



## ***Productivity Analysis of Heavy Equipment Usage in Cut and Fill Work for the IKN Toll Road Construction Project Section 1B, Bandara Sepinggan – Balsam Toll Segment***

Dedy Sulistianto<sup>1</sup> , Tatag Yufitra Rus<sup>2</sup> , Mahfud<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Civil Engineering Department, Balikpapan State Polytechnic  
 [dedy.sulistianto@poltekba.ac.id](mailto:dedy.sulistianto@poltekba.ac.id) (corresponding author)

Received 11-12-2025; revision 28-12-25, accepted 28-12-2025

### **Abstract**

*Cut and fill work is a critical initial stage in toll road construction, including the IKN Toll Road Project Section 1B spanning the Bandara Sepinggan – Balsam Toll segment. Balsam Toll segment. With a total planned cut and fill volume of approximately 900,000 BCM, this project is targeted for completion within 150 days. Consequently, the effective use of heavy equipment is a key factor influencing the speed and quality of earthwork operations in this project. This study aims to analyze the productivity of excavators, dump trucks, and bulldozers, as well as determine the optimal number of heavy equipment units based on actual operational conditions in the field. A quantitative research method was employed by collecting primary data such as cycle time and equipment efficiency, along with secondary data including equipment capacity and production targets. The results indicate that excavators with bucket capacities of 0.93 m<sup>3</sup> and 1.4 m<sup>3</sup> have similar productivity levels of approximately 100 m<sup>3</sup>/hour, requiring nine units each. Dump trucks with capacities of 22 m<sup>3</sup> and 10 m<sup>3</sup> produce 32.73 m<sup>3</sup>/hour and 29.03 m<sup>3</sup>/hour, with required units of 26 and 30, respectively. The bulldozer shows a productivity of 93.2 m<sup>3</sup>/hour requiring five units. The findings highlight that productivity is influenced not only by equipment capacity but also by cycle time and operational efficiency. The study concludes that planning based on actual field data is crucial for determining the required heavy equipment efficiently and preventing resource inefficiencies.*

**Keywords:** Heavy equipment productivity; cut and fill; cycle time; equipment efficiency; toll road project.

## **1. Pendahuluan**

Pembangunan infrastruktur merupakan salah satu pilar penting dalam mendukung pertumbuhan ekonomi dan meningkatkan konektivitas antarwilayah (Hartanto & Rumbyarso, 2024). Sebagai infrastruktur strategis, jalan tol memiliki fungsi vital dalam mempercepat distribusi barang dan mobilitas masyarakat, khususnya pada proyek nasional seperti Ibu Kota Nusantara (IKN) yang membutuhkan efisiensi operasional tinggi untuk menjaga progres pembangunan (Delgado et al., 2017). Salah satu ruas krusial yang sedang dikerjakan adalah Jalan Tol IKN Seksi 1B pada segmen Bandara Sepinggan – Tol Balsam. Ruas ini berfungsi sebagai jalur utama menuju kawasan inti pemerintahan, sehingga keandalan peralatan konstruksi menjadi faktor penentu keberhasilan proyek tersebut (Moultak et al., 2017). Keberadaan jalan tol ini diharapkan dapat memperkuat jaringan transportasi regional serta mendukung aktivitas pembangunan IKN secara optimal melalui percepatan konektivitas dan efisiensi mobilitas. Oleh karena itu, pencapaian kualitas dan ketepatan waktu pada tahap konstruksi memiliki peranan krusial dalam keberhasilan keseluruhan proyek.

Dalam proses pembangunan jalan tol, pekerjaan *cut and fill* merupakan tahapan awal yang sangat penting karena menjadi fondasi bagi pekerjaan konstruksi selanjutnya (Varghese & Xavier, 2018). Pekerjaan ini mencakup penggalian dan penimbunan tanah dalam volume besar dengan kontur lapangan yang bervariasi, sehingga memerlukan kombinasi alat berat yang tepat untuk mencapai efisiensi maksimal (Octovia & Haripriambodo, 2023). Penggunaan *excavator*, *dump truck*, dan *bulldozer* menjadi elemen penting dalam mengatur alur operasi pekerjaan tanah, karena setiap alat memiliki peran khusus yang saling melengkapi untuk mengoptimalkan kinerja di lapangan (Rostami, 2016). Oleh sebab itu, pemilihan, penempatan, serta pengoperasian alat berat harus dilakukan secara tepat untuk meminimalkan keterlambatan dan menjaga kualitas hasil pekerjaan.

Meskipun demikian, pelaksanaan pekerjaan *cut and fill* tidak terlepas dari berbagai kendala operasional yang dapat menghambat produktivitas alat berat, termasuk kondisi cuaca yang tidak menentu yang dapat mengganggu pola kerja alat berat secara signifikan (Arifin, 2017). Selain itu, faktor kontur tanah yang tidak seragam serta kebutuhan koordinasi antaralat juga dapat menyebabkan terjadinya ketidakefisienan siklus kerja, sehingga diperlukan pendekatan teknis dalam manajemen alat di lapangan (Riskijah et al., 2021). Apabila kendala tersebut tidak diantisipasi dengan analisis perencanaan yang akurat, maka potensi keterlambatan pekerjaan sangat besar dan berdampak pada keseluruhan jadwal proyek (Hadiyatmoko et al., 2023). Dengan demikian, pemahaman yang tepat terhadap tantangan lapangan menjadi dasar penting dalam merancang strategi penggunaan alat berat yang lebih efektif dan efisien.

Analisis produktivitas alat berat menjadi aspek penting untuk memastikan kegiatan konstruksi berjalan sesuai rencana, karena produktivitas sangat dipengaruhi oleh waktu siklus, kapasitas alat, efisiensi operator, dan kondisi lapangan (Khalla et al., 2024). Produktivitas alat berat berpengaruh langsung terhadap efektivitas pekerjaan konstruksi, terutama pada proyek besar seperti jalan tol (Hardiyatmo, 2010). Oleh sebab itu, pengukuran kinerja alat berat secara kuantitatif diperlukan untuk memberikan gambaran akurat mengenai kemampuan produksi setiap unit alat di lapangan dan mendukung proses pengambilan keputusan (Hadianto & Putra, 2025). Analisis ini tidak hanya bermanfaat bagi perencanaan teknis, tetapi juga memberikan kontribusi pada optimasi sumber daya dan pengendalian waktu pelaksanaan pada tahap pekerjaan tanah.

Dalam penelitian ini, telaah terhadap berbagai penelitian sebelumnya menjadi acuan penting untuk memahami bagaimana produktivitas alat berat telah dianalisis pada proyek lain. Produktivitas alat berat pada pekerjaan timbunan dapat bervariasi berdasarkan kombinasi alat, dan alternatif kombinasi tertentu mampu mempercepat durasi pekerjaan hingga 27 hari serta menghemat biaya lebih dari 6% (Aini, 2024). Komposisi alat yang optimal yaitu: tiga *excavator*, satu *dozer*, satu *roller*, dan empat *dump truck*, mampu meningkatkan total produksi dan mengurangi waktu pelaksanaan proyek dari 76 hari menjadi 26 hari (Maddeppungeng, 2012). Faktor cuaca, kerusakan alat, dan perlunya pekerjaan tambahan seperti striping menjadi penyebab keterlambatan proyek, dan optimalisasi jumlah alat misalnya penggunaan dua *excavator* dan sepuluh *dump truck* dapat membantu mengejar target penyelesaian (Sarya, 2022). Temuan-temuan tersebut memberi dasar penting bagi analisis produktivitas alat berat dalam konteks proyek lain.

Meskipun telah banyak penelitian yang mengkaji produktivitas alat berat, sebagian besar penelitian tersebut berfokus pada pekerjaan timbunan atau kombinasi alat pada kondisi tertentu dan belum menyoroti secara spesifik pekerjaan *cut and fill* pada proyek strategis

berskala besar seperti Jalan Tol IKN Seksi 1B. Selain itu, masih terdapat keterbatasan penelitian yang menggunakan data produktivitas aktual berdasarkan kondisi lapangan yang sesungguhnya, bukan hanya estimasi perencanaan. Berdasarkan gap tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghitung nilai produktivitas alat berat yang digunakan pada pekerjaan cut and fill serta menentukan jumlah kebutuhan excavator dan dump truck agar pekerjaan berjalan lebih efisien dan sesuai dengan target waktu yang telah ditetapkan. Penelitian ini diharapkan memberikan manfaat praktis bagi perusahaan konstruksi dalam pengambilan keputusan operasional dan menjadi referensi dalam perencanaan penggunaan alat berat pada proyek-proyek sejenis.

## 2. Metode

---

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif, yaitu metode yang menekankan pada penggunaan data numerik untuk dianalisis secara statistik guna memperoleh kesimpulan objektif mengenai produktivitas alat berat. Pendekatan kuantitatif dipilih karena penelitian ini berfokus pada pengukuran waktu siklus, kapasitas kerja, dan efisiensi alat, sehingga membutuhkan data-data angka yang terukur dan dapat diuji secara sistematis. Seluruh proses pengumpulan data dilakukan dalam rentang waktu terbatas melalui observasi langsung di lapangan sehingga hasil yang diperoleh mencerminkan kondisi operasional aktual pada pekerjaan cut and fill.

Pengumpulan data dilakukan dengan menggunakan beberapa peralatan seperti stopwatch untuk mencatat waktu siklus kerja alat berat, kamera atau handphone untuk dokumentasi, serta formulir observasi sebagai lembar pencatatan aktivitas alat di lapangan. Data primer diperoleh melalui pengamatan langsung terhadap operasi excavator, dump truck, dan bulldozer, meliputi waktu siklus, efisiensi kerja, serta kondisi lapangan yang memengaruhi produktivitas alat. Sementara itu, data sekunder dikumpulkan dari dokumen perusahaan, literatur, dan referensi teknis lain yang mencakup kapasitas alat berat, target produksi, dan informasi pendukung lainnya. Penelitian dilakukan pada lokasi proyek di Jalan Manggar, Kecamatan Balikpapan Timur, Kalimantan Timur, sehingga seluruh data mencerminkan karakteristik lapangan pada pekerjaan cut and fill di segmen tersebut.

Proses penelitian mengikuti alur sistematis yang dimulai dari identifikasi masalah dan studi literatur untuk memahami konsep-konsep yang relevan terkait produktivitas alat berat. Selanjutnya, data primer dan sekunder dianalisis untuk menghitung volume galian, waktu siklus alat, produktivitas per jam, dan jumlah kebutuhan alat berdasarkan kondisi aktual proyek. Analisis dilakukan menggunakan rumus-rumus produktivitas untuk excavator, dump truck, dan bulldozer, sehingga diperoleh gambaran kuantitatif mengenai kemampuan setiap alat dalam menyelesaikan pekerjaan. Tahap akhir penelitian adalah penarikan kesimpulan yang menjawab rumusan masalah dan tujuan penelitian serta memberikan saran bagi optimalisasi penggunaan alat berat pada proyek sejenis.

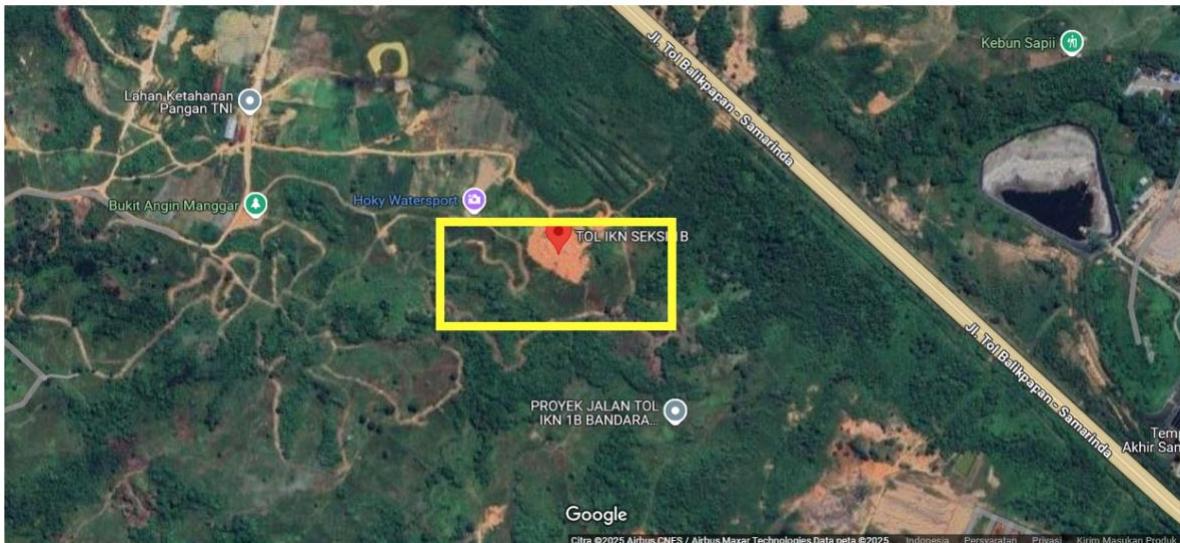
## 3. Hasil dan Pembahasan

---

### 3.1. Produktivitas Alat Berat pada Pekerjaan Cut and Fill

Analisis produktivitas alat berat dilakukan berdasarkan data operasional aktual pada proyek pembangunan Jalan Tol IKN Seksi 1B. Pengamatan dilakukan pada pekerjaan cut and fill dengan tujuan memperoleh nilai produktivitas excavator, dump truck, dan bulldozer yang terlibat dalam aktivitas penggalian, pemuatian, pengangkutan, dan penyebaran

material. Sebagai konteks lokasi penelitian, peta area proyek ditampilkan untuk menunjukkan posisi observasi lapangan.



Gambar 1. Peta Lokasi Penelitian

Dua jenis excavator digunakan yaitu excavator dengan kapasitas bucket  $0,93 \text{ m}^3$  dan  $1,4 \text{ m}^3$ . Meskipun kapasitas bucket berbeda, produktivitas keduanya relatif sama karena waktu siklus excavator berkapasitas besar lebih panjang. Nilai efisiensi kerja alat ditetapkan sebesar 0,75 berdasarkan kondisi alat di lapangan. Rincian parameter operasional excavator ditampilkan pada Tabel 1 berikut.

Tabel 1. Parameter Perhitungan Produktivitas Excavator

Parameter	Excavator $0,93 \text{ m}^3$	Excavator $1,4 \text{ m}^3$
Kapasitas bucket ( $\text{m}^3$ )	0.93	1.40
Efisiensi kerja	0.75	0.75
Faktor bucket	0.80	0.80
Waktu siklus (detik)	20	30
Produktivitas per jam ( $\text{m}^3/\text{jam}$ )	100.4	100.4
Produktivitas per hari ( $\text{m}^3/\text{hari}$ )	703.08	705.06
Jumlah alat yang dibutuhkan	9 unit	9 unit

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa produktivitas excavator  $0,93 \text{ m}^3$  dan  $1,4 \text{ m}^3$  masing-masing menghasilkan sekitar  $100,4 \text{ m}^3/\text{jam}$ . Dengan asumsi jam kerja efektif 7 jam/hari dan total durasi proyek 150 hari, untuk memenuhi target total timbunan dan galian sekitar 900.000 bcm maka diperoleh kebutuhan sebanyak **9 unit excavator** untuk masing-masing tipe guna memenuhi target volume pekerjaan.

Adapun dump truck berfungsi mengangkut material hasil galian dari excavator. Dua kapasitas bak yang dianalisis adalah  $22 \text{ m}^3$  dan  $10 \text{ m}^3$ . Nilai efisiensi kerja alat ditetapkan sebesar 0,75 dengan variasi waktu siklus antara 24–27 menit. Parameter operasional dump truck dirangkum dalam Tabel 2.

Tabel 2. Parameter Perhitungan Produktivitas Dump Truck

Parameter	Dump Truck 22 m <sup>3</sup>	Dump Truck 10 m <sup>3</sup>
Kapasitas bak (m <sup>3</sup> )	22	10
Efisiensi kerja	0.75	0.75
Faktor bak	0.80	0.80
Waktu siklus (menit)	24.20	27.32
Produktivitas per jam (m <sup>3</sup> /jam)	32.73	29.03
Produktivitas per hari (m <sup>3</sup> /hari)	229.09	203.23
Jumlah alat yang dibutuhkan	26 unit	30 unit

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa dump truck kapasitas 22 m<sup>3</sup> memiliki produktivitas lebih tinggi dibanding kapasitas 10 m<sup>3</sup>. Dengan total volume pekerjaan dan waktu penyelesaian 150 hari, kebutuhan dump truck adalah **26 unit** untuk bak 22 m<sup>3</sup> dan **30 unit** untuk bak 10 m<sup>3</sup>. Perbedaan produktivitas dipengaruhi oleh kombinasi waktu siklus dan kapasitas muatan.

Bulldozer sendiri digunakan untuk meratakan dan menyebarkan material yang diangkut dump truck. Bulldozer Komatsu D85E-SS2 memiliki kapasitas blade 3,00 m<sup>3</sup>, dengan efisiensi alat 0.65 dan waktu siklus 1,45 menit. Perhitungan parameter bulldozer ditampilkan dalam Tabel 3 berikut.

Tabel 3. Parameter Perhitungan Produktivitas Bulldozer

Parameter	Nilai
Lebar blade (m)	4.37
Tinggi blade (m)	1.07
Kapasitas blade (m <sup>3</sup> )	3.00
Efisiensi kerja	0.75
Waktu siklus (menit)	1.45
Produktivitas per jam (m <sup>3</sup> /jam)	93.2
Produktivitas per hari (m <sup>3</sup> /hari)	652.50
Jumlah alat yang dibutuhkan	5 unit

Perhitungan menunjukkan kebutuhan bulldozer sebanyak **5 unit** untuk mendukung pekerjaan cut and fill.

### 3.2. Rekapitulasi Kebutuhan Alat dan Analisis Efisiensi Operasional

Perhitungan produktivitas excavator, dump truck, dan bulldozer digunakan untuk menentukan komposisi alat yang optimal agar pekerjaan dapat diselesaikan dalam 150 hari. Rekapitulasi kebutuhan alat berat ditunjukkan pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Rekapitulasi Kebutuhan Alat Berat

No	Jenis Alat	Kapasitas	Jumlah Unit	Produktivitas (m <sup>3</sup> /hari)
1	Excavator SK200	0.93 m <sup>3</sup>	9	703.08
2	Excavator SK330	1.40 m <sup>3</sup>	9	705.06

No	Jenis Alat	Kapasitas	Jumlah Unit	Produktivitas (m <sup>3</sup> /hari)
3	Dump Truck Hino	22 m <sup>3</sup>	26	229,09
4	Dump Truck Mitsubishi	10 m <sup>3</sup>	30	203,23
5	Bulldozer Komatsu D85	3 m <sup>3</sup>	5	652,50

Dari rekapitulasi tersebut, terlihat bahwa kebutuhan alat berat ditentukan oleh produktivitas harian dan target durasi proyek. Sinkronisasi antara excavator dan dump truck menjadi faktor penentu kelancaran operasional di lapangan. Jumlah dump truck yang lebih besar dibanding excavator menunjukkan bahwa alat angkut harus mampu mengimbangi kapasitas alat gali agar tidak terjadi antrian maupun idle time. Pada bulldozer, jumlah kebutuhan yang lebih sedikit mencerminkan tugasnya yang tidak kontinu seperti alat gali dan angkut.

Analisis ini menunjukkan bahwa kapasitas alat bukan satu-satunya penentu produktivitas, karena waktu siklus dapat memengaruhi output harian secara signifikan. Temuan lain yang penting adalah perlunya koreksi data awal terkait bulldozer, karena perhitungan produktivitas aktual menghasilkan angka kebutuhan yang jauh lebih kecil. Dengan demikian, penelitian ini memberikan gambaran bahwa perhitungan produktivitas berbasis data lapangan sangat penting untuk perencanaan penggunaan alat berat secara efisien dan ekonomis.

## 4. Kesimpulan

Penelitian ini menunjukkan bahwa produktivitas alat berat pada pekerjaan cut and fill proyek Jalan Tol IKN Seksi 1B sangat dipengaruhi oleh kapasitas alat, waktu siklus, dan efisiensi operasional di lapangan. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa excavator kapasitas 0,93 m<sup>3</sup> dan 1,4 m<sup>3</sup> memiliki produktivitas yang hampir sama, yaitu sekitar 100 m<sup>3</sup>/jam, sehingga masing-masing membutuhkan 9 unit untuk memenuhi target proyek. Dump truck kapasitas 22 m<sup>3</sup> dan 10 m<sup>3</sup> menghasilkan produktivitas 32,73 m<sup>3</sup>/jam dan 29,03 m<sup>3</sup>/jam, dengan kebutuhan masing-masing 26 unit dan 30 unit. Bulldozer memiliki produktivitas 93,2 m<sup>3</sup>/jam dengan kebutuhan 5 unit. Secara keseluruhan, analisis ini menegaskan bahwa perhitungan produktivitas berbasis data lapangan penting untuk menentukan jumlah alat berat yang optimal dan mencegah pemborosan sumber daya selama pelaksanaan pekerjaan tanah.

Hasil penelitian ini memiliki implikasi langsung terhadap manajemen peralatan dalam proyek konstruksi skala besar, khususnya pekerjaan tanah yang memerlukan koordinasi ketat antar-alat berat. Temuan bahwa kapasitas alat tidak selalu sebanding dengan peningkatan produktivitas mengindikasikan bahwa pemilihan alat harus mempertimbangkan waktu siklus dan kondisi aktual di lapangan, bukan sekadar spesifikasi teknis. Perhitungan kebutuhan alat yang akurat dapat membantu kontraktor menghindari idle time, mengoptimalkan penggunaan alat angkut terhadap alat gali, serta mengurangi biaya operasional dan biaya sewa alat. Selain itu, hasil penelitian ini dapat menjadi referensi untuk perencanaan peralatan pada proyek infrastruktur lain yang memiliki karakteristik pekerjaan serupa.

Penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan variabel tambahan seperti kondisi cuaca harian, tingkat keterampilan operator, dan manajemen logistik lapangan yang dapat memengaruhi waktu siklus alat berat secara lebih detail. Penggunaan perangkat monitoring

digital atau sensor telematik juga dapat memperkaya akurasi data produktivitas alat berat secara real time. Selain itu, kontraktor disarankan untuk mengevaluasi kembali spesifikasi alat sebelum penentuan jumlah unit agar tidak terjadi overestimasi, seperti pada kasus bulldozer dalam penelitian ini. Implementasi pengaturan jadwal operasional yang lebih efisien dan sinkronisasi antara alat gali dan alat angkut juga direkomendasikan agar produktivitas pekerjaan cut and fill dapat ditingkatkan.

## Ucapan Terimakasih

---

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah memberikan dukungan dan kontribusi dalam penyusunan artikel ini. Terima kasih kepada dosen pembimbing yang telah memberikan arahan dan masukan yang sangat berharga, pihak perusahaan yang menyediakan data serta kesempatan untuk melakukan observasi lapangan, serta rekan-rekan yang turut membantu dalam proses penelitian dan penyusunan laporan. Dukungan dan bantuan yang diberikan sangat berarti dalam menyelesaikan penelitian ini.

## Daftar Pustaka

---

- Aini, F. N. (2024). *Analisis produktivitas penggunaan alat berat menggunakan metode time study pada pekerjaan timbunan tanah*.
- Andi Maddeppungeng, S. Y. (2012). Analisis produktivitas alat-alat berat studi kasus proyek pembangunan Jalan Antartika II di Kawasan Industri Krakatau Steel. *Fondasi: Jurnal Teknik Sipil*, 1(1).
- Arifin, M. F. A. (2017, March). Cost analysis for heavy equipment in earthfill work–An optimization of heavy equipment fleet (Case study: Jabung ring dike project). In *AIP Conference Proceedings* (Vol. 1818, No. 1, p. 020005). AIP Publishing LLC.
- Delgado, O., Rodríguez, F., & Muncrief, R. (2017). Fuel efficiency technology in European heavy-duty vehicles: Baseline and potential for the 2020–2030 time frame. *Communications*, 49(30), 847129–848102.
- Gede Sarya, R. A. (2022). Analisis produktivitas alat berat proyek cut and fill pada Cluster Silver Sand Tahap I Puncak Tidar Malang. *Jurnal Kacapuri: Jurnal Keilmuan Teknik Sipil*, 5(1), 252–259.
- Hadianto, U., & Putra, I. N. D. P. (2025). Efficiency analysis of the combination of heavy equipment use in excavation and landfill work in road construction projects. *Physical Sciences, Life Science and Engineering*, 2(3), 18–18.
- Hadiyatmoko, D., Hatmoko, J. U. D., & Wibowo, M. A. (2023). Analysis of launcher's productivity in erection girder using time motion study method. *Civil Engineering Journal*, 9(8), 1897–1911.
- Hardiyatmo, H. (2010). *Mekanika tanah 2*. Gadjah Mada University Press.
- Hartanto, B. G., & Rumbyarso, Y. P. A. (2024). Analysis of heavy equipment performance on the Probolinggo-Banyuwangi toll road project KM section KM 09+125 to KM 09+725. *International Journal of Multi Science*, 4(03), 57–63.
- Khalla, Z., Alshibani, A., Alsawafy, O., Mohammed, A., & Bubshait, A. (2024). Dynamic fleet configuration model for optimizing earthmoving operations using mixed integer linear programming. *Journal of Construction Engineering and Management*, 150(11), 04024152.
- Moultak, M., Lutsey, N., & Hall, D. (2017, September). *Transitioning to zero-emission heavy-duty freight vehicles*. ICCT.

- Octovia, F., & Haripriambodo, T. (2023, April). Selection analysis of heavy equipment on earthwork construction with linear programming (Case study: Kertajadi toll road). In *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science* (Vol. 1169, No. 1, p. 012024). IOP Publishing.
- Riskijah, S. S., Pradipta, B. A., & Lidyaningtyas, D. (2021, February). Optimization of heavy equipment for earthwork in the construction of Mainroad Section X of Pandaan–Malang Toll Road. In *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering* (Vol. 1073, No. 1, p. 012020). IOP Publishing.
- Rostami, J. (2016). Performance prediction of hard rock Tunnel Boring Machines (TBMs) in difficult ground. *Tunnelling and Underground Space Technology*, 57, 173–182.
- Varghese, A., & Xavier, A. S. (2018). Literature review on hauling equipment productivity using cycle time calculation. *International Research Journal of Mining Science and Technology Journal*, 3, 149–157.



This work is licensed under a Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License