OPTIMASI PENGGUNAAN *EXCAVATOR* DAN *DUMP TRUCK* PADA PROYEK X DENGAN METODE *LINEAR PROGRAMMING*

Krisna Imanda¹ dan Arianti Sutandi²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
krisna.325200052@untar.ac.id

²Program Studi Sarjana Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No. 1, Jakarta, Indonesia
ari.sutandi@gmail.com

Masuk: 26-06-2024, revisi: 08-07-2024, diterima untuk diterbitkan: 12-09-2024

ABSTRACT

The growth of construction projects in Indonesia demands efficient utilization of heavy equipment in infrastructure projects. One of the significant cost factors involves the use of heavy machinery such as Excavators and Dump Trucks. This study employs linear programming to optimize the usage of Excavators and Dump Trucks in a soil excavation project in Bogor. By minimizing the operational costs of heavy machinery, the research identifies the optimal number of equipment required to achieve the targeted volume of soil. The results indicate that employing the LP model with LINGO software significantly reduces project costs, saving approximately Rp368,445,800 per week compared to field costs. This research contributes to enhancing operational efficiency and reducing costs in construction projects through the optimization of heavy equipment utilization. The optimization of heavy equipment utilization in construction projects not only improves cost efficiency but also ensures the timely completion of projects within budget constraints. By leveraging mathematical models such as linear programming, this study demonstrates a practical approach to achieving these goals. The findings underscore the importance of strategic planning and efficient resource allocation in enhancing overall project performance and competitiveness in the construction industry.

Keywords: Heavy equipment; excavator; dump truck; optimization; linear programming

ABSTRAK

Pertumbuhan industri konstruksi di Indonesia menuntut penggunaan alat berat yang efisien dalam proyek-proyek infrastruktur. Salah satu faktor biaya terbesar adalah penggunaan alat berat seperti *excavator* dan *dump truck*. Penelitian ini menggunakan pendekatan *linear programming* untuk mengoptimalkan penggunaan *excavator* dan *dump truck* dalam proyek penggalian tanah di Bogor. Dengan meminimalkan biaya operasional alat berat, studi ini berhasil mengidentifikasi penggunaan optimal alat berat yang diperlukan untuk mencapai volume tanah yang ditargetkan. Hasilnya menunjukkan bahwa penggunaan model *linear programming* dengan bantuan program LINGO dapat mengurangi biaya proyek secara signifikan, sekitar Rp368.445.800 per minggu, dibandingkan dengan biaya lapangan. Penelitian ini memberikan kontribusi dalam meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya pada proyek konstruksi melalui optimasi penggunaan alat berat.

Kata kunci: Alat berat; *excavator*; *dump truck*; optimasi; *linear programming*

1. PENDAHULUAN

Pertumbuhan pembangunan proyek di Indonesia sedang mengalami perkembangan yang sangat pesat, dengan alat berat menjadi faktor penting dalam proyek konstruksi. Penggunaan alat berat bertujuan untuk memudahkan pekerjaan dan mencapai hasil yang diharapkan dengan lebih efisien (Kholil, 2012). Berbagai jenis alat berat digunakan dalam proyek konstruksi, masing-masing dengan fungsi yang spesifik. *Excavator* digunakan untuk menggali dengan kapasitas besar, *backhoe* untuk menangkap material, *bulldozer* untuk membersihkan lapangan, *loader* untuk memuat material, *vibration roller* untuk memadatkan permukaan, dan *dump truck* (Sarwandy & Royan, 2021). *Dump truck* adalah alat berat yang dirancang untuk mengangkut atau memindahkan material dalam jarak tertentu. *Piston, tube, rod*, dan lainnya adalah beberapa komponen utama (Sudianto et al., 2018). *Dump truck* digunakan untuk memindahkan material galian dari lokasi ke proyek. Alat ini mengangkut material lepas seperti pasir, kerikil, tanah, dan mineral/batubara dalam konstruksi dan pertambangan (Fauzi & Dani, 2021).

