

Optimasi Produktivitas Alat Berat dengan Metode Simpleks LINGO (Heavy-Duty Productivity Optimization Using LINGO Simplex Method)

Heru Setiyo Cahyono^{1*}, Apif Miptahul Hajji², Aisyah Larasati³, Imam Alfianto⁴

^{1,2,4}Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang - Indonesia

³Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang - Indonesia

ARTICLE INFO

Article history

Received : 15 July 2022

Revised : 25 August 2022

Accepted : 20 September 2022

DOI :

<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4439>

Keywords :

cost; equipment; LINGO; productivity; optimization; unit.

*e-mail corresponding author :

heruse180@gmail.com

ABSTRAK

Salah satu area yang sekarang menjadi lokasi pembukaan lahan perumahan adalah di Desa Karang Widoro yang sekarang menjadi perkebunan dan pertanian buah serta telah dibeli oleh pengembang Podo Joyo Masyhur (PJM) Group yang kemudian menjalankan proyek "Perumahan The OZ Tidar, Malang" dimana lahan yang dikerjakan memiliki luas total 47.000 m². Pada pekerjaan konstruksi yang mengikutsertakan alat gali-muat, angkut, dan perata tanah memerlukan pertimbangan agar pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target volume pekerjaan dan alokasi waktu yang ditetapkan. Maka perlu dilakukan pengendalian proyek dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang berpengaruh terhadap jalannya pekerjaan galian dan urukan oleh alat berat di lapangan. Beberapa pilihan metode dalam perhitungan optimasi dan pemilihan alat untuk peningkatan produktivitas kerja alat berat adalah Program Linear Metode Simpleks. Lalu digabungkan dengan penggunaan perangkat lunak yang saat ini banyak berkembang, metode ini lebih efektif dalam pencarian solusi terbaik suatu fungsi dengan beberapa variabel dari permasalahan yang ada. LINGO dapat menjadi solusi dalam optimasi pelaksanaan pekerjaan sehingga target pekerjaan dapat selesai tepat waktu dengan biaya operasional yang minimum serta meminimalkan jumlah unit yang didapatkan. Hasil analisis terhadap beberapa faktor yang berpengaruh pada produktivitas dan dihitung menggunakan program linear sehingga mampu dicapai pilihan yang optimum. Model Optimasi Program Linear Metode Simpleks yang ditetapkan adalah : Minimasi $Z = 1836000 x_1 + 483000 x_2 + 712200 x_3$ (dalam Rp/hari)

PENERBIT

UNITRI PRESS
Jl. Telagawarna, Tlogomas-
Malang, 65144, Telp/Fax:
0341-565500



This is an open access article under the Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0 International License. Any further distribution of this work must maintain attribution to the author(s) and the title of the work, journal citation and DOI. CC-BY-SA

ABSTRACT

One of the areas that are now the location for clearing residential land is in Karang Widoro Village, which is now a plantation and fruit farm and has been purchased by the developer Podo Joyo Masyhur (PJM) Group who then runs the project "The OZ Tidar Housing, Malang" where the land being worked on has a total area of 47,000 m². Construction work involving digging, hauling, and leveling equipment requires consideration so that the work can be carried out following the target volume of work and the specified time allocation. So it is necessary to carry out project control by considering aspects that affect excavation and backfill work by heavy equipment in the field. Several choices of methods in optimizing calculations and selecting tools to increase work productivity of heavy equipment are the Linear Simplex Method Program. Then combined with the use of currently widely developed software, this method is more effective in finding the best solution for a function with several variables from existing problems. LINGO can be a solution for optimizing work execution so that work targets can be completed on time with minimum operational costs and minimizing the number of units obtained. The results of the analysis of several factors that influence productivity are calculated using a linear program to achieve an optimum choice. The Simplex Method Linear Program Optimization Model is: Minimization $Z = 1836000 x_1 + 483000 x_2 + 712200 x_3$ (in IDR/day).

Cara Mengutip : Cahyono, H. S., Hajji, A. M., Larasati, A., Alfianto, I. (2022). Optimasi Produktivitas Alat Berat dengan Metode Simpleks LINGO. *Reka Buana : Jurnal Ilmiah Teknik Sipil dan Teknik Kimia*, 7(2), 184-200.

doi:<https://doi.org/10.33366/rekabuana.v7i2.4439>

1. PENDAHULUAN

Tingginya keperluan masyarakat akan perumahan dan kawasan permukiman di Kota Malang menyebabkan semakin banyaknya area di daerah Kabupaten yang berada di pinggiran Kota menjadi lokasi dan tujuan strategis untuk dijadikan sebagai kawasan permukiman dan perumahan baru baik itu dilakukan oleh pihak perseorangan, pemerintah daerah setempat, perusahaan pemerintah, lembaga swadaya, sampai perusahaan pengembang (*developer*) swasta dengan skala kecil dalam bentuk *cluster* maupun skala besar yang mampu menampung hingga beberapa *cluster* dalam suatu proyek pembukaan lahan dan pembangunan rumah [1]. Salah satu area yang saat ini menjadi lokasi untuk pembukaan lahan perumahan adalah Kawasan Pebukitan di Desa Karang Widoro yang saat ini dijadikan sebagai perkebunan dan pertanian buah dan saat ini terdapat area yang telah dibeli oleh pengembang Podo Joyo Masyhur Group dan kemudian menjalankan proyek “Perumahan The OZ Tidar, Malang” yang memiliki lahan dengan luas total mencapai 47.000 m².

Pada pekerjaan-pekerjaan konstruksi yang menurut sertakan peranan alat-alat gali dan angkut, memerlukan beberapa pertimbangan agar pekerjaan dapat dilaksanakan sesuai dengan target volume pekerjaan dengan alokasi waktu yang sudah ditetapkan sehingga harus dilakukan pengendalian proyek dengan mempertimbangkan aspek-aspek yang dapat berpengaruh terhadap jalannya pekerjaan galian dan urukan oleh alat berat di lapangan [2]. Adapun salah satu metode dalam menentukan biaya minimum alat berat dapat dianalisa dengan Riset Operasi, salah satunya dengan Program linear. Metode ini sangat berguna dalam pencarian solusi terbaik dari suatu fungsi dengan lebih dari beberapa variabel dari permasalahan yang ada [3].

Optimasi produktivitas *excavator*, *dump truck*, dan *wheel loader* pada proyek galian dan urukan (*cut and fill*) pembangunan “Perumahan The OZ Tidar, Malang” yang diusulkan pada penelitian ini diharapkan dapat memberikan solusi terhadap pelaksanaan pekerjaan di lapangan sehingga total volume pekerjaan dapat selesai tepat pada waktunya dengan biaya operasional alat berat yang minim dengan cara meminimalkan jumlah unit yang didapatkan dari hasil analisis terhadap beberapa faktor yang berpengaruh pada produktivitas alat dan kemudian dihitung menggunakan formulasi program linear sehingga mampu dicapai pilihan yang optimum [4]. Dalam perhitungan optimasi ini diterapkan metode melalui penggunaan Program Linear Metode Simpleks sebab metode tersebut mampu menampilkan keunggulan yang meliputi beberapa variabel keputusan dan dapat menentukan pemilihan kombinasi dalam penyelesaiannya [5].

Excavator

Excavator ialah alat yang difungsikan dalam pekerjaan galian dan urukan. Biasanya *excavator* dilengkapi dengan lengan hidrolik dan kabel di bagian lengan yang difungsikan guna menggerakkan *bucket* agar mampu mengangkat, mengeruk, dan meletakkan material [6].

Tabel 1. Kondisi kerja dan tata laksana

Kodisi Pekerjaan	Kondisi Tata Laksana			
	Baik sekali	Baik	Sedang	Buruk
Baik Sekali	0,84	0,81	0,75	0,7
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,6
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52

Sumber (Silaban & Angreni, 2022)

Tabel 2. Faktor bucket

Material	Faktor Pengisian
Pasir & Kerikil	0.9 - 1
Tanah Biasa	0.8 - 0.9
Tanah liat Keras	0.65 - 0.75
Tanah Liat Basah	0.50 - 0.60
Batu Pecahan Baik	0.6 - 0.75
Batu Pecahan Kurang Baik	0.4 - 0.50

Sumber (Silaban & Angreni, 2022)

Tabel 3. Waktu untuk menggali

Kondisi Penggalian	Mudah (detik)	Sedang (detik)	Agak Sulit (detik)	Sulit (detik)
< 2 m	6	9	15	26
2 m - 4 m	7	11	17	28
> 4m	8	13	19	30

Sumber [7]

Tabel 4. Waktu untuk swing

Swing (derajat)	Waktu (detik)
45 ⁰ - 90 ⁰	6
90 ⁰ - 180 ⁰	7

Sumber [7]

Waktu untuk memuatkan tanah menurut lokasi dan kemudahan akses pekerjaan yang dilaksanakan di lapangan dapat dibagi menjadi [7]:

1. Lokasi pembuangan sempit, misal truk = 5 - 8 detik
2. Lokasi pembuangan longgar, misal *stock pile* = 3 - 6 detik

Rumus yang dipakai guna menghitung produktivitas *excavator* menurut adalah sebagai berikut [8]:

$$Produktivitas = \frac{60}{T_0} \times BC \times JM \times BF \quad (1)$$

Dimana:

- BF* = Faktor pengisian *bucket* *JM* = Kondisi manajemen dan kondisi lapangan
BC = Kapasitas *bucket* (m) *T₀* = *Cycle time* (menit)

Guna mengetahui *cycle time* yang dibutuhkan dalam penggalian *swing* dua kali dan dibuang ke dalam truk, digunakan persamaan [8]:

$$T_0 = t_1 + t_2 + t_3 \quad (2)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} T_0 &= \text{cycle time} & t_1 &= \text{waktu menggali} \\ t_2 &= \text{waktu swing} & t_3 &= \text{waktu membuang} \end{aligned}$$

Dump Truck

Dump truck yakni alat yang difungsikan sebagai pengangkat yang mampu dengan sendirinya menumpahkan atau membuang muatannya dari badan alat. *dump truck* yang mempunyai sistem pembuangan pada bagian belakangnya akan lebih tepat diaplikasikan bagi pengangkutan berbagai bahan [9].

Tabel 5. Waktu bongkar muat (t_1)

Kondisi Operasi Kerja	Baik	Sedang	Kurang
Waktu Buang (menit)	0,5-0,7	1,0-1,3	1,5-2,0

Sumber [10]

Tabel 6. Waktu tunggu dan tunda (t_2)

Kondisi Operasi Kerja	Baik	Sedang	Kurang
Waktu Tunggu dan Tunda (menit)	0,1-0,2	0,25-0,35	0,4-0,5

Sumber [10]

$$\text{Produktivitas} = \frac{C \times 60 \times E}{C_m} \quad (3)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} P &= \text{Produktivitas per jam (m}^3/\text{jam)} & C &= \text{Produktivitas per siklus} \\ C_m &= \text{Waktu siklus dump truck (menit)} & E &= \text{Efisiensi kerja excavator} \end{aligned}$$

$$C = n \times q^1 \times K \quad (4)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} n &= \text{Siklus excavator untuk mengisi dump truck} \\ q^1 &= \text{Kapasitas bucket dari excavator (m}^3\text{)} & K &= \text{Faktor bucket dari excavator} \end{aligned}$$

$$C_m = n \times C_{ms} + \frac{D}{V_1} + \frac{D}{V_2} + t_1 + t_2 \quad (5)$$

$$n = \frac{C^1}{Q^1 \times K} \quad (6)$$

Dimana:

$$\begin{aligned} n &= \text{Siklus untuk memuat dump truck} & C^1 &= \text{Kapasitas dump truck (m}^3\text{)} \\ q^1 &= \text{Kapasitas bucket pemuat (m}^3\text{)} & K &= \text{Faktor bucket pemuat} \\ C_{ms} &= \text{Waktu siklus alat teoritis} & D &= \text{Jarak angkut dump truck (m)} \\ V_1 &= \text{Kecepatan dump truck bermuatan} & V_2 &= \text{Kecepatan dump truck kosong} \\ t_1 &= \text{Waktu buang + waktu standby} & t_2 &= \text{Waktu posisi pengisian} \end{aligned}$$

Wheel Loder

Wheel loader beroperasi dengan gerakan dasar *bucket* dan dioperasikan dalam pengangkutan muatan ke dalam alat angkut maupun alat lainnya [11]. Gerakan yang penting dari *bucket* ialah penurunan *bucket* pada permukaan tanah, mengangkat *bucket*, mendorong ke depan (menggusur/memuat), membawa atau mengangkut dan menumpahkan atau membuang muatan [12].

$$Q = q \times \frac{60}{C_m} \tag{7}$$

Dimana:

Q = Produktivitas per jam (m^3 /jam) q = Produktivitas per siklus (m^3)

E = Efisiensi kerja C_m = Waktu siklus dalam menit

Tabel 7. Efisiensi wheel loader berdasarkan kondisi

Kondisi Operasi	Pemeliharaan Alat				
	Sangat Baik	Baik	Sedang	Buruk	Sangat Buruk
Baik Sekali	0,83	0,81	0,76	0,7	0,63
Baik	0,78	0,75	0,71	0,65	0,6
Sedang	0,72	0,69	0,65	0,6	0,54
Buruk	0,63	0,61	0,57	0,52	0,45
Buruk Sekali	0,52	0,5	0,47	0,42	0,32

Sumber [8]

$$q = q' \times K \tag{8}$$

Dimana:

q' = Kapasitas munjung (penuh)

K = Faktor *bucket*

Tabel 8. Faktor *bucket wheel loader*

Kondisi Pemuatan	Faktor
Ringan	1,0 : 0,8
Sedang	0,8 : 0,6
Agak Sulit	0,6 : 0,5
Sulit	0,5 : 0,4

Sumber [8]

$$\text{Kapasitas Peres } (V_s) = A \times W \frac{2}{3} \times a \times b \tag{9}$$

$$\text{Kapasitas Munjung } (V_r) = V_s \times \frac{b \times w}{B} - \frac{b}{6} \times (a + b) \tag{10}$$

Dimana:

A = Penampang *bucket* (mm^2)

W = Lebar dalam *bucket* (mm)

a = Tinggi penahan *bucket* (mm)

b = Panjang bukaan *bucket* (mm)

c = Panjang garis normal (mm)

Tabel 9. Waktu tetap *wheel loader*

Jenis Wheel Loader	Bentuk V	Melintang	Muat - Angkut
Mesin Gerak Langsung	0,25	0,35	-
Mesin Gerak Hidrolis	0,20	0,30	-
Mesin Gerak <i>Lordflow</i>	0,20	0,30	0,35

Sumber [13]

1.2.4. Produktivitas Grup Alat dan Keselarasan Kerja

Produksi alat gali-muat penting untuk disesuaikan dengan produksi alat angkut agar memperoleh hubungan kerja yang selaras antara kedua alat tersebut [14]. MF ialah faktor keselarasan kerja alat gali muat dengan alat angkut, yang dapat diketahui melalui persamaan berikut ini [15]:

$$F_k = n \times N_h \frac{n \times N_h \times C_l}{N_l \times C_h} \quad (11)$$

Dimana:

F_k = Faktor keselarasan n = Total pengisian *bucket*
 N_h = Banyak *dump truck* C_h = Waktu siklus *dump truck*
 C_l = Waktu siklus *excavator* N_l = Banyak *excavator*

$$C = \left(\frac{n_t}{C_t}\right) + \left(\frac{n_b \times C_b}{Q_t}\right) \quad (12)$$

Dengan:

n_t = banyak *truck* n_b = banyak *excavator*
 C_t = biaya perjam *truck* (Rp) C_s = biaya perjam *excavator* (Rp)
 Q_t = produktivitas *dump truck* (m³/jam)

1.2.5. Metode Simpleks dan Program LINGO

Pengaplikasian teknik optimasi membawa hasil yang sangat baik bagi permasalahan-permasalahan yang berkaitan dengan pengoptimalan, baik minimasi maupun maksimasi [16]. Teknik optimasi didefinisikan sebagai suatu teknik pengadaan sumber daya, yang mencakup atas waktu, bahan baku, tenaga kerja, dan biaya, serta menyesuaikan dengan kondisi yang diharapkan [1]. Dalam penetapan biaya minimum, pihak perencana proyek bisa menganalisa dengan menerapkan teknik pemrograman matematik, satu di antaranya menggunakan program linear dengan metode simpleks. Teknik ini dinilai sangat baik sebagai pemberi solusi terbaik bagi suatu fungsi yang terdiri atas lebih dari 2 variabel di bawah kendala. menyebut bahwa program tersebut bisa difungsikan dalam pengadaan sumber daya terbatas dalam rangka meraih tujuan yang ingin dicapai, seperti dengan memaksimalkan perolehan keuntungan dan meminimalisir pengeluaran biaya [17]. Program Linear umumnya diformulasikan sebagai berikut [8]:

$$\text{Minimasi / Maksimasi } Z = \sum_{j=i}^n C_j X_j \text{ dan } Z = \sum_{j=i}^n a_j \quad (13)$$

Untuk : $X_j \leq b$ $X_j \geq 0$ $j = i \dots n$

Dimana:

a_j = Koefisien peubah keputusan b = Sumber daya yang terbatas
 C_j = Parameter kriteria optimasi X_j = Variabel peubah keputusan

Kontribusi Penelitian

Menyajikan analisis data, perhitungan, dan pembahasana terkait dengan manajemen alat berat dalam aspek produktivitas kerja dalam mencari nilai optimum untuk menyelesaikan target pekerjaan dengan menggunakan jumlah unit minimum yang dianalisis dengan perangkat lunak LINGO menggunakan Metode Simpleks.

Novelty

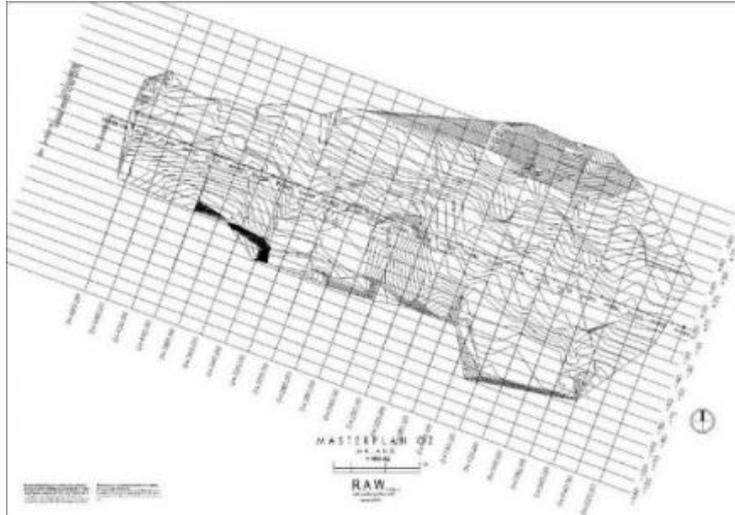
Penelitian terkait manajemen alat berat lebih banyak dianalisis menggunakan metode kapasitas produksi, faktor kesesuaian, dan teori antrean sehingga perlu dilaksanakan analisis manajemen alat berat menggunakan Program Linear Metode Simpleks yang kemudian menggunakan perangkat lunak LINGO dalam mencari keputusan optimum.

2. METODE PENELITIAN

2.1. Kondisi Lapangan

Pada penelitian ini, Lokasi penelitian yang dipilih adalah ini adalah “Proyek Galian dan Urukan Perumahan The OZ Tidar, Malang” dengan data proyek yang didapatkan adalah:

Lokasi Proyek	: Perumahan The OZ Tidar, Malang
Luas Lokasi	: 47.000 m ²
Volume Galian	: 315.000 m ³
Volume Urukan	: 315.000 m ³



Gambar 1. Rencana galian dan urukan
Sumber (Data penelitian)

2.2. Menghitung Produktivitas *Excavator*

Jenis material akan memberikan pengaruh pada perhitungan produktivitas *excavator*. Penentuan waktu siklus *excavator* bergantung pada pemilihan kapasitas *bucket*. Perhitungan produktivitas *excavator* ini dihitung dengan rumus (1). Guna mengetahui waktu siklus yang dibutuhkan dalam penggalian swing dua kali dan pemuatan material ke truk, bisa menggunakan rumus (2).

2.3. Menghitung Produktivitas *Dump Truck*

Beberapa *dump truck* yang dioperasikan secara bersamaan akan menghasilkan nilai produksi per jam total yang dihitung menggunakan persamaan (3). Produksi per siklus (C) dapat diperoleh dengan persamaan (4). Waktu siklus dalam menit (C_m) diketahui melalui persamaan (5).

2.4. Menghitung Produktivitas *Wheel Loader*

Dalam suatu perencanaan harus memperhitungkan produktivitas per jam alat yang dapat diketahui dengan mengalikakan produktivitas standar alat saat kondisi ideal dengan faktor efisiensi kerjanya. Sehingga bisa dihitung kapasitas *bucket wheel loader* dengan persamaan (7). Kapasitas *bucket* bisa dihitung menggunakan persamaan (8). Waktu siklus *wheel loader* dalam penggusuran, penggantian persenelling, dan mundur, bisa diketahui dengan menggunakan persamaan (9).

2.5. Formulasi Program Linear

Semua galian dan urukan tanah yang digali dikerjakan oleh *excavator* (alat muat) Komatsu PC-200. Tanah tersebut lalu diangkut dengan *dump truck* (alat angkut) Hino Dutro 130 HD dan tanah yang sudah di buang (*dump*) kemudian diratakan di lokasi urukan menggunakan *wheel loader*. Total *excavator* sebanyak 3 unit, *dump truck* sebanyak 15 unit, dan *wheel loader* sebanyak 3 unit. Kapasitas isi *bucket* Komatsu PC-200 sebesar 0,97 m³ sedangkan kapasitas *vessel* (bak truk) sebesar 5 m³ dan kapasitas *wheel loader* adalah 2,4 m³ Biaya produktivitas alat berat tersebut dihitung sebagaimana dengan langkah yang dijelaskan pada Bab II dan alat juga dihitung dengan langkah yang dijelaskan pada Bab II. Mengacu pada perolehan data Observasi lapangan, asumsi faktor pengisian *bucket* PC-200 Komatsu mencapai 90% dan *vessel* oleh *excavator* mencapai 100%, serta faktor efisiensi kerja *excavator* dan *dump* sebesar 0,83.

a. Fungsi tujuan

$$\text{Minimasi } Z = \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^s t_{ijk} C_{ijk} \quad (14)$$

Dengan:

Z = Biaya yang diminimalkan (Rp) C_{ijk} = Jumlah alat i, lokasi j, efisiensi k (Rp/jam)

t_{ijk} = Waktu operasi alat i lokasi j, efisiensi k (jam)

b. Fungsi kendala volume pekerjaan

$$V_p \leq \sum_{i=1}^q \sum_{j=1}^r \sum_{k=1}^s t_{ijk} Op_{ijk} \quad (15)$$

Dengan:

V_p = Volume kerja (m³) Op_{ijk} = Produktivitas alat I, lokasi j, efisiensi k (m³/jam)

c. Fungsi kendala waktu pelaksanaan maksimum

Pelaksanaan pekerjaan pasti memiliki tenggat waktu. Dengan demikian, persamaan matematisnya ialah:

$$t_{ijk} < t_r \quad (16)$$

Dengan: t_r = Waktu pelaksanaan (jam)

d. Fungsi produktivitas excavator dan dump truk harus selaras

Keselarasan antara tingkat produktivitas *excavator* dan *dump truk* harus dimasukkan ke dalam fungsi kendala mengingat dalam pekerjaan ini kedua jenis alat tersebut bekerja saling terkait dan berinteraksi satu sama lain sehingga pada pelaksanaannya jumlah waktu kerja kedua jenis alat tersebut adalah sama.

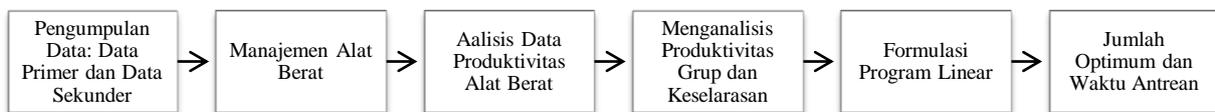
e. Fungsi kendala jumlah unit maksimum

Terbatasnya ketersediaan alat berat dengan tipe tertentu, dengan demikian bisa ditulis persamaan matematisnya sebagai berikut:

$$C_{ijk} < b_{ijk} \tag{17}$$

Dengan:

b_{ijk} = banyak tipe alat i yang tersedia pada lokasi penyewaan j , dengan faktor efisiensi k



Gambar 2. Flow chart penelitian
Sumber (Data penelitian)

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Produktivitas Excavator

Produktivitas *excavator* dalam penggalian tanah dihitung dengan rumus dan langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus} &= \text{Waktu gali} + (2 \times \text{Waktu putar}) + \text{Waktu buang} \\ &= 6 \text{ detik} + (2 \times 6 \text{ detik}) + 4 \text{ detik} = 22 \text{ detik} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produksi per siklus (C)} &= \text{Kapabilitas bucket (q')} \times \text{Faktor bucket (K)} \\ &= 0,93 \times 0,9 = 0,837 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas excavator (P)} &= \frac{\text{Prod. per siklus (C)} \times 60 \times \text{Ef. kerja (E)}}{C_{ms}} \\ &= \frac{0,837 \text{ m}^3 \times 60 \times 0,83}{22 \text{ detik}} = 1,895 \frac{\text{m}^3}{\text{menit}} = 113,680 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 682,080 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \\ &= 4774,560 \frac{\text{m}^3}{\text{minggu}} \end{aligned}$$

3.2. Produktivitas Dump Truck

Produktivitas pemuatan *dump truck* oleh *excavator* dihitung berdasarkan berapa kali *excavator* melakukan siklus untuk mengisi bak *dump truck*:

$$\begin{aligned} \text{Jumlah siklus (n)} &= \frac{\text{Kapabilitas dump truck (c)}}{\text{Kapabilitas pemuat (q}^1\text{)} \times \text{Faktor pemuat (K)}} \\ &= \frac{5,3 \text{ m}^3}{0,93 \times 0,9} = 6,332 \sim 7 \text{ kali siklus} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prod. per siklus (C)} &= n \times \text{Kapabilitas pemuat (q}^1\text{)} \times \text{Faktor pemuat (K)} \\ &= 7 \times 0,93 \times 0,9 = 5,859 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Untuk waktu siklus yang digunakan oleh *dump truck* untuk memuat tanah, mengangkut tanah ke lokasi urukan, membuang tanah, dan kembali ke lokasi galian dihitung dengan rumus dan langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus } (C_m) &= (n \times C_{ms}) + t_{a1} + t_{a2} + t_1 + t_2 \\ &= (7 \times 22 \text{ detik}) + 324 + 270 + 30 + 6 = 784 \text{ detik} = 13,067 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Produktivitas per jam } (P) &= \frac{\text{Prod. per siklus } (C) \times 60 \times \text{Ef. kerja } (E)}{C_m} \\ &= \frac{5,859 \text{ m}^3 \times 60 \times 0,83}{13,067 \text{ menit}} = 22,330 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 133,980 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} = 937,860 \frac{\text{m}^3}{\text{minggu}} \end{aligned}$$

3.3. Produktivitas *Wheel Loader*

Produktivitas *wheel loader* untuk meratakan tanah di lokasi urukan dihitung dengan rumus dan langkah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Produksi per siklus } (C) &= \text{Kapasitas bucket } (q') \times \text{Faktor bucket } (K) \\ &= 2,3 \text{ m}^3 \times 0,9 = 2,07 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Waktu siklus } (C_m) &= \frac{\text{Jarak tempuh } (D)}{\text{Waktu maju } (F)} + \frac{\text{Jarak tempuh } (D)}{\text{Waktu maju } (R)} + \text{Waktu tetap} \\ &= \frac{50 \text{ m}}{20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \times 16,667} + \frac{50 \text{ m}}{20 \frac{\text{km}}{\text{jam}} \times 16,667} + 0,2 \text{ menit} = 0,5 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Prod Wheel Loader } (P) &= \frac{60}{C_m} \times \text{Prod. per siklus} \times \text{Ef. kerja } (K) \\ &= \frac{60}{0,5 \text{ menit}} \times 2,07 \text{ m}^3 \times 0,83 = 206,197 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} = 1.237,182 \frac{\text{m}^3}{\text{hari}} \\ &= 8660,274 \frac{\text{m}^3}{\text{minggu}} \end{aligned}$$

3.4. Formulasi Program Linear

3.4.1. Merumuskan Fungsi Tujuan

Biaya Operasional yang dikeluarkan perharinya untuk masing-masing jenis alat berat adalah *excavator* sebesar Rp. 1.836.000,00/hari, *dump truck* sebesar Rp. 483.000,00/hari, dan *wheel loader* sebesar Rp. 712.200,00/hari. Tujuan dari analisis ini adalah untuk meminimumkan biaya operasional dengan mencari jumlah unit alat berat yang optimum untuk melaksanakan pekerjaan di lapangan. Dengan demikian, fungsi tujuan yang dapat dimodelkan adalah:

$$\begin{aligned} \text{Min: Biaya Operasional} &= 1836000 \times x_1 + 483000 \times x_2 + 712200 \times x_3 \text{ (dalam Rp/hari)} \\ Z &= 1836000 \times x_1 + 483000 \times x_2 + 712200 \times x_3 \text{ (dalam Rp/hari)} \end{aligned}$$

Dengan:

Z = Jumlah biaya operasional per hari

- x1 = *Excavataor*
 x2 = *Dump Truck*
 x3 = *Wheel Loader*

3.4.2. Merumuskan Fungsi Kendala

a. Kendala pada target produktivitas alat

Dalam seharinya *excavator* dengan tingkat produktivitas pekerjaan perunitnya sebesar 682,080 m³/hari harus bisa menyelesaikan target pekerjaan di lapangan yaitu 2.333,33 m³/hari. Dalam seharinya *dump truck* dengan tingkat produktivitas pekerjaan perunitnya sebesar 113,980 m³/hari harus bisa menyelesaikan target pekerjaan di lapangan yaitu 2.333,33 m³/hari. Dalam seharinya *wheel loader* dengan tingkat produktivitas pekerjaan perunitnya sebesar 206.197 m³/hari harus bisa menyelesaikan target pekerjaan di lapangan yaitu 2.333,33 m³/hari. Sehingga dari ketiga fungsi batasan di atas dapat dilakukan pemodelan untuk fungsi kendala pertama yaitu:

$$682.080 x_1 \geq 2333.333 ; 113.980 x_2 \geq 2333.333 ; 1237.182 x_3 \geq 2333.333$$

b. Kendala pada jam kerja maksimal per hari

Dalam seharinya *excavator* dengan waktu pekerjaan maksimal 6 jam perunitnya sehingga biaya operasional alat perhari tidak boleh melebihi Rp. 1.836.000,00/hari. Dalam seharinya *dump truck* dengan waktu pekerjaan maksimal 6 jam perunitnya sehingga biaya operasional alat perhari tidak boleh melebihi Rp. 483.000,00/hari. Dalam seharinya *wheel loader* dengan waktu pekerjaan maksimal 6 jam perunitnya sehingga biaya operasional alat perhari tidak boleh melebihi Rp. 712.200,00/hari. Sehingga dari ketiga fungsi batasan di atas dapat dilakukan pemodelan untuk fungsi kendala kedua yaitu:

$$6 x_1 \leq 1836000 ; 6 x_2 \leq 483000 ; 6 x_3 \leq 712200$$

c. Kendala pada jumlah maksimal alat yang diperbolehkan

Dalam seharinya jumlah unit maksimal *excavator* yang boleh dioperasikan untuk pekerjaan di lapangan adalah sebanyak 6 unit. Dalam seharinya jumlah unit maksimal *dump truck* yang boleh dioperasikan untuk pekerjaan di lapangan adalah sebanyak 20 unit. Dalam seharinya jumlah unit maksimal *wheel loader* yang boleh dioperasikan untuk pekerjaan di lapangan adalah sebanyak 4 unit. Sehingga dari ketiga fungsi batasan di atas dapat dilakukan pemodelan untuk fungsi kendala ketiga yaitu:

$$x_1 \leq 6 ; x_2 \leq 20 ; x_3 \leq 4$$

d. Kendala pada keselarasan kerja *excavator* dan *dump truck*

Dalam hal ini mengingat antara *Excavator* dan *Dump Truck* harus bekerja bersama-sama sehingga untuk pelaksanaan pekerjaan di lapangan kedua alat ini akan membutuhkan waktu pekerjaan yang sama, sehingga yang menjadi tolok ukur untuk menyelaraskan hari kerja tersebut menggunakan variabel tingkat produktivitas kerja. Sehingga dapat dimodelkan untuk keselarasan tersebut adalah:

$$682.080 x_1 - 113.980 x_2 > 0$$

e. Kendala ketidaknegatifan

Dalam hal ini *Excavator*, *Dump Truck*, dan *Wheel Loader* yang dialokasikan untuk pekerjaan di lapangan tidak bernilai negatif:

$$x_1 > 0 ; x_2 > 0 ; x_3 > 0$$

Mengingat *excavator* dan *dump truck* harus bekerja bersama-sama sehingga untuk pelaksanaan pekerjaan di lapangan kedua alat ini akan membutuhkan waktu pekerjaan yang sama, sehingga yang menjadi tolok ukur untuk menyelaraskan hari kerja tersebut menggunakan variabel tingkat produktivitas kerja. Sehingga dapat dimodelkan untuk keselarasan tersebut adalah:

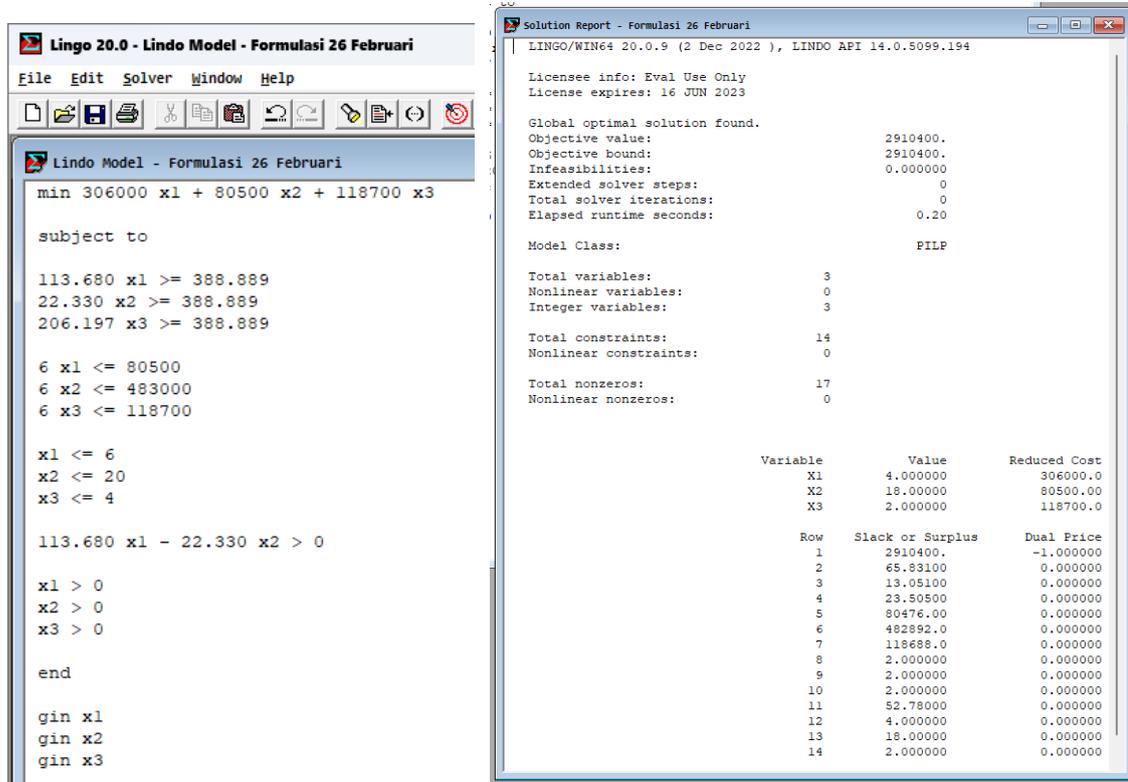
$$682.080 x_1 - 133.980 x_2 > 0$$

f. Kendala jumlah alat yang dihasilkan dalam bilangan bulat

Dalam hal ini pemecahan yang dihasilkan oleh perangkat lunak LINGO nilainya harus dalam bentuk bilangan bulat karena tidak mungkin alat bisa bekerja apabila alat tersebut tidak dalam kondisi operasional. Sehingga dapat dimodelkan untuk hasil dalam bilangan bulat tersebut adalah:

$$\text{gin } x_1 ; \text{gin } x_2 ; \text{gin } x_3$$

Dari kesemua variabel dan fungsi yang telah dirumuskan sebelumnya, dimulai dari variabel keputusan, fungsi tujuan, dan fungsi kendala, maka untuk formulasi program linear metode simpleks yang akan *diinput* dan *dirunning* ke dalam perangkat lunak LINGO adalah: **Sumber** (Analisis data)



Gambar 3. Input dan output formulasi ke perangkat lunak LINGO

Dari hasil *output* Perangkat Lunak LINGO didapatkan hasil nilai keputusan untuk tiap-tiap alat berat yaitu *excavator* (x_1), *dump truck* (x_2), dan *wheel loader* (x_3) adalah:

$$\begin{aligned} x_1 &= 4 \text{ unit} \\ x_2 &= 18 \text{ unit} \\ x_3 &= 2 \text{ unit} \end{aligned}$$

3.5. Penghematan Biaya Operasional

a. Excavator

$$\begin{aligned} \text{Biaya pekerjaan} &= \text{Biaya operasional} \times \text{Jam kerja} \times \text{Jumlah unit} \times \text{Jumlah hari} \\ &= \text{Rp. } 306.000,00 / \text{jam} \times 7 \text{ jam} \times 4 \text{ unit} \times 99 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 848.232.000,00 \end{aligned}$$

b. Dump Truck

$$\begin{aligned} \text{Biaya pekerjaan} &= \text{Biaya operasional} \times \text{Jam kerja} \times \text{Jumlah unit} \times \text{Jumlah hari} \\ &= \text{Rp. } 80.500,00 / \text{jam} \times 7 \text{ jam} \times 18 \text{ unit} \times 112 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 1.136.016.000,00 \end{aligned}$$

c. Wheel Loader

$$\begin{aligned} \text{Biaya pekerjaan} &= \text{Biaya operasional} \times \text{Jam kerja} \times \text{Jumlah unit} \times \text{Jumlah hari} \\ &= \text{Rp. } 118.700,00 / \text{jam} \times 7 \text{ jam} \times 2 \text{ unit} \times 110 \text{ hari} \\ &= \text{Rp. } 182.798.000,00 \end{aligned}$$

Maka perbandingan biaya operasional untuk menyelesaikan keseluruhan volume pekerjaan galian dan urukan dirangkum pada tabel berikut:

Tabel 10. Biaya operasional total tiap-tiap alat berat

Jenis Alat Berat	Biaya Operasional Perencanaan	Biaya Operasional Optimasi
<i>Excavator</i>	Rp 848,232,000.00	Rp 848,232,000.00
<i>Dump Truck</i>	Rp 1,141,087,500.00	Rp 1,136,016,000.00
<i>Wheel Loader</i>	Rp 182,798,000.00	Rp 182,798,000.00

Sumber (Analisis data)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk penghematan biaya operasional hanya dapat dilakukan pada pekerjaan *dump truck* yaitu sebesar Rp. 5.071.500,00 yang artinya penghematan biaya dari biaya operasional saat perencanaan dan biaya operasional setelah analisis optimasi dengan LINGO adalah sebesar 0,2335%.

3.6. Penghematan Waktu Pekerjaan

1. Excavator

$$\begin{aligned} \text{Jumlah hari kerja} &= \frac{\text{Volume galian}}{\text{Prod. per jam} \times \text{Jam kerja per hari} \times \text{Jumlah unit}} \\ &= \frac{315.000 \text{ m}^3}{113,680 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 7 \text{ jam} \times 4 \text{ unit}} = 99 \text{ hari} = 16,5 \text{ minggu} \end{aligned}$$

2. *Dump Truck*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah hari kerja} &= \frac{\text{Volume galian}}{\text{Prod. per jam} \times \text{Jam kerja per hari} \times \text{Jumlah unit}} \\ &= \frac{315.000 \text{ m}^3}{22,330 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 7 \text{ jam} \times 18 \text{ unit}} = 112 \text{ hari} = 18,5 \text{ minggu} \end{aligned}$$

3. *Wheel Loader*

$$\begin{aligned} \text{Jumlah hari kerja} &= \frac{\text{Volume galian}}{\text{Prod. per jam} \times \text{Jam kerja per hari} \times \text{Jumlah unit}} \\ &= \frac{315.000 \text{ m}^3}{206,197 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 7 \text{ jam} \times 2 \text{ unit}} = 110 \text{ hari} = 18,5 \text{ minggu} \end{aligned}$$

Dari analisis data dihasilkan jumlah hari kerja yang lebih sedikit dibandingkan dengan jumlah hari kerja dalam perencanaan. Perbandingan jumlah hari kerja tersebut ditampilkan pada tabel berikut:

Tabel 11. Perbandingan hari kerja alat perencanaan dan optimasi

Jenis Alat Berat	Jumlah Hari Perencanaan	Jumlah Hari Optimasi
<i>Excavator</i> Komatsu PC-200	132	99
<i>Dump Truck</i> Hino Dutro 130 HD	135	112
<i>Wheel Loader</i> Komatsu WA-200	110	110

Sumber (Analisis data)

Dari tabel tersebut dapat dilihat bahwa untuk penghematan waktu pekerjaan hanya dapat dilakukan pada *excavator* yaitu sebesar 33 hari dan *dump truck* yaitu sebesar 44 hari yang artinya penghematan waktu pekerjaan saat perencanaan dan waktu pekerjaan setelah analisis optimasi adalah sebesar 25% untuk *excavator* dan 28.2% untuk *dump truck*. Nilai faktor keserasian kerja dapat digunakan untuk menunjukkan besaran nilai produktivitas efisien pekerjaan kombinasi alat berat di lapangan dan dihitung menggunakan rumus sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Match Factor} &= \frac{\text{Prod. alat angkut} \times \text{Jumlah unit}}{\text{Prod. Alat gali dan muat} \times \text{Jumlah unit}} \\ &= \frac{22,330 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 18 \text{ unit}}{113,680 \frac{\text{m}^3}{\text{jam}} \times 4 \text{ unit}} = \frac{401,940}{454,720} = 0,884 < 1 \end{aligned}$$

Hal ini mengindikasikan alat gali-muat bekerja < 100%, sementara alat angkut bekerja 100% yang menyebabkan adanya waktu tunggu bagi alat gali-muat yang disebabkan oleh belum tibanya alat angkut ke lokasi pekerjaan. Adapun untuk mengetahui Waktu Tunggu Muat (W_{tm}) yang dalam penelitian ini disebut sebagai waktu antrean dapat dihitung dengan:

$$W_{tm} = \frac{\text{Banyak Alat Muat} \times \text{Siklus Alat Angkut}}{\text{Banyak Alat Angkut} \times \text{Siklus Alat Muat}} \times \text{Siklus Alat Muat}$$

$$W_{tm} = \frac{4 \text{ unit} \times 784 \text{ detik}}{18 \text{ unit} \times 22 \text{ detik}} \times 22 \text{ detik} \quad W_{tm} = \frac{4 \text{ unit} \times 784 \text{ detik}}{18 \text{ unit}} W_{tm}$$

$$= 174,222 \text{ detik} \quad W_{tm} = 2,904 \text{ menit}$$

4. KESIMPULAN

Tingkat produktivitas yang dapat dicapai oleh masing-masing alat berat yaitu *excavator* sebesar 113,680 m³/jam atau 682,080 m³/hari, *dump truck* sebesar 22,330 m³/jam atau 133,980 m³/hari, dan untuk *wheel loader* sebesar 206,197 m³/jam atau 1.237,182 m³/hari. Model Optimasi Program Linier Metode Simpleks yang ditetapkan adalah : Minimasi Z = 1836000 x₁ + 483000 x₂ + 712200 x₃ (dalam Rp/hari)

Jumlah alat yang optimum untuk melaksanakan pekerjaan galian dan urukan adalah 4 unit *excavator*, 18 unit *dump truck*, dan 2 unit *wheel loader* dengan tingkat keserasian alat yaitu 0,884. Penghematan hanya dapat dilakukan pada pekerjaan *dump truck* yaitu sebesar Rp. 5.071.500,00 dari biaya operasional saat perencanaan dan biaya operasional setelah analisis optimasi dengan LINGO adalah sebesar 0,2335%. Penghematan waktu pekerjaan hanya dapat dilakukan pada *excavator* yaitu sebesar 33 hari dan *dump truck* yaitu sebesar 44 hari dibandingkan saat perencanaan dan waktu pekerjaan setelah analisis optimasi adalah sebesar 25% untuk *excavator* dan 28.2% untuk *dump truck* dengan lamanya waktu antre *dump truck* yaitu 2,904 menit.

5. UCAPAN TERIMAKASIH

Ucapan Terimakasih sebesar-besarnya Penulis sampaikan kepada Departemen Teknik Sipil dan Perencanaan, Departemen Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang serta Pengembang Properti Podo Joyo Masyhur (PJM) Group selaku Mitra Kerja dan Pihak yang telah memberikan bantuan penuh dalam melaksanakan penelitian ini dari awal sampai selesai.

6. DAFTAR PUSTAKA

- [1] Qariatullailiyah, "Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat Untuk Pekerjaan Pengangkutan dan Penimbunan Tanah Pada Proyek Grand Island -Pakuwon City Dengan Program Linier," Institut Teknologi Sepuluh Nopember, 2015.
- [2] Merdy Evalina Silaban and I. A. A. Angreni, "Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat Terhadap Pekerjaan Cut Dan Fill Dengan Metode Integer Linear Programming," *Syntax Lit. J. Ilm. Indones.*, vol. 7, no. 8.5.2017, pp. 2003–2005, 2022.
- [3] M. Luthfi Dhiya' Ulhaq, "Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Dan Pengangkutan Studi Kasus Proyek High Speed Railway (HSR) Walini Section IV," *Photosynth.*, vol. 2, no. 1, 2018.
- [4] A. Prasmoro and S. Hasibuan, "Optimasi Kemampuan Produksi Alat Berat dalam

- Rangka Produktifitas dan Keberlanjutan Bisnis Pertambangan Batubara: Studi Kasus Area Pertambangan Kalimantan Timur,” *Oper. Excell. J. Appl. Ind. Eng.*, vol. 10, no. 1, pp. 1–16, 2018.
- [5] S. S. Turalaki, J. Tjakra, and R. L. Inkiriwang, “Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Terhadap Biaya Pekerjaan Cut & Fill Proyek Perumahan Holland Boulevard Manado,” *Sipil Statik*, vol. 6, no. 6, pp. 431–440, 2018.
- [6] G. A. Diputra, “Laporan Penelitian Mandiri Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Galian Tanah,” Universitas Udayana, 2015.
- [7] W. Oetomo and Rudiansyah, “Perencanaan Penggunaan Alat Berat Dan Biaya (Studi Kasus Kegiatan Pembangunan Sekolah Terpadu Samarinda),” *Fak. Tek. J. Untag, Sipil*, vol. 7, no. 2, pp. 115–128, 2014.
- [8] A. H. Saefudin, A. Mudianto, and P. Wiranto, “Kajian Penggunaan Alat-Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Jalan Raya Ditinjau Dari Aspek Teknis Dan Ekonomi,” *Fak. Tek. Univ. Pakuan*, 2016.
- [9] Aswir and H. Misbah, “Optimasi Alat Gali Muat dan Alat Angkut Terhadap Produksi Batubara dengan Metode Kapasitas Produksi dan Metode Teori Antrian pada Pit Taman Periode Oktober 2016 Unit Pertambangan Tanjung Enim PT. Bukit Asam (Persero) Tbk,” *Photosynthetica*, vol. 2, no. 1, pp. 1–13, 2018.
- [10] Syafriani and J. Harianto, “Evaluasi Penggunaan Alat-Alat Berat Proyek Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Sei Rakyat – Labuhan Bilik – Sei Berombang Kecamatan Panai Tengah – Panai Hilir Kabupaten Labuhan Batu,” *Dep. Tek. Sipil, Univ. Sumatera Utara*, no. 1, 2012.
- [11] L. Septiawan and M. Thohir, