
Analisis Produktivitas Pengupasan (*Overburden*) Pada Penambangan Batubara di PIT Tal Utara Barat PT Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan

Imam Al Fahri, Suhardiman Gumanti*, Ahmad Husni

Universitas Prabumulih, Indonesia

Email: abiatta81@gmail.com*

Abstrak:

Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis efisiensi kerja, produktivitas alat gali muat, produktivitas alat angkut, dan *Match Factor* pada kegiatan pengupasan *overburden* di Pit Tal Utara Barat, Tambang Air Laya PT Bukit Asam, Tbk. Kegiatan pengupasan *overburden* merupakan bagian penting dari operasi tambang yang memerlukan koordinasi yang baik antara alat gali muat dan alat angkut untuk mencapai efisiensi dan produktivitas yang optimal. Metode penelitian yang digunakan adalah deskriptif kuantitatif melalui studi kasus, dengan melakukan pengamatan langsung terhadap operasi penambangan dan analisis data operasional dari PT Bukit Asam, Tbk yang bekerja sama dengan PT Antareja Mahada Makmur (AMM), sebagai kontraktor penambangannya. Hasil penelitian menunjukkan bahwa produktivitas excavator *Caterpillar* 395 sebesar 504,43 ton/jam, sedangkan produktivitas *Heavy Duty* 785 sebesar 49,46 ton/jam. Nilai keserasian kerja alat (*match factor*) sebesar 0,68 mengindikasikan adanya ketidakseimbangan dalam sinkronisasi kerja antara alat gali muat dan alat angkut. Untuk mencapai keserasian kerja yang optimal (*match factor* mendekati 1), Melakukan perbaikan jalan licin dan tidak rata guna memperbesar *match factor* alat gali muat dan angkut yang di gunakan pada lokasi penelitian sehingga waktu kerja alat gali muat lebih optimal.

Kata Kunci: Produktivitas, *overburden*, *cycle time*, Keserasian kerja/ *Match Factor*, Pit TAL Utara Barat, PT Bukit Asam, Tbk.

Abstract:

This study aims to analyze work efficiency, productivity of loading and unloading equipment, productivity of hauling equipment, and Match Factor in overburden stripping activities at the North West Pit Tal, Air Laya Mine of PT Bukit Asam, Tbk. Overburden stripping activities are an important part of mining operations that require good coordination between loading and unloading equipment to achieve optimal efficiency and productivity. The research method used is quantitative descriptive through case studies, by conducting direct observation of mining operations and analyzing operational data from PT Bukit Asam, Tbk in collaboration with PT Antareja Mahada Makmur (AMM), as the mining contractor. The results showed that the productivity of the Caterpillar 395 excavator was 504.43 tons/hour, while the productivity of the Heavy Duty 785 was 49.46 tons/hour. The match factor value of 0.68 indicates an imbalance in the work synchronization between the loading and unloading equipment. To achieve optimal work harmony (match factor approaching 1), repair slippery and uneven roads to increase the match factor of the loading and transporting equipment used at the research location so that the working time of the loading and transporting equipment is more optimal.

Keywords: Productivity, *overburden*, *cycle time*, work compatibility/match factor, pit TAL North West, PT Bukit Asam, Tbk.

PENDAHULUAN

PT Bukit Asam Tbk, sebagai salah satu perusahaan tambang batubara terkemuka di Indonesia, memiliki tanggung jawab besar untuk memastikan kelancaran operasi dan tingkat produktivitas dalam kegiatan penambangan (Zhang et al., 2021). Salah satu tahapan penting yang menjadi pondasi awal proses penambangan batubara adalah pengupasan lapisan tanah penutup (*overburden*) (Ristić et al., 2020). Kegiatan pengupasan *overburden* merupakan penggalian suatu lapisan tanah penutup atau batuan yang berada di atas bahan galian, agar bahan galian tersebut dapat dimanfaatkan (Anisari, 2016; Bascetin & Nieto, 2019). Oleh karena itu, efektivitas alat gali muat dan alat angkut dalam proses ini sangat mempengaruhi efisiensi keseluruhan operasi penambangan (Ramadhani et al., 2022; Kumi-Boateng & Meider, 2021; Abdelrahman et al., 2020).

Beberapa penelitian terkait telah dilakukan, seperti penelitian Andi (2019) tentang optimalisasi produksi alat muat dan angkut di PT Bukit Asam Tbk, serta penelitian Anisari (2016) mengenai produktivitas alat muat dan angkut pada pengupasan lapisan tanah penutup (Akbar & Isniarno, 2023). Penelitian Ismail & Haeruddin (2023) juga menganalisis produktivitas alat gali muat dan angkut pada kegiatan *overburden removal* (Ramadhani et al., 2022; Rifai, 2021). Namun, penelitian-penelitian tersebut belum secara spesifik menganalisis keserasian kerja (*match factor*) antara excavator Caterpillar 395 dan Heavy Duty Komatsu 785 dalam konteks kondisi operasional khusus di Pit TAL Utara Barat yang memiliki karakteristik material dan tantangan operasional yang unik (Komatsu, 2024; Hasan, 2022; Kecojovic & Komljenovic, 2021).

Produktivitas alat gali muat dan alat angkut dipengaruhi oleh berbagai faktor, termasuk kondisi alat, keahlian operator, kondisi geologis lapangan, serta sistem pengaturan dan manajemen operasi tambang (Boudreau et al., 2018; Kecojovic & Komljenovic, 2021). Di Pit TAL Utara Barat, Tambang Air Laya, pengupasan *overburden* melibatkan penggunaan alat-alat berat seperti excavator, heavy duty, dozer, dan alat pendukung lainnya (Akbar & Isniarno, 2023; Andi, 2019). Ketepatan dalam memilih jenis dan kapasitas alat yang sesuai dengan kondisi lapangan sangat menentukan keberhasilan operasi ini (Ismail & Haeruddin, 2023; Ristić et al., 2020). Selain itu, manajemen pemeliharaan alat dan jadwal operasional yang efisien juga sangat penting untuk meminimalkan waktu henti dan meningkatkan produktivitas (Zhang et al., 2021).

Efisiensi pengupasan *overburden* juga sangat dipengaruhi oleh kondisi lapangan dan jenis material yang dihadapi (Cahyadi et al., 2022; Kadar et al.,

2022). Setiap lapisan *overburden* memiliki karakteristik yang berbeda, sehingga membutuhkan teknik penggalian dan pengangkutan yang spesifik. di *Pit* TAL Utara Barat, Tambang Air Laya, lapisan *overburden* terdiri dari campuran tanah, batuan, dan material lainnya yang memerlukan penanganan khusus. Selain itu, kondisi cuaca dan musim juga dapat mempengaruhi produktivitas alat gali muat dan alat angkut (Oemiati et al., 2020; Sarmidi et al., 2023). Misalnya, selama musim hujan, tanah menjadi lebih basah dan licin, yang dapat memperlambat proses pengupasan dan pengangkutan dari *Front Loading* penambangan ke *Disposal* Sriwijaya.

Berdasarkan hal tersebut, maka penulis perlu untuk melakukan penelitian yang berjudul “Analisis Produktivitas Pengupasan (*overburden*) Pada Penambangan Batubara di *Pit* TAL Utara Barat PT Bukit Asam, Tbk. Tanjung Enim, Sumatera Selatan” Untuk memberikan rekomendasi guna mendukung pencapaian target produksi perusahaan.

Kebaruan penelitian ini terletak pada fokus analisis yang komprehensif terhadap produktivitas dan keserasian kerja alat berat dengan konfigurasi spesifik Caterpillar 395 dan Komatsu 785 di lokasi *Pit* TAL Utara Barat, dengan mempertimbangkan faktor-faktor operasional khusus seperti kondisi material lempung dan tanah liat berpasir padat, serta dampak kondisi cuaca terhadap efisiensi kerja. Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah untuk menghitung produktivitas excavator Caterpillar 395 dan Heavy Duty Komatsu 785 dalam kegiatan pengupasan *overburden* di *Pit* TAL Utara Barat PT Bukit Asam Tbk, menganalisis angka keserasian kerja (*match factor*) antara alat gali muat dan alat angkut tersebut, serta mengidentifikasi faktor-faktor yang mempengaruhi keserasian kerja kedua alat dalam operasi pengupasan *overburden*. Manfaat penelitian ini adalah memberikan evaluasi komprehensif terhadap efisiensi operasional peralatan tambang, menghasilkan rekomendasi perbaikan untuk meningkatkan sinkronisasi kerja alat, serta memberikan kontribusi praktis bagi perusahaan dalam optimasi produktivitas dan pencapaian target produksi pengupasan *overburden*.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode analisis deskriptif kuantitatif dengan pendekatan studi kasus yang dilaksanakan di area *Pit* Tal Utara Barat, Tambang Air Laya, PT Bukit Asam Tbk., Tanjung Enim, Sumatera Selatan. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung (*direct observation*) dan

pengukuran *cycle time* sebanyak 30 sampel untuk setiap alat gali muat (Excavator Caterpillar 395) dan alat angkut (Heavy Duty Komatsu 785), serta pengamatan *bucket fill factor* berdasarkan kondisi material di lapangan. Data sekunder meliputi jadwal kerja, waktu hambatan, spesifikasi alat, dan data *density* material diperoleh dari catatan operasional PT Bukit Asam Tbk. dan PT Antareja Mahada Makmur (AMM). Analisis data dilakukan dengan menghitung produktivitas aktual alat berdasarkan kapasitas bucket, *cycle time*, *fill factor*, *swell factor*, dan efisiensi kerja, serta menganalisis keserasian kerja (*match factor*) menggunakan rumus perbandingan antara total waktu kerja alat angkut dan alat muat. Faktor-faktor penghambat produktivitas dianalisis secara kualitatif berdasarkan observasi kondisi lapangan. Pengumpulan data didukung dengan penggunaan stopwatch digital dan pita ukur sebagai peralatan utama.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Produktivitas Excavator *Caterpillar 395* dan *Heavy Duty Komatsu 785* Pada Pengupasan *Overburden*.

a. Waktu Edar (*Cycle Time*) Excavator *Caterpillar 395*

Waktu edar diperoleh secara langsung dari lapangan melalui pengambilan sebanyak 30 data. Perhitungan waktu edar excavator *Caterpillar 395* diperoleh dari hasil pengamatan di lapangan adalah 23,38 detik

Berdasarkan pengamatan yang dilakukan secara langsung di lapangan diperoleh rata-rata waktu edar excavator *Caterpillar 395* adalah sebagai berikut :

Digging = 7,51 detik

Swing Load = 6,68 detik

Loading = 3,94 detik

Swing Empty = 5,25 detik

Sehingga, *Cycle time* excavator *Caterpillar 395*

$CT_m = T_{m1} + T_{m2} + T_{m3} + T_{m4}$

$CT_m = 7,51 \text{ detik} + 6,68 \text{ detik} + 3,94 \text{ detik} + 5,25 \text{ detik}$

$CT_m = 23,38 \text{ detik}$.

Table 1. *Cycle Time* Alat Gali Muat Di *Front Loading Pit* TAL Utara Barat

Rata-rata <i>Cycle Time</i> excavator <i>Caterpillar 395</i>				
Waktu Pengisian <i>Vessel</i> (detik)				
<i>Digging</i> (detik)	<i>Swing Load</i> (detik)	<i>Loading</i> (detik)	<i>Swing Empty</i> (detik)	<i>Cycle Time</i> (detik)
7,51	6,68	3,94	5,25	23,38

Maka Rata-rata *cycle time* alat gali muat excavator *Caterpillar 395* yang diperoleh dilapangan adalah 23,38 detik, dengan rata-rata jumlah pengisian *bucket* adalah 9. *Cycle Time* excavator *Caterpillar 395*. Selengkapnya dapat di lihat pada (lampiran A).

b. Waktu Edar (*Cycle Time*) *Heavy Duty komatsu 785*

Waktu edar *Heavy Duty komatsu 785* dari *Front Loading Pit TAL Utara Barat* ke *Disposal Sriwijaya*, mencakup waktu *manuver* kosong, *loading*, *hauling*, *dumping*, dan kembali kosong, yang digunakan sebagai parameter untuk menghitung *fixed time*. Dengan demikian, *cycle time* diperoleh dari penjumlahan antara *fixed time* dan waktu perjalanan.

Berdasarkan pengamatan yang telah dilakukan secara langsung diperoleh Rata-rata *cycle time Heavy Duty Komatsu 785* sebagai berikut :

<i>Manuver Empty</i>	= 24,63 detik
<i>Loading</i>	= 225,04 detik
<i>Hauling Load</i>	= 1042 detik
<i>Manuver Load</i>	= 29,77 detik
<i>Dumping</i>	= 23,23 detik
<i>Hauling Empty</i>	= 802 detik