Salah satu aspek yang menggunakan biaya besar dalam proyek infrastruktur adalah penggunaan alat berat, yang sering kali disebabkan oleh jam operasional yang panjang. Untuk mengatasi hal ini, diperlukan optimasi dan penjadwalan penggunaan alat berat guna menghemat biaya proyek secara signifikan. Menurut Winardi (1996), optimalisasi adalah

ukuran yang menyebabkan tercapainya tujuan. Secara umum optimalisasi adalah pencarian nilai terbaik dari yang tersedia dari beberapa fungsi yang diberikan pada suatu konteks. Menurut Cao & Bedworth (1992), terdapat dua target yang ingin dicapai melalui penjadwalan, yaitu jumlah *output* yang dihasilkan dan batas waktu penyelesaian yang telah ditetapkan. Tujuan dari penjadwalan yaitu menghindari terjadinya keterlambatan pada perencanaan yang dilakukan sebelumnya sehingga tidak terjadi keterlambatan dan biaya yang membengkak pada suatu kegiatan

Penelitian ini berfokus pada optimasi penggunaan *excavator* dan *dump truck* pada proyek jalan di Bogor dengan luas 39.000 m² dan volume 250.000 m³. Kedua alat berat ini berperan penting dalam rangkaian proses konstruksi, di mana *excavator* digunakan untuk menggali dan memuat material ke dalam *dump truck* yang kemudian mengangkut material tersebut ke lokasi yang telah ditentukan. Optimasi penggunaan *excavator* dan *dump truck* memiliki potensi besar untuk meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya proyek secara keseluruhan.

Menurut Stapleton (2003) *linear programming* adalah teknik aplikasi matematika untuk menentukan pemecahan masalah yang bertujuan untuk memaksimalkan atau meminimalkan sesuatu yang dibatasi oleh batasan-batasan tertentu. Oleh karena itu, penelitian ini akan menggunakan metode *linear programming* untuk mengoptimalkan penggunaan alat berat dalam proyek konstruksi.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menghitung jumlah minimum *excavator* dan *dump truck* yang diperlukan untuk galian tanah pada proyek X dan menghitung penghematan biaya yang dapat dicapai setelah dilakukan optimasi.

2. METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang digunakan adalah pendekatan kuantitatif, yaitu teknik *linear programming* dengan bantuan program LINGO untuk meminimalkan biaya operasional alat berat.

Langkah-langkah penelitian yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pengumpulan data
 - a. Data umum proyek: Informasi umum mengenai proyek, seperti luas dan volume tanah.
 - b. Data alat-alat berat: Jumlah dan jenis alat berat yang digunakan, khususnya *excavator* dan *dump truck*.
 - c. Data biaya: Biaya operasional terkait penggunaan alat berat.
 - d. Data teknis proyek: Gambar kerja proyek.
2. Pembuatan persamaan *linear programming*
 - a. Fungsi tujuan (*objective function*): Menentukan fungsi tujuan untuk meminimalkan biaya operasional alat berat.
 - b. Kendala (*constraints*): Menentukan kendala yang harus dipenuhi dalam optimasi, seperti waktu maksimal jam kerja per hari.
 - c. Variabel keputusan (*decision variables*): Menentukan variabel keputusan yang akan dioptimalkan, misalnya jumlah *excavator* (X1) dan *dump truck* (Y1).
3. Analisis data menggunakan program LINGO
 - a. Menggunakan program LINGO untuk menyelesaikan persamaan *linear programming*.
 - b. Menentukan jumlah optimal *excavator* dan *dump truck* yang diperlukan berdasarkan hasil optimasi.
4. Perbandingan biaya
 - a. Membandingkan hasil optimasi dengan biaya operasional di lapangan untuk mengidentifikasi penghematan biaya yang dapat dicapai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Setelah mengumpulkan data teknis dan operasional proyek, langkah selanjutnya adalah melakukan analisis untuk menentukan jumlah kebutuhan alat berat yang digunakan dan estimasi total biaya optimal. Dalam proyek X yang berlokasi di Bogor ini, pekerjaan *cut and fill* yang berlangsung selama 6 bulan melibatkan penggunaan *excavator* dan *dump truck* untuk mengangkut total volume tanah sebesar 250.000 m³. Data yang diperoleh mencakup informasi teknis seperti volume galian, banyaknya alat berat yang digunakan, serta biaya sewa dan operasional alat berat tersebut. Berdasarkan data ini, dilakukan perhitungan untuk mendapatkan jumlah volume tanah yang diangkut, kebutuhan alat berat, dan estimasi total biaya optimal menggunakan *Linear Programming* (LP) dengan bantuan *software* LINGO.

