



## Analisis Efektivitas *Wheel Loader* untuk Meningkatkan Efisiensi Pengangkutan Material di PT Metro Lestari Utama Kecamatan Pringgabaya Kabupaten Lombok Timur

Miranti Nur Wulandari<sup>1</sup> Risal Gunawan<sup>2</sup> Laju Arfanji<sup>3</sup>

<sup>1,3</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik dan Ilmu Komputer, Universitas Cordova, <sup>2</sup>Program Studi Teknik Pertambangan, Fakultas Teknik, Universitas Sulawesi Tenggara

DOI: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1383>

### Article Info

Received: 01 September 2025

Revised: 25 November 2025

Accepted: 25 November 2025

Correspondence:

Phone: +682322514307

**Abstrak:** Penggunaan alat berat, khususnya wheel loader, memegang peranan penting dalam kegiatan pemindahan material pada sektor konstruksi maupun pertambangan. Penelitian ini dilakukan untuk menilai sejauh mana efektivitas *Wheel Loader* dalam meningkatkan efisiensi pengangkutan material, baik dari aspek waktu operasional, kapasitas angkut, maupun efisiensi bahan bakar. Metode penelitian meliputi pengumpulan data primer melalui observasi lapangan, pengukuran waktu siklus kerja alat, serta wawancara dengan operator dan kepala teknik tambang (KTT) proyek. Selain itu, data sekunder berupa standar produktivitas alat dan spesifikasi teknis *Wheel Loader* juga digunakan sebagai bahan analisis. Hasil analisis menunjukkan bahwa efektivitas *Wheel Loader* dipengaruhi oleh kondisi lapangan, keterampilan operator, serta perawatan alat. Rata-rata produktivitas alat tercatat sebesar 180–250 m<sup>3</sup> per hari dengan tingkat efisiensi kerja mencapai 80%, yang mengindikasikan adanya 20 % waktu hilang akibat kendala teknis maupun non-teknis. Secara keseluruhan, penggunaan *Wheel Loader* mampu meningkatkan efisiensi pengangkutan material hingga 30% lebih baik dibandingkan metode konvensional.

**KataKunci:** *Wheel Loader*, Efektivitas, Efisiensi Kerja, Pengangkutan Material

**Citation:** Wulandari, N., M., Gunawan, R., & Arfanji, L. (2025). Analisis Efektivitas *Wheel Loader* untuk Meningkatkan Efisiensi Pengangkutan Material di PT Metro Lestari Utama Kecamatan Pringgabaya Kabupaten Lombok Timur. *Journal Pendidikan, Sains, Geologi dan Geofisika (GeoScienceEd Journal)*, 6(4), 2052-2057. doi: <https://doi.org/10.29303/Goescienceed.v6i4.1383>

## Pendahuluan

### 1.1 Pendahuluan

PT Metro Lestari Utama merupakan salah satu perusahaan yang bergerak di bidang penambangan batu andesit, berlokasi di Desa Seruni Mumbul, Kecamatan Pringgabaya, Kabupaten Lombok Timur (Sukanto, 2018). Dalam kegiatan operasionalnya, perusahaan menggunakan peralatan yang sesuai dengan kondisi medan kerja agar proses penambangan berlangsung efisien dan target produksi dapat tercapai (Hartman dan Mutmanský, 2002).

Kegiatan pengolahan yang dilakukan berupa peremukan batu andesit menjadi agregat kasar melalui

unit crushing plant. Proses ini bertujuan untuk mereduksi ukuran batuan dengan menggunakan stone crusher, sehingga menghasilkan material yang sesuai untuk kebutuhan konstruksi, khususnya pembangunan jalan raya dan jembatan (Wills dan Finch, 2016). Penambangan di PT Metro Lestari Utama dilakukan dengan metode quarry (tambang terbuka). Alat berat yang digunakan antara lain excavator Komatsu PC 200-8, *Wheel Loader* Changlin 955H, dan dump truck Dyna 130 HT. Tahapan penambangan meliputi kegiatan pembongkaran, pemuatan (*loading*), pengangkutan (*hauling*), dan penumpahan (*dumping*) (Hustrulid dan Kutcha, 2013). Material hasil tambang pertama kali

Email: [risalgunawan92@gmail.com](mailto:risalgunawan92@gmail.com)

ditumpuk di *stockpile*, kemudian dipindahkan ke unit pengolahan menggunakan *dump truck* (Ercelebi, 2011). Dengan ketersediaan cadangan batu andesit yang cukup banyak serta jarak pengangkutan material yang relatif dekat, PT Metro Lestari Utama dipercaya sebagai kontraktor dalam proyek infrastruktur di daerah tersebut ( Badan Pusat Statistik, 2020)

Dalam mendukung proses produksi, *Wheel Loader* memegang peranan penting sebagai alat pemuat material dari *stockpile* ke *dump truck* maupun ke unit pengolahan (Kurniawan, 2019). Alat ini memiliki beberapa keunggulan, seperti kemampuan melakukan pemuatan dengan cepat, fleksibilitas pada berbagai kondisi medan, serta kemudahan manuver di area yang terbatas (Gransberg, dkk 2006). Namun demikian, efektivitas penggunaan *Wheel Loader* sangat dipengaruhi oleh berbagai faktor, di antaranya kapasitas angkut, desain alat, kondisi medan kerja, serta keterampilan operator (Zhang, 2015).

Efisiensi operasional *Wheel Loader* menjadi hal yang sangat penting karena berpengaruh langsung terhadap produktivitas, biaya operasional, dan waktu penyelesaian proyek ( Nurhakim dan Rachman 2020). Oleh karena itu, diperlukan analisis mendalam mengenai efektivitas *Wheel Loader* dalam meningkatkan efisiensi pengangkutan material di PT Metro Lestari Utama (Singh, 2017).

## 1.2 Struktur Geologi

### Vulkanik

Satuan batuan vulkanik merupakan unit tertua di daerah penelitian. Satuan ini tersusun oleh breksi tuf andesit, batupasir, serta batulempung vulkanik berbutir halus. Komponen yang paling dominan adalah andesit vulkanik. Batuan ini berfungsi sebagai batuan induk tempat terjadinya intrusi yang mengontrol proses mineralisasi (Best, 2003).

### Diorit

Unit diorit ditemukan pada bagian timur laut area penambangan. Satuan ini terdiri atas dua jenis batuan, yakni porphyritic quartz diorit dan equigranular quartz diorit. Kandungan mineral utamanya meliputi plagioklas, kuarsa, dan hornblende, dengan matriks berupa plagioklas dan kuarsa (Winter, 2010).

### Intermediate Tonalite

Batuan tonalit ini muncul di bagian tengah cebakan dalam bentuk intrusi yang berorientasi sub-vertikal, terutama berkembang pada zona kontak antara batuan vulkanik dan diorit. Berdasarkan cirinya, tonalit terbagi menjadi dua tipe, yaitu *old tonalite* dan *intermediate tonalite*.

- Old tonalite mengandung fenokris kuarsa dan plagioklas dengan komposisi yang menyerupai diorit.

- Intermediate tonalite memiliki kuarsa dan fenokris dalam jumlah lebih banyak dibanding tipe sebelumnya.

Karena sulit dibedakan secara visual di lapangan, kedua jenis tersebut kemudian digolongkan ke dalam satuan intermediate tonalite. Satuan inilah yang berperan sebagai pembawa mineralisasi utama di wilayah penambangan (Blatt dkk 2006).

### Young Tonalite

Satuan ini merupakan intrusi tonalit termuda yang dijumpai di daerah tambang. Komposisinya hampir sama dengan intermediate tonalite, namun memiliki fenokris lebih besar, massa dasar yang lebih kasar, serta kandungan kuarsa yang lebih melimpah. Berbeda dengan unit tonalit sebelumnya, batuan ini tidak berasosiasi dengan mineralisasi (Klein dan Dutrow 2007).

## Metode

Penelitian ini mulai tanggal 5 November 2024 sampai dengan tanggal 5 Desember 2024 di PT Metro Lestari Utama, Desa Seruni Mumbul, Kecamatan Pringgabaya, Kabupaten Lombok Timur

Dalam penelitian ini, data primer dan sekunder berperan penting untuk memperoleh informasi yang mendalam dan beragam terkait topik yang dikaji (Creswell dan Creswell, 2018). Lokasi penelitian berada di area pertambangan bahan galian C milik PT Metro Lestari Utama, dengan waktu pelaksanaan selama dua bulan, yakni dari 5 November 2024 hingga 5 Desember 2024 (Sugiyono, 2019). Tahap awal penelitian dimulai dengan pengumpulan literatur mengenai daerah penelitian. Selanjutnya, data dikumpulkan secara langsung melalui wawancara antara peneliti (interviewer) dan operator loader sebagai narasumber.

Berdasarkan rumusan masalah, analisis data yang digunakan adalah analisis kuantitatif dengan cara memeriksa kelengkapan data, kemudian mengolahnya menggunakan rumus-rumus yang relevan (Neuman, 2018). Hasil olahan tersebut akan dibandingkan dengan kondisi nyata untuk mendapatkan studi komparatif terkait kinerja *Wheel Loader* (Yin, 2018). Berdasarkan perumusan masalah, metode analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah pendekatan kuantitatif. Langkah awal dilakukan dengan memeriksa kelengkapan data, kemudian mengolahnya menggunakan rumus-rumus yang relevan. Selanjutnya, dilakukan studi komparatif dengan data aktual untuk memperoleh hasil yang sesuai. Analisis ini juga ditujukan untuk mengevaluasi kinerja wheel loader. Data yang dihasilkan kemudian mengolahnya menggunakan rumus-rumus yang relevan. Hasil olahan tersebut akan dibandingkan dengan kondisi nyata untuk mendapatkan studi

komparatif terkait kinerja wheel loader. Data akhir akan disajikan dalam bentuk tabel, rumus, maupun grafik. Beberapa rumus yang digunakan dalam analisis efektifitas *wheel loader*

#### a. Produktivitas Alat Berat

Produktivitas alat berat (Q) dapat dihitung dengan mengalikan volume material dengan jumlah siklus kerja per jam. Satuan yang digunakan biasanya adalah meter kubik per jam ( $m^3/\text{jam}$ ) atau ton per jam (Rahman dan Setiawan, 2019)

Siklus kerja *Wheel Loader* umumnya terdiri dari empat tahap, yaitu: (1) penggalian dan pemuatan material, (2) pengangkutan, (3) pembongkaran, serta (4) kembali ke lokasi kerja. Semakin lancar dan cepat siklus tersebut berlangsung, semakin tinggi pula tingkat efisiensi operasi alat berat (Li dkk, 2018).

#### b. Efisiensi Waktu (Time Efficiency)

Efisiensi waktu didefinisikan sebagai perbandingan antara waktu kerja efektif dengan total waktu kerja yang tersedia. Rumus umum untuk menentukan efisiensi waktu adalah :

$$\text{Efisiensi Waktu} = \frac{\text{Waktu kerja produktif}}{\text{Waktu kerja total}} \times 100\%$$

Faktor-faktor yang masuk dalam kategori waktu tidak produktif mencakup *idle time*, pemanasan mesin, serta waktu tunggu lainnya (Prasetyo dan Nugroho, 2021).

#### c. Rumus Produktivitas Wheel Loader

Rumus umum untuk menentukan produktivitas *Wheel Loader* adalah:

$$\text{Produktivitas (Q)} = \frac{V \times C_f \times E \times 60}{T_c} \times 100\%$$

dengan keterangan sebagai berikut:

- Q = Produktivitas ( $m^3/\text{jam}$  atau ton/jam)
- V = Kapasitas bucket ( $m^3/\text{siklus}$ )
- C<sub>f</sub> = *Coefficient of fill* (faktor pengisian bucket, biasanya 0,8–1,0 tergantung sifat material)
- E = Efisiensi kerja (misalnya 0,85 = 85%)
- T<sub>c</sub> = Waktu siklus (menit/siklus)
- 60 = Konversi dari menit ke jam (Fang, dkk 2020).

#### d. Mekanika Tanah dan Material

Efisiensi kerja *Wheel Loader* sangat dipengaruhi oleh karakteristik material yang dimuat. Material lepas seperti pasir dan kerikil cenderung lebih mudah dimuat sehingga produktivitas meningkat. Sebaliknya, material yang lebih padat dan lengket seperti tanah lempung basah atau material berbatu cenderung memperlambat siklus kerja, sehingga menurunkan efisiensi. Selain itu, kondisi permukaan yang lunak atau licin akan mengurangi daya dorong (*traction*)

sehingga memengaruhi kecepatan operasi (Nugraha dan Fadillah, 2019).

### 1. Teknik Mesin dan Ergonomi Wheel Loader

#### a. Desain dan Kapasitas Bucket

Kapasitas dan desain bucket berpengaruh signifikan terhadap jumlah material yang dapat diangkut dalam setiap siklus. Efisiensi optimal dicapai apabila bucket terisi penuh namun tidak melebihi kapasitas aman (*overload*) (Zhang dan Zhao, 2017).

#### b. Tenaga Mesin dan Konsumsi Bahan Bakar

Efisiensi termal mesin serta tingkat konsumsi bahan bakar per volume material yang diangkut merupakan indikator efisiensi kerja alat berat. Semakin rendah konsumsi bahan bakar per unit produksi, semakin tinggi efisiensi alat tersebut. (Widodo dan Prabowo, 2020)

#### c. Ergonomi Operator

Faktor manusia turut memengaruhi kinerja *wheel loader*. Kemampuan operator, tingkat kelelahan, serta pengalaman kerja berdampak langsung terhadap kelancaran siklus kerja. Desain kabin, visibilitas, serta tingkat getaran juga menjadi aspek penting yang menentukan kenyamanan dan produktivitas operator<sup>8</sup>. (Kim dan Lee, 2019).

### 2. Manajemen Alat Berat

#### a. Match Factor (Faktor Kecocokan)

Sinkronisasi antara *Wheel Loader* dan alat angkut (misalnya *dump truck*) sangat penting untuk menghindari waktu tunggu (*idle time*). Adapun rumusnya :

$$\text{Match Faktor} = \frac{\text{Kapasitas dump truck}}{\text{Kapasitas bucket} \times \text{jumlah bucket}} \times$$

Dengan *match factor* yang tepat, produktivitas sistem alat berat dapat dioptimalkan (Hidayat dan Kurniawan, 2022)

#### b. Perawatan dan Waktu Henti (Maintenance and Downtime)

Penerapan *preventive maintenance* mampu menjaga kinerja alat berat tetap stabil. Sebaliknya, frekuensi kerusakan (*breakdown*) atau overheating yang tinggi akan berdampak signifikan terhadap penurunan efisiensi operasional (Zhao dan Liu2018).

### Hasil dan Pembahasan

#### a. Hasil Efisiensi Kerja Wheel Loader

Efisiensi operasional *Wheel Loader* menunjukkan tingkat optimalisasi penggunaan alat dalam aktivitas pemuatan material. Penentuan efisiensi ini mempertimbangkan beberapa aspek, antara lain kapasitas alat, waktu siklus kerja, serta jam kerja efektif yang dipengaruhi oleh faktor ketersediaan (*availability*) dan tingkat pemanfaatan alat (*utilization*) (Nugroho, 2020). Bertikut Tabel 1 menampilkan hasil Hasil

Efisiensi Kerja *Whell Loader* yang telah diperoleh di lapangan.

**Tabel 1.** Hasil Efisiensi Kerja *Whell Loader*

Parameter	Hasil	Satuan
Kapasitas bucket	3,0	m <sup>3</sup>
Faktor pengisian	0,9	-
Volume per siklus	2,7	m <sup>3</sup>
Waktu siklus	0,5	menit
Siklus per jam	120	siklus
Volume per jam	324	m <sup>3</sup>
Jam kerja efektif	8	jam
Efisiensi kerja	0,8	-
Volume per hari	2073,6	m <sup>3</sup>
Berat material	1,8	ton/m <sup>3</sup>
Tonase per hari	3732,48	ton

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa *Wheel Loader* memiliki produktivitas sebesar 324 m<sup>3</sup>/jam atau 2.073,6 m<sup>3</sup>/hari pada kondisi efisiensi 80%. Nilai ini menandakan kinerja yang cukup optimal apabila alat digunakan secara kontinu selama jam kerja efektif. Dengan asumsi berat jenis material 1,8 ton/m<sup>3</sup>, tonase yang dihasilkan mencapai 3.732,48 ton/hari. Namun, capaian ini tetap dipengaruhi kondisi lapangan, keterampilan operator, kondisi teknis alat, serta koordinasi dengan *dump truck*. Efisiensi 80% dipandang realistis karena mempertimbangkan waktu non-produktif, seperti istirahat, perawatan ringan, serta waktu tunggu alat (Bappu dkk, 2018).

