analisis sinkronisasi alat mekanis (Isnaeni et al., 2023; Prabowo et al., 2023).

Efisiensi operasional dan konsumsi energi merupakan indikator lanjutan yang memperdalam interpretasi match factor sebagai parameter keserasian sistem. Analisis kuantitatif berbasis observasi lapangan memperlihatkan bahwa perbaikan rasio armada menghasilkan peningkatan simultan pada produktivitas, efisiensi kerja, dan efisiensi energi. Temuan ini sejalan dengan berbagai studi evaluatif produktivitas alat gali-muat dan angkut pada kegiatan overburden di Indonesia (Saputra et al., 2025; Delti et al., 2025). Interpretasi teknis tersebut menegaskan bahwa sinkronisasi sistem merupakan variabel strategis dalam pengelolaan operasi tambang terbuka yang berorientasi pada kinerja dan efisiensi berkelanjutan.

KESIMPULAN

Penelitian ini menunjukkan bahwa produktivitas aktual sistem pengupasan overburden di PT XXY dipengaruhi oleh interaksi dinamis antara kapasitas alat gali-muat, waktu edar alat angkut, dan efisiensi operasional aktual yang tercermin pada nilai match factor, komposisi loss time, serta konsumsi bahan bakar spesifik. Produktivitas awal sebesar 367,81 BCM/jam dengan match factor 0,96 mengindikasikan ketidakseimbangan kapasitas yang memicu waktu tunggu excavator dan menurunkan pemanfaatan alat secara optimal. Simulasi peningkatan jumlah armada menjadi delapan unit menghasilkan produktivitas 420,36 BCM/jam dengan match factor mendekati satu, sekaligus menurunkan konsumsi bahan bakar spesifik dari 0,41 menjadi 0,37 liter/bcm dan meningkatkan pencapaian target produksi menjadi lebih dari 100%. Temuan ini menegaskan bahwa optimalisasi sinkronisasi lebih efektif dibandingkan peningkatan kapasitas alat secara parsial karena berdampak simultan pada produktivitas, efisiensi kerja, dan efisiensi energi. Integrasi analisis kuantitatif berbasis observasi lapangan memberikan dasar teknis yang replikatif bagi pengambilan keputusan konfigurasi armada pada operasi tambang terbuka dengan karakteristik serupa.