Data lapangan

Data lapangan terbagi menjadi dua bagian, data *excavator* dan data *dump truck*.

Waktu yang diperlukan untuk 1 siklus *excavator* untuk mengisi *dump truck* adalah 45 detik (menggali, *swing*, *dump*, *swing back*) yang mampu mengangkut volume efektif 1.2 m³. Untuk mengisi 1 *dump truck* hingga penuh diperlukan 12 siklus atau selama 9 menit (volume *dump truck* = 14.4 m³). Batasan waktu kerja dalam 1 hari adalah 420 menit,

tetapi dikarenakan adanya 7 kali *moving* yang dilakukan pada *excavator* selama 2 menit per *moving*, waktu kerja per hari menjadi 406 menit atau 23.360 detik. Jadi, dalam satu hari *excavator* dapat melakukan 541 siklus (23.360 detik / 45 detik), sehingga dapat memproduksi volume sebanyak 649,4 m³

Volume yang diangkut oleh *dump truck* per hari tiap zona didapatkan dari hasil perhitungan volume *dump truck* (14.4 m³) di kali dengan banyaknya rit per hari. Hasil dari banyaknya rit per hari didapatkan dari total durasi *excavator* mengisi sampai *dump truck* penuh dan durasi perjalanan *dump truck* ke *disposal*.

Seluruh hasil perhitungan waktu per rit dan volume yang diangkut per hari dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Waktu transportasi dan rit per hari dari *dump truck* di masing-masing zona.

Zona	Waktu per rit	Banyaknya rit per hari	Volume yang diangkut per hari
Zona 1	32 menit	13 rit	189 m ³
Zona 2	34 menit	12 rit	178 m ³
Zona 3	34 menit	12 rit	178 m ³
Zona 4	32 menit	13 rit	189 m ³
Zona 5	36 menit	12 rit	168 m ³
Zona 6	36 menit	12 rit	168 m ³

Data biaya

Biaya sewa dan operasional alat berat ditampilkan pada Tabel 2, yang mencakup biaya sewa, bahan bakar, dan operator per hari. Total biaya per minggu untuk *excavator* dan *dump truck* dihitung berdasarkan data ini.

Tabel 2. Biaya sewa dan operasioanl alat berat

Kode Alat	Alat yang digunakan	Biaya sewa per hari	Kebutuhan BBM per hari	Biaya BBM per liter	Biaya Operator/ Sopir per hari	Total Biaya per hari	Total Biaya per minggu
E1-E6	Excavator PC 200 Hino	Rp2.100.000	150 liter (Zona 1-6)	Rp19.000	Rp175.000	Rp5.125.000	Rp35.875.000
DT1	Ranger FM260JD Hino	Rp1.312.500	40 liter (Zona 1)	Rp19.000	Rp175.000	Rp2.247.500	Rp15.732.500
DT2, DT3, DT4	Ranger FM260JD Hino	Rp1.312.500	(Zona 2, 3 dan 4)	Rp19.000	Rp175.000	Rp2.437.500	Rp17.062.500
DT5	Ranger FM260JD Hino	Rp1.312.500	60 liter (Zona 5)	Rp19.000	Rp175.000	Rp2.627.500	Rp18.392.500
DT6	Ranger FM260JD Hino	Rp1.312.500	60 liter (Zona 6)	Rp19.000	Rp175.000	Rp2.627.500	Rp18.392.500

Persamaan *linear programming*

Untuk menentukan biaya optimal, digunakan model *linear programming* dengan formulasi *objective function*, *constraints*, dan *decision variables* yang jelas. Variabel keputusan X dan Y merepresentasikan banyaknya *excavator* dan *dump truck* yang digunakan di tiap zona.

Dalam model ini, variabel keputusan (*decision variables*) yang digunakan adalah:

Xi: Jumlah *excavator* yang digunakan di zona ke-i (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6)

Yi: Jumlah *dump truck* yang digunakan di zona ke-i (i = 1, 2, 3, 4, 5, 6)

Tujuan dari model ini adalah untuk meminimalkan total biaya penggunaan alat berat (*excavator* dan *dump truck*). Formulasi *objective function* dalam Persamaan 1.

$$MIN Z = 35875(X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6) + 15732Y_1 + 17062(Y_2 + Y_3 + Y_4) + 18392(Y_5 + Y_6) \quad (1)$$

Keterangan:

- X1-X6 adalah banyaknya *excavator* di masing-masing zona
- Y1-Y6 adalah banyaknya *dump truck* di masing-masing zona

- Biaya per minggu untuk satu *excavator* di masing-masing zona adalah 35875
- Biaya per minggu untuk satu *dump truck* di masing-masing zona adalah 15732, 17062 dan 18392

Constraints dalam model ini mencakup beberapa aspek penting yang harus dipenuhi

Batasan volume tanah yang diangkut yaitu setiap zona harus mengangkut volume tanah sesuai dengan target yang telah ditentukan pada Tabel 3.

Tabel 3. Batasan volume yang harus diangkut

Zona	Volume yang harus diangkut
Zona 1	66.600 m ³
Zona 2	67.800 m ³
Zona 3	35.753 m ³
Zona 4	26.400 m ³
Zona 5	41.815 m ³
Zona 6	11.792 m ³

Berdasarkan data pada Tabel 3, *constraints* untuk batasan volume tanah yang diangkut dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Batasan untuk volume tanah yang harus diangkut

Zona	<i>Excavator</i>	<i>Dump Truck</i>
Zona 1	$649,4 \times X1 \times 168 \geq 66600$	$189 \times Y1 \times 168 \geq 66600$
Zona 2	$649,4 \times X2 \times 168 \geq 67800$	$178 \times Y2 \times 168 \geq 67800$
Zona 3	$649,4 \times X3 \times 168 \geq 35753$	$178 \times Y3 \times 168 \geq 35753$
Zona 4	$649,4 \times X4 \times 168 \geq 26400$	$189 \times Y4 \times 168 \geq 26400$
Zona 5	$649,4 \times X5 \times 168 \geq 41815$	$168 \times Y5 \times 168 \geq 41815$
Zona 6	$649,4 \times X6 \times 168 \geq 11792$	$168 \times Y6 \times 168 \geq 11792$

Dalam model yang dapat dilihat pada Tabel 4. Angka 649,4 mewakili volume tanah yang akan diproduksi setiap hari oleh setiap *excavator* di zona tertentu. Sementara angka sebelum Y1-Y6 (misalnya 189 untuk Y1, 178 untuk Y2, dan seterusnya) adalah volume yang dapat diangkut oleh satu *dump truck* dalam satu hari di masing-masing zona. Persamaan-persamaan ini menunjukkan keterkaitan yang penting antara volume produksi *excavator* dengan kapasitas angkut *dump truck*, yang harus diatur dengan baik agar operasi berjalan efisien dan terkoordinasi.