Berdasarkan data operasional, produktivitas *Wheel Loader* mengalami fluktuasi karena faktor teknis maupun non-teknis.

1. Variasi Volume Harian Volume harian berkisar 1.350–1.728 m<sup>3</sup>. Produksi tertinggi tercatat pada Selasa sebesar 1.728 m<sup>3</sup> (640 siklus), mencerminkan koordinasi dan kondisi alat yang optimal. Produksi terendah terjadi pada Sabtu (1.350 m<sup>3</sup>; 500 siklus), dipengaruhi waktu kerja setengah hari.
2. Tonase Harian Tonase berbanding lurus dengan volume. Tonase tertinggi tercapai pada Selasa (3.110,4 ton) dan terendah pada Sabtu (2.430 ton). Data ini penting untuk perencanaan jumlah *dump truck* agar pemuatan dan pengangkutan seimbang.
3. Faktor yang Mempengaruhi Efisiensi Faktor penentu fluktuasi meliputi kondisi alat, cuaca, keterlambatan *dump truck*, dan keterampilan operator. Misalnya, perawatan ringan Jumat menurunkan jumlah siklus, sedangkan cuaca mendung Kamis memengaruhi kecepatan kerja. (Xie dan Zhang, 2019).

b. Hasil Produktivitas *whell Loader* ke *dump truck*

Perhitungan produktivitas *Wheel Loader* pada pekerjaan timbunan (metode muat-angkut) yang memasok agregat ke *dump truck* dilakukan dengan pola V-loading. Pada konfigurasi ini, jarak angkut ±5 m membuat komponen waktu siklus – pengisian bucket, manuver V, penuangan ke bak truk, dan kembali ke titik gali – lebih singkat dibanding jarak yang lebih panjang, sehingga menghasilkan perbedaan waktu siklus dan output produktivitas ( Pratama & Siregar, 2021; Rahman, 2018).



**Gambar 1.** Whell Loader Loading ke Dump Truck

Berikut tabel 2 Hasil Produktivitas Whell Loader ke Dump Truk yang di peroleh di lapangan

Parameter	Hasil	Satuan
Produksi persiklus	2,8	m <sup>3</sup>
Waktu siklus	8	Km/jam
Produktivitas	226,8	m <sup>3</sup> /jam

*Wheel Loader* mampu melayani rata-rata 3 unit *dump truck* berkapasitas ±30 ton per jam. Setiap unit *dump truck* memerlukan 9 kali muatan bucket dan waktu pengisian sekitar 10–15 menit. Dengan demikian, produktivitasnya mencapai 226,8 m<sup>3</sup>/jam (Karaduman dan Kaya 2020).

Adapun hasil *cycle time whell loader* dapat dilihat pada tabel 3

**Tabel 3.** Hasil *Cycle Time Whell Loader*

Menit ke	Waktu Pengisian (detik)	Waktu Manuver (detik)	Waktu Bongkar Muat (detik)	Waktu Kembali (detik)	Total Cycle Time
1	30	15	20	15	80
2	31	14	21	15	81
3	29	15	20	16	80
4	30	16	21	15	82
5	28	15	20	14	77
6	30	14	19	14	77
7	29	15	20	15	79

8	30	15	21	16	82
9	31	16	20	15	82
10	29	15	19	14	77

c. Cycle Time Wheel Loader

Cycle time adalah indikator penting kinerja wheel loader, mencakup waktu pengisian, manuver, bongkar muat, dan kembali ke posisi awal. Data lapangan menunjukkan rata-rata cycle time 79,7 detik per siklus, dengan potensi 45 siklus/jam. Dengan kapasitas bucket 3 m<sup>3</sup>, produktivitas teoritisnya 135 m<sup>3</sup>/jam. Namun, nilai aktual dipengaruhi keterlambatan dump truck, kondisi medan, keterampilan operator, dan waktu jeda kerja. (Kumar dan Singh, 2017).

d. Efisiensi Kinerja Wheel Loader Loading ke AMP (Asphalt Mixing Plant)