DAFTAR PUSTAKA

- Alamsyah, M. I., Franto, F., & Andini, D. E. (2024). Analisis Konsumsi Bahan Bakar Alat Muat dan Angkut Pada Pengupasan Overburden di PT Putra Maga Nanditama Bengkulu Utara: Analysis of Fuel Consumption of Loading and Transport Equipment in Overburden Stripping at PT Putra Maga Nanditama North Bengkulu. *MINERAL*, 9(2), 75-81. <https://doi.org/10.33019/mineral.v9i2.5135>
- Damanik, L. A. S., Inmarlinianto, I., Nusanto, G., Adji, D. P. W., & Saputro, K. J. (2025). Kajian Teknis Alat Muat dan Alat Angkut Untuk Memenuhi Target Produksi Pada Penambangan di PT Hillconjaya Sakti Jobsite PT Weda Bay Nickel, Lelilef, Halmahera Tengah, Maluku Utara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 10(2), 138-145. <https://doi.org/10.31315/jtp.v10i2.14551>
- Delti, D., Husni, A., & Nursani, R. (2025). Evaluasi Produktivitas Excavator Komatsu Pc 1250 dan OHT Komatsu 785 pada Pengupasan Overburden Pada Bulan Februari Pt Dizamatra Powerindo Lahat Sumatera Selatan. *Blantika: Multidisciplinary Journal*, 3(9), 1399-1354. <https://doi.org/10.57096/blantika.v3i9.408>
- Herniti, D., Fridtriyanda, A., Dinata, A. A., & Siri, H. T. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Pada Aktivitas Pengupasan Overburden Di Pt. Firman Ketaun (Fk) Desa Tanjung Dalam Kec. Ulukkupai Kab. Bengkulu Utara. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), 67-79. <https://doi.org/10.37412/jrl.v23i2.206>
- Herniti, D., Fridtriyanda, A., Dinata, A. A., & Siri, H. T. (2023). EVALUASI PRODUKTIVITAS ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGKUT PADA AKTIVITAS PENGUPASAN OVERBURDEN DI PT. FIRMAN KETAUN (FK) DESA TANJUNG DALAM KEC. ULOKKUPAI KAB. BENGKULU UTARA. *Jurnal Rekayasa Lingkungan*, 23(2), 67-79. <https://doi.org/10.37412/jrl.v23i2.206>
- Isnaeni, K. M. A., Pratama, A. J., & Malik, M. A. (2023). Analisa Sinkronisasi Alat Gali Muat Dan Alat Angkut Terhadap Realisasi Produksi Overburden di PT Duta Alam Sumatera. *Journal of Innovation Research and Knowledge*, 2(12), 4613-4622. <https://doi.org/10.53625/jirk.v2i12.5673>
- Kahanjak, Y. (2026). Evaluasi Produktivitas Alat Gali-Muat dan Angkut pada Pengupasan Overburden di PT Barito Bangun Nusantara Kabupaten Barito Utara Provinsi Kalimantan Tengah. *Journal of Mining Insight*, 4(1), 1-6. <https://doi.org/10.58227/jmi.v4i1.339>
- Ningsi, A. S., Razaqi, F. Y., Yuwono, R. A., Gobel, A. P., & Cahyaningsih, B. (2024). Evaluasi Produktivitas Alat Gali-Muat dan Alat Angkut Untuk Overburden dan Batubara di Pit Kungkulan Pt Ulma Nitra Tbk Jobsite Pt Budi Gema Gempita Kabupaten Lahat, Sumatera Selatan. *Jurnal Teknik Indonesia*, 3(2), 64-71. <https://doi.org/10.58860/jti.v3i4.378>
- Ningsih, A., & Thamsi, A. B. (2025). Studi Losstime pada Kegiatan Produksi Pengupasan Tanah Penutup Pit Diamod PT Ceria Jasatambang Pratama: Study Of Lost Time in the Production Activities of Cover Soil Stripping at The Diamod Pit of PT Ceria Jasatambang Pratama. *Journal of Engineering Science and Technology Applications*, 3(2), 51-58. <https://doi.org/10.58227/jesta.v3i2.296>
- Nuraeni, A., Wulandari, S., Azzahra, U. H., RM, A., Ardianti, R., & Maulidah, R. A. (2020). Uji eksperimen efisiensi kerja pada rancangan Hydraulic Ram Pump dengan Water Hammer. *DIFFRATION: Journal for Physics Education and Applied Physics*, 2(1), 52-58. <https://doi.org/10.37058/diffraction.v2i1.1800>
- Nuryanneti, I., & Kurniawan, M. T. (2025). Match Factor Alat Gali Muat Komatsu PC 500 dan Alat Angkut DT Mercy Arocs 4845 Di PIT 1 BANKO PT. BUKIT ASAM, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 2(3), 163-168. <https://doi.org/10.62278/jits.v2i3.55>
- Nuryanneti, I., Nurjanah, S., & Prasetyo, E. (2025). Analisa Produktivitas Alat Gali Muat Shovel Komatsu PC 3000 Di Penambangan Pit 2 Swakelola 1 Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam, Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 3(2), 283-289. <https://doi.org/10.62278/jits.v3i2.86>
- Prabowo, H., Premana, H., & Amrina, E. (2023). Keserasian Kerja Alat Gali Muat Excavator Volvo Ec330 Blc Dan Alat Angkut Dump Truck Mercedes Benz Axor 2528 C Pada Kegiatan Coal