Sehingga, *Cycle Time Heavy Duty Komatsu 785* yang di dapat sebesar:

$$CTa = Ta1 + Ta2 + Ta3 + Ta4 + Ta5 + Ta6$$

$$CTa = 24,63 \text{ detik} + 225,04 \text{ detik} + 1042 \text{ detik} + 29,77 \text{ detik} + 23,23 \text{ detik} + 802 \text{ detik}$$

$$CTa = 2146 \text{ detik.}$$

Table 2. *Cycle Time* Alat Angkut di *Front Loading* ke *Disposal Sriwijaya*

No	<i>Manuver empty (detik)</i>	<i>Loading (detik)</i>	<i>Hauling load (s)</i>	<i>Manuver load (s)</i>	<i>Dumping (s)</i>	<i>Hauling empty (s)</i>
Rata-rata	24,63	225,04	1042	29,77	23,23	802

Berdasarkan rata-rata *cycle time Heavy Duty komatsu 785* yang diperoleh dilapangan adalah 2146 detik. Besarnya nilai *cycle time Heavy Duty komatsu 785* dipengaruhi oleh hambatan yang dilalui alat angkut selama proses pengangkutan material hingga alat angkut kembali di isi oleh alat gali muat. *Cycle Time Heavy Duty Komatsu 785*. selengkapnya dapat di lihat pada (lampiran B).

c. Efisiensi Kerja

Untuk mengetahui efisiensi kerja dari produksi alat gali muat dan alat angkut, harus diketahui terlebih dahulu waktu kerja yang terdapat di PT Bukit Asam, Tbk. Pada kegiatan pengupasan *overburden*, waktu kerja sangat berpengaruh bagi efektifitas kerja alat dan hasil yang diperoleh oleh alat tersebut. Untuk mencari efisiensi kerja digunakan rumus sebagai berikut :

Tabel 3. Waktu Kerja Tersedia

Hari	Jam kerja			Total waktu (Jam/Hari)
	Shift 1	Shift 2	Shift 3	
Senin	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Selasa	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Rabu	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Kamis	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Jumat	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Sabtu	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Minggu	23:00-07:00	07:00-15:00	15:00-23:00	24
Total				168
Rata-rata				24

Sumber: Penulis (2025)

Tabel 4. Hambatan Jam Kerja Perusahaan

Uraian	Waktu Hambatan (menit)
1. Hambatan yang dapat dihindari:	(Menit/Hari)
<i>Refueling</i>	10
<i>Praying</i>	5
<i>Other-Standby</i>	30
Total 1	45
2. Hambatan yang tidak dapat dihindari:	
<i>Rain Delay</i>	90
<i>Stretching</i>	5
<i>Rest time</i>	180
<i>Chang Shift</i>	10
<i>P5M</i>	5
<i>Slippery Delays</i>	90
Total 2	380
Total 1 + 2	425

Sumber: Penulis (2025)

Total waktu hambatan = 425 menit
 Waktu Tersedia = 1.440 menit
 Waktu Kerja Tersedia = 1.440 menit – 425 menit
 = 1.015 menit

Maka efisiensi kerja excavator *Caterpillar* 395 dan *Heavy Duty* komatsu 785 dapat dihitung:

$$\begin{aligned}\text{Efisiensi Kerja} &= \frac{1.015 \text{ menit/hari}}{1.440 \text{ menit/hari}} \times 100\% \\ &= 70\% \text{ atau } 0,70\end{aligned}$$

d. *Bucket Fill Factor*

Bucket fill factor merupakan faktor yang menunjukkan besarnya kapasitas nyata pada *bucket* excavator *caterpillar* 395 dalam melakukan pemuatan ke *Heavy Duty* komatsu 785. Besarnya kapasitas pada *bucket* alat gali muat akan mempengaruhi waktu pengisian alat mekanis. Semakin besar kapasitas *bucket* akan mempercepat waktu pengisian alat mekanis.

Berdasarkan pengamatan langsung di lapangan material di lokasi *Pit* TAL Utara Barat adalah material lempung dan tanah liat berpasir padat atau kondisi *compact*. Rata-rata *bucket fill factor* dari *bucket* excavator *Caterpillar* 395 di *Pit* TAL Utara Barat sebesar 90% didapat berdasarkan pengamatan langsung menggunakan tabel *bucket fill factor* berdasarkan jenis material.

e. Faktor Pengembangan *Swell Factor*

Perhitungan nilai dari faktor pengembangan (*swell factor*) mengidentifikasi jenis material pada *front Loading overburden* di *Pit* TAL Utara Barat yang berupa material lempung dan tanah liat berpasir.

Berdasarkan data dari perusahaan nilai *density loose* dan *density insitu* material di *front Loading Pit* TAL Utara Barat sebesar 0,8 dan 1,00 dengan nilai *swell factor* sebesar 80% atau 0,8. Selengkapnya dapat dilihat pada Lampiran D.

f. Perhitungan Produktivitas Excavator *Caterpillar* 395

Alat gali muat yang digunakan untuk kegiatan pengupasan *overburden* pada *Pit* TAL Utara Barat Pt Bukit Asam, Tbk. adalah excavator *Caterpillar* 395.

g. Perhitungan Produktivitas *Heavy Duty* Komatsu 785

Alat angkut yang digunakan pada kegiatan pengangkutan *overburden* pada *Pit* TAL Utara Barat di PT. Bukit Asam, Tbk adalah *Heavy Duty* Komatsu 785.

Faktor Keserasian Kerja (*Match Factor*)

Keserasian kerja antara excavator *Caterpillar* 395 dan *Heavy Duty komatsu* 785 perlu diperhatikan sehingga tidak terjadi kekurangan atau kelebihan alat yang dapat mengganggu kegiatan penambangan. Pada kondisi awal sebelum dilakukan penelitian terjadi waktu tunggu di *front* kerja pada saat menunggu *Heavy Duty komatsu* 785.

Dari hasil perhitungan diperoleh keserasian kerja excavator *Caterpillar* 395 dan *Heavy Duty Komatsu* 785 0,68 Hal ini berarti MF <1, berarti excavator *Caterpillar* 395 tidak bekerja 100%, sedangkan *Heavy Duty komatsu* 785 mencapai 100%, sehingga terdapat waktu tunggu yang terjadi bagi excavator *Caterpillar* 395 menunggu *Heavy Duty komatsu* 785 di *Front Loading Pit* TAL Utara Barat di PT Bukit Asam, Tbk.

Faktor – Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas

a) Kondisi *Front Loading*

Kondisi lapangan akan sangat berpengaruh terhadap kinerja alat gali muat dan alat angkut yang bekerja, pada saat penulis melakukan penelitian kondisi di lapangan jalan yang licin dan tidak rata.

b) Kondisi Jalan Angkut

Kondisi jalan angkut dari *Front loading* ke *Disposal* Sriwijaya sudah cukup baik, Akan tetapi saat jalan berdebu harus dilakukan penyiraman, sembari menunggu penyiraman maka *Heavy Duty* harus mengurangi kecepatan atau harus di kurangi *Fleet* yang beroperasi sampai selesai di lakukan penyiraman jalan.

c) Kondisi Cuaca

Curah hujan dapat menyebabkan permukaan jalan menjadi licin, sehingga membahayakan aktivitas operasional di lapangan. Setelah hujan turun, jalan umumnya menjadi berlumpur dan basah, yang secara signifikan mengurangi daya cengkeram permukaan terhadap ban alat berat. Akibatnya, traksi ban berkurang, sehingga kendaraan sulit bergerak dengan stabil, terutama saat membawa muatan. Kondisi ini tidak hanya memperlambat proses pengangkutan, tetapi juga meningkatkan risiko tergelincir atau terjebak, yang pada akhirnya dapat menghentikan kegiatan operasional untuk sementara waktu. Dalam situasi ekstrem, alat berat bahkan memerlukan bantuan untuk keluar dari kondisi jalan yang terlalu lunak atau tergenang. Oleh karena itu, cuaca buruk seperti hujan tidak

hanya menurunkan produktivitas, tetapi juga menambah waktu tunggu, biaya operasional, serta potensi kerusakan peralatan.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian dan analisis yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa produktivitas excavator Caterpillar 395 pada salah satu fleet di Pit TAL Utara Barat mencapai 504,43 Bcm/jam, sementara produktivitas Heavy Duty Komatsu 785 sebesar 49,46 Bcm/jam. Nilai keserasian kerja (*match factor*) antara kedua alat tersebut adalah 0,68. Nilai MF yang kurang dari 1 mengindikasikan ketidakseimbangan dalam sinkronisasi kerja, dimana excavator Caterpillar 395 mengalami waktu tunggu menunggu kedatangan Heavy Duty Komatsu 785. Faktor dominan yang mempengaruhi rendahnya keserasian kerja ini adalah kondisi jalan angkut yang licin dan tidak rata, sehingga memperlambat siklus pergerakan alat angkut dan mengurangi efisiensi waktu kerja secara keseluruhan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abdelrahman, A., Mohamed, A., & El-Hassan, M. (2020). Analysis of fuel consumption and greenhouse gas emissions in mining haul trucks. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(6), 781–789. <https://doi.org/10.1016/j.ijmst.2020.07.008>
- Akbar, T. M., & Isniarno, N. F. (2023, January). Kajian pengaruh geometri jalan terhadap konsumsi bahan bakar alat angkut pada jalan tambang quarry batu andesit di PT Silva Andia Utama Desa Giri Asih, Kecamatan Batujajar, Kabupaten Bandung Barat, Provinsi Jawa Barat. In *Bandung Conference Series: Mining Engineering* (Vol. 3, No. 1, pp. 194–202).
- Andi. (2019). *Optimalisasi produksi alat muat dan angkut di PT Bukit Asam Tbk* [Unpublished undergraduate thesis]. Universitas Sriwijaya.
- Anisari, N. (2016). *Kajian efektivitas alat gali muat dan alat angkut dalam kegiatan pengupasan overburden di tambang batubara* [Unpublished undergraduate thesis]. Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta.
- Bascetin, A., & Nieto, A. (2019). Truck–shovel fleet fuel consumption and optimization in surface mining. *Resources Policy*, 63, Article 101440. <https://doi.org/10.1016/j.resourpol.2019.101440>
- Boudreau, J., Hall, R., & Knights, P. (2018). Haul truck fuel consumption reduction through improved operator practices. *Mining Engineering*, 70(9), 29–35.

- Cahyadi, R., Isnaeni, K. M. A., & Harpiandi, D. (2022). Optimalisasi produktivitas alat gali muat terhadap pengupasan overburden di PT XYZ. *Jurnal Teknik Patra Akademika*, 13(2), 80–89.
- Hasan, H. (2022). The effect of road grade on dump truck fuel consumption [Paper presentation]. *SAE Technical Paper Series*, 2022-01-5030. <https://doi.org/10.4271/2022-01-5030>
- Ismail, A. M. L., & Haeruddin, H. (2023). Analisis produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada kegiatan *overburden removal* di Pit 1 PT. Jambi Prima Coal. *Jurnal GEOMining*, 21(1), 45–52.
- Kadar, M. I., Widodo, S., Budiman, A. A., & Priyana, Y. L. O. (2022). Kajian pengaruh kondisi tempat kerja terhadap produktivitas alat mekanis pada kegiatan pengupasan overburden. *Mining Science and Technology Journal*, 1(1), 31–37.
- Kecojevic, V., & Komljenovic, D. (2021). Impact of haul road conditions on mining truck fuel consumption and greenhouse gas emissions. *International Journal of Mining, Reclamation and Environment*, 35(8), 581–595. <https://doi.org/10.1080/17480930.2020.1840067>
- Komatsu Ltd. (2024). *Indonesia coal mine reduces haul truck fuel consumption by 18% with MineCare and Performance Assurance* [Case study]. Komatsu America Corp.
- Kumi-Boateng, B., & Meider, A. (2021). Evaluation of fuel consumption and haulage productivity of mining trucks in open-pit mines. *Mining, Metallurgy & Exploration*, 38(1), 187–198. <https://doi.org/10.1007/s42461-020-00319-7>
- Oemiati, N., Revisdah, R., & Rahmawati, R. (2020). Analisa produktivitas alat gali muat dan alat angkut pada pengupasan lapisan tanah penutup (overburden). *Bearing: Jurnal Penelitian dan Kajian Teknik Sipil*, 6(3), 194–207.
- Ramadhani, A. D., Mustofa, A., & Melati, S. (2022). Optimalisasi fuel ratio alat gali muat dan alat angkut PT Borneo Alam Semesta. *Jurnal Himasapta*, 7(3), 157–160.
- Rifai, I. (2021). *Analisis konsumsi bahan bakar dump truck pada penambangan batu andesit PT Harmak Indonesia, Desa Hargowilis, Kecamatan Kokap, Kabupaten Kulon Progo, Daerah Istimewa Yogyakarta* [Doctoral dissertation, Universitas Pembangunan Nasional "Veteran" Yogyakarta].
- Ristić, V., Ignjatović, D., & Marinković, D. (2020). Productivity analysis of haulage equipment in surface mining. *Tehnika – Mining*, 75(2), 215–222. <https://doi.org/10.5937/tehnika2002215R>
- 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.

Zhang, X., Wu, Q., & Luo, Y. (2021). Optimization of truck dispatching and fuel consumption in large-scale open-pit mines. *Journal of Cleaner Production*, 314, Article 128057. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.128057>