Waktu operasi alat berat dibatasi oleh total jam kerja yang tersedia dalam sehari yang dapat dilihat pada Tabel 5.

Tabel 5. Batasan waktu beroperasi *excavator* dan *dump truck*

Zona	<i>Excavator</i>	<i>Dump Truck</i>
Zona 1	$9 \times 45 \times X1 \leq 406$	$9 \times 13 \times Y1 \leq 420$
Zona 2	$9 \times 45 \times X2 \leq 406$	$9 \times 12 \times Y2 \leq 420$
Zona 3	$9 \times 45 \times X3 \leq 406$	$9 \times 12 \times Y3 \leq 420$
Zona 4	$9 \times 45 \times X4 \leq 406$	$9 \times 13 \times Y4 \leq 420$
Zona 5	$9 \times 45 \times X5 \leq 406$	$9 \times 12 \times Y5 \leq 420$
Zona 6	$9 \times 45 \times X6 \leq 406$	$9 \times 12 \times Y6 \leq 420$

Dalam model dapat dilihat pada Tabel 5, dinyatakan batasan waktu operasi untuk *excavator* dan *dump truck*. *Excavator* memiliki batasan waktu yang ketat, di mana 9 menit merupakan waktu yang dibutuhkan untuk mengisi *dump truck* hingga penuh. Selain itu, *excavator* dapat melakukan maksimal 45 kali pengisian dalam sehari.

Waktu maksimal kerja *excavator* per hari adalah 406 menit, dikarenakan adanya waktu untuk moving (pindah) *excavator* sebanyak 7 kali per hari dengan setiap perpindahan waktu selama 2 menit.

Sementara itu, *dump truck* memiliki batasan berdasarkan jumlah ritase per hari, yaitu 12 atau 13 ritase tergantung pada zona. *Dump truck* dapat beroperasi maksimal 420 menit per hari untuk mengangkut material.

Volume tanah yang diproduksi adalah salah satu *constraint* yang penting untuk memastikan efisiensi dan koordinasi antara *excavator* dan *dump truck*. *Constraint* ini bertujuan agar produksi kedua alat berjalan sejalan, Persamaan-persamaannya dapat dilihat pada Tabel 6.

Tabel 6. Volume tanah yang di produksi

Zona	Persamaan <i>Linear Programming</i>
Zona 1	$649,4 \times X1 = 189 \times Y1$
Zona 2	$649,4 \times X2 = 178 \times Y2$
Zona 3	$649,4 \times X3 = 178 \times Y3$
Zona 4	$649,4 \times X4 = 189 \times Y4$
Zona 5	$649,4 \times X5 = 249 \times Y5$
Zona 6	$649,4 \times X6 = 168 \times Y6$

Batasan minimum penggunaan *excavator* dan *dump truck* merupakan bagian penting untuk memastikan bahwa penggunaan alat berat tidak bernilai negatif, yang berarti setiap zona minimal menggunakan alat berat sesuai kebutuhan proyek. Persamaan-persamaan untuk batasan minimum penggunaan ini dinyatakan dalam Tabel 7.

Tabel 7. Batasan minimum penggunaan

Persamaan <i>Linear Programming</i>
$X1 > 0$
$X2 > 0$
$X3 > 0$
$X4 > 0$
$X5 > 0$
$X6 > 0$
$Y1 > 0$
$Y2 > 0$
$Y3 > 0$
$Y4 > 0$
$Y5 > 0$
$Y6 > 0$

Setelah model optimasi ini diimplementasikan menggunakan program LINGO dan dilakukan proses *solving*, hasil analisis yang didapatkan dapat dilihat pada Tabel 8 dan total biaya yang digunakan adalah Rp230.089.200/minggu

Tabel 8. Hasil analisis dari *software* LINGO

Kebutuhan <i>Excavator</i> dan <i>Dump Truck</i>						
	Zona 1	Zona 2	Zona 3	Zona 4	Zona 5	Zona 6
<i>Excavator</i>	0,61 (dibulatkan menjadi 1)	0,62 (dibulatkan menjadi 1)	0,32 (dibulatkan menjadi 1)	0,24 (dibulatkan menjadi 1)	0,56 (dibulatkan menjadi 1)	0,10 (dibulatkan menjadi 1)
<i>Dump Truck</i>	2,09 (dibulatkan menjadi 3)	2,26 (dibulatkan menjadi 3)	1,19 (dibulatkan menjadi 2)	0,83 (dibulatkan menjadi 1)	1,48 (dibulatkan menjadi 2)	0,41 (dibulatkan menjadi 1)

Hasil dari analisis ini kemudian dibandingkan dengan data lapangan untuk mengevaluasi efisiensi biaya yang tercapai dengan menggunakan model LP dari *software* LINGO, sebagaimana tercantum dalam Tabel 9.

Tabel 9. Hasil analisis dari *software* LINGO

Data	Biaya yang digunakan /minggu	Biaya yang digunakan selama 24 minggu
Data Lapangan	Rp598.535.000	Rp14.364.840.000
Hasil Analisis LP	Rp230.089.200	Rp5.522.140.800
Pengematan	Rp368.445.800	Rp8.842.699.200

4. KESIMPULAN

Dengan menggunakan model LP dan *software* LINGO, terlihat bahwa banyaknya *excavator* adalah 6 dan banyaknya *dump truck* adalah 12, angka menunjukkan bahwa lebih sedikit dibanding yang digunakan pada proyek yaitu 9 *excavator* dan 16 *dump truck*. biaya yang dikeluarkan dapat dioptimalkan secara signifikan dibandingkan dengan data

lapangan, dengan penghematan yang mencapai Rp368.445.800 per minggu atau Rp8.842.699.200 selama 24 minggu. Hal ini menunjukkan keefektifan dan efisiensi dari pendekatan optimasi yang diterapkan dalam perencanaan penggunaan alat berat pada proyek ini.

Ucapan terima kasih

Penulis mengucapkan terima kasih kepada seluruh pihak yang telah membantu dalam penyelesaian penulisan penelitian ini, khususnya kepada seluruh pihak yang menyediakan data dan responden, serta kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Tarumanagara (LPPM UNTAR) yang sudah membantu kegiatan penelitian ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Cao, J., & Bedworth, D. D. (1992). Flow shop scheduling in serial multi-product processes with transfer and set-up times. *International Journal of Production Research*, 30(8), 1819-1830. <https://doi.org/10.1080/00207549208948124>
- Fauzi, F. F., & Dani, H. (2021). Analisa perbandingan produktivitas alat berat dump truck tipe A, B, dan C pada proyek konstruksi. *Jurnal OnLine UNESA*, 41185, 1-7. <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/rekayasa-teknik-sipil/article/view/41185/41228>
- Kholil, A. (2012). *Alat berat*. PT Remaja Rodakarya.
- Sarwandy, M. H. A., & Royan, N. (2021). Produktivitas alat berat excavator backhoe pada proyek perumahan Al Zafa Tegal Binangun Kota Palembang. *Jurnal Universitas Muhammadiyah Palembang*, 7(2), 121-125. <https://doi.org/10.32502/jbearing.4211202172>
- Stapleton, D. M., Hanna, J. B., & Markussen, D. (2003). Marketing strategy optimization: Using linear programming to establish an optimal marketing mixture. *American Business Review*, 21(2), 54-62.
- Sudianto, A., Syaifudin, A., Nugraha, A. S., & Wiyono, A. (2018). Analisa cylinder hydraulic dump truck tipe 143 di PT Turbo Engineering. *Prosiding Konferensi Ilmiah Teknologi Texmaco*, 1, 272-278.
- Winardi. (1996). *Perilaku organisasi (organizational behaviour)*. Tarsito Publisher.