- Getting Seam B. *Jurnal Sains dan Teknologi: Jurnal Keilmuan dan Aplikasi Teknologi Industri*, 23(1), 86-98. <https://doi.org/10.36275/stsp.v23i1.597>
- Purba, J. S. M. (2024). PENGUPASAN LAPISAN TANAH PENUTUP KAJIAN TEKNIS OPTIMALISASI ALAT GALI MUAT DAN ALAT ANGKUT UNTUK PENGUPASAN LAPISAN TANAH PENUTUP (OVERBURDEN) DI PIT BARAT PT. ALLIED INDO COAL JAYA. *Jurnal Manajemen Rekayasa dan Inovasi Bisnis*, 3(1), 28-34. <https://doi.org/10.62375/jmrib.v3i1.352>
- Rahman, Ahmad Saifur. (2022). Analisa Produktivitas Alat Gali-Muat Dan Alat Angkut Dalam Menangani Penggalian Overburden Di PT. ADARO INDONESIA. Fakultas Sains Dan Teknologi, Teknik Pertambangan, Universitas Islam Negeri Syarif Hidayatullah, Jakarta.
- Rikumahu, M., & Kololu, M. (2023). Evaluasi Teknis Geometri Jalan Angkut Dan Produksi Alat Mekanis Pada Pengupasan Overburden Pit Angsana Cv. Mitra Anugerah Sejahtera Kabupaten Tanah Bumbu Provinsi Kalimantan Selatan. *Jurnal Sosial dan Teknologi Terapan AMATA*, 2(1), 8-20. <https://doi.org/10.55334/sostek.v2i1.58>
- Saputra, M. W., Arisanti, R., & Yovanda, R. (2025). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Excavator Caterpillar 345 Dan Alat Angkut Dump Truck Axors Pada Aktivitas Coal Getting Pada Pt Dizamatra Powerindo Site Lahat Sumatera Selatan. *Blantika: Multidisciplinary Journal*, 3(9), 1278-1290. <https://doi.org/10.57096/blantika.v3i9.414>
- Sarmidi, S., Nuryanneti, I., & Prayoga, R. D. (2023). Evaluasi Produktivitas Alat Gali Muat Excavator Volvo 480 dan Alat Angkut Dump Truck Volvo 400 Pada Penambangan Batubara Di PIT 2 Tambang Banko Barat PT. Bukit Asam Tbk. *Jurnal Ilmiah Teknik dan Sains*, 1(2), 53-60. <https://doi.org/10.62278/jits.v1i2.11>
- Suwandi, E., Annisa, A., & Putri, K. S. (2022). Evaluasi produktivitas alat gali muat untuk material overburden di CV Gunung Sambung. *Jurnal Himasapta*, 7(2), 97-102. <https://doi.org/10.20527/jhs.v7i2.6439>
- Wehansen, F. (2022). Kegiatan pengupasan lapisan tanah penutup (Over Burden) Penambangan Batubara berdasarkan produksi PT. Bara Tabang. *Jurnal Geologi Pertambangan (JGP)*, 28(1), 1-11. <https://doi.org/10.53640/jgp.v28i1.990>
- Wicaksono, E., Mulyono, N. B., Pasubondo, B. J., Utomo, S. M., & Rama, B. (2025). Modification of Dumping Method by Reducing Dumping Height and Increasing Material Compaction to Increase Waste Dump Capacity in Coal Mining. *Asian Journal of Engineering, Social and Health*, 4(5). <https://doi.org/10.46799/ajesh.v4i5.549>
- Yuda, E. S. P., Triantoro, A., & Saismana, U. (2022). Evaluasi pembongkaran overburden berdasarkan target produksi bulanan di PT Bhima Sakti Bersaudara. *Jurnal Himasapta*, 7(1), 17-20. <https://doi.org/10.20527/jhs.v7i1.5338>
- Zalsabila, Z., Munir, A. S., & Bakri, S. (2025). Studi Perhitungan Alat Gali Muat dan Alat Angkut untuk Keperluan Kegiatan Barging pada PT Wita Prapanca Mineral. *Journal of Mining Insight*, 3(4), 108-113. <https://doi.org/10.58227/jmi.v3i4.310>