Dalam melayani AMP wheel loader tidak diam di satu tempat sebagaimana mengisi dump truck melainkan berpindah pindah, saat AMP memproduksi aspal. Berikut kinerja kinerja wheel loader di AMP. Berikut tabel 4 di tunjukkan Efisiensi kinerja Wheel Loader Loading ke AMP (Asphalt Mixing Plant)

**Tabel 3** Efisiensi kinerja Wheel Loader Loading ke AMP

Jarak Tempuh	Waktu	Keterangan
± 200m	1 Menit	Waktu dan jarak tempuh wheel loader mengambil agregat 1-2.
± 400m	2,4 Menit	Waktu dan jarak tempuh wheel loader memuat material abu batu.
± 320m	1,20 Menit	Waktu dan jarak tempuh wheel loader memuat material jagungan.

e. Efisiensi Bahan Bakar Wheel Loader

Efisiensi bahan bakar merupakan parameter penting untuk menilai kinerja alat berat. Wheel Loader tercatat mengonsumsi rata-rata 15 liter/jam, atau sekitar 120 liter/hari dalam 8 jam operasional. Dengan 20 siklus/jam dan kapasitas 3 m<sup>3</sup>/siklus, total volume material yang dipindahkan per hari mencapai 480 m<sup>3</sup>. Hal ini menunjukkan hubungan erat antara konsumsi bahan bakar dan output produksi. (Zhao dan Wang 2022).

**Kesimpulan**

Wheel Loader memiliki produktivitas sebesar 324 m<sup>3</sup> per jam dengan kapasitas bucket efektif 2,7 m<sup>3</sup> serta waktu siklus 0,5 menit per siklus. Dengan tingkat efisiensi kerja 80% dan durasi kerja efektif 8 jam per

hari, total material yang mampu dimuat mencapai 2.073,6 m<sup>3</sup> per hari atau setara 3.732,48 ton per hari.. Hasil perhitungan tersebut memperlihatkan bahwa Wheel Loader dapat beroperasi secara maksimal dalam kegiatan pemuatan material, asalkan kondisi alat tetap prima, waktu siklus terjaga, serta koordinasi dengan alat angkut berlangsung lancar. Faktor utama yang memengaruhi efisiensi kerja Wheel Loader meliputi kondisi peralatan, keterampilan operator, kestabilan waktu siklus, serta efektivitas penggunaan waktu kerja di lapangan.

**References**

Badan Pusat Statistik (BPS). (2020). *Statistik pertambangan nonmigas Indonesia*. Jakarta: BPS.

Bappu, A., Sharma, V., & Patel, R. (2018). Productivity Analysis of Wheel Loaders in Mining Operations. *Journal of Mining and Environment*, 9(2), 211–220.

Best, M. G. (2003). *Igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Wiley-Blackwell.

Blatt, H., Tracy, R. J., & Owens, B. E. (2006). *Petrology: Igneous, sedimentary, and metamorphic* (3rd ed.). W. H. Freeman.

Creswell, J. W., & Creswell, J. D. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.

Ercelebi, S. G. (2011). Equipment selection for surface mining: A review. *Journal of Mining Science*, 47(2), 163–173.

Fang, Y., Zhou, Y., & Chen, L. (2020). Productivity evaluation of construction equipment using operational parameters. *Journal of Construction Engineering and Management*, 146(12), 04020137.

Gransberg, D. D., Popescu, C. M., & Ryan, R. C. (2006). *Construction equipment management for engineers, estimators, and owners*. Boca Raton, FL: CRC Press.

Hartman, H. L., & Mutmansky, J. M. (2002). *Introductory mining engineering*. Hoboken, NJ: Wiley.

Hustrulid, W., & Kutcha, R. (2013). *Open pit mine planning & design* (3rd ed.). Boca Raton, FL: CRC Press.

Hidayat, T., & Kurniawan, A. (2022). Analisis match factor antara alat gali-muat dan alat angkut pada kegiatan penambangan batubara. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 12(1), 1–10.

Klein, C., & Dutrow, B. (2007). *Manual of mineral science* (23rd ed.). Wiley.

Kumar, R., & Singh, P. (2017). Cycle Time Analysis of Earthmoving Equipment in Mining Projects. *Mining Technology*, 126(2), 73–81.

Karaduman, O., & Kaya, A. (2020). Performance Evaluation of Wheel Loader in Truck Loading Operations. *International Journal of Mining Science and Technology*, 30(4), 523–531.

- Kurniawan, A. (2019). Analisis produktivitas wheel loader pada kegiatan pemuatan material. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 5(1), 45–52.
- Kim, S., & Lee, D. (2019). Ergonomic evaluation of heavy equipment operator cabins. *Applied Ergonomics*, 78, 197–207.
- Li, H., Zhang, Y., & Wang, J. (2018). Cycle time analysis of wheel loaders in earthmoving operations. *Automation in Construction*, 94, 72–82.
- Liu, Z., Chen, H., & Guo, Y. (2021). Wheel Loader Cycle Optimization in Asphalt Plant Operations. *Automation in Construction*, 127, 103700.
- Neuman, W. L. (2018). *Social research methods: Qualitative and quantitative approaches* (8th ed.). Pearson.
- Nugroho, A. (2020). Evaluasi efisiensi penggunaan wheel loader pada proses pemuatan material tambang. *Jurnal Teknologi Pertambangan*, 8(2), 55–62.
- Nurhakim, A., & Rachman, D. (2020). Efisiensi alat berat dalam kegiatan pertambangan terbuka. *Jurnal Teknologi Mineral*, 8(2), 77–85.
- Nugraha, B., & Fadillah, R. (2019). Pengaruh jenis material terhadap efisiensi alat muat di tambang terbuka. *Jurnal Geoteknik Tambang*, 8(2), 55–62.
- Prasetyo, H., & Nugroho, S. (2021). Studi efisiensi waktu kerja alat berat pada proyek tambang batubara. *Jurnal Teknologi Mineral dan Batubara*, 17(1), 45–56.
- Pratama, A., & Siregar, H. (2021). Analisis produktivitas wheel loader pada pekerjaan timbunan dengan pola V-loading. *Jurnal Teknik Sipil dan Pertambangan*, 5(2), 101–110.
- Rahman, F. (2018). Evaluasi waktu siklus alat muat-angkut pada pekerjaan jalan. *Jurnal Konstruksi*, 7(1), 45–52.
- Rahman, M. A., & Setiawan, D. (2019). Analisis produktivitas alat berat dalam pekerjaan konstruksi. *Jurnal Teknik Sipil*, 26(2), 101–110.
- Singh, R. K. (2017). Productivity analysis of loading and hauling equipment in surface mines. *International Journal of Mining Science and Technology*, 27(4), 601–606.
- Sukamto, B. (2018). *Teknik pertambangan terbuka*. Yogyakarta: Pustaka Baru.
- Sugiyono. (2019). *Metode penelitian kuantitatif, kualitatif, dan R&D*. Bandung: Alfabeta.
- Suryana, A., & Nugroho, B. (2019). *Metodologi Penelitian Kuantitatif dalam Teknik Pertambangan*. Jakarta: Mitra Wacana Media
- Widodo, A., & Prabowo, R. (2020). Analisis konsumsi bahan bakar alat berat pada operasi pemindahan tanah mekanis. *Jurnal Energi dan Mesin*, 15(2), 77–85.
- Xie, Y., & Zhang, L. (2019). Operational Efficiency Assessment of Wheel Loaders under Different Site Conditions. *Construction Equipment Journal*, 14(3), 145–156.
- Winter, J. D. (2010). *Principles of igneous and metamorphic petrology* (2nd ed.). Pearson Education.
- Wills, B. A., & Finch, J. (2016). *Wills' mineral processing technology* (8th ed.). Oxford: Butterworth-Heinemann
- Yin, R. K. (2018). *Case study research and applications: Design and methods* (6th ed.). SAGE Publications.
- Zhao, H., & Wang, J. (2022). Fuel Consumption and Productivity Evaluation of Wheel Loaders. *Energy Reports*, 8, 1234–1243.
- Zhang, L., & Xia, X. (2015). Optimal operation of wheel loaders in mining. *Applied Energy*, 157, 1030–1038.
- Zhang, X., & Zhao, Y. (2017). Bucket design optimization for wheel loaders based on efficiency analysis. *International Journal of Mechanical Engineering*, 5(3), 112–120.
- Zhao, P., & Liu, W. (2018). Preventive maintenance strategies for construction equipment to minimize downtime. *Journal of Construction Research*, 22(4), 311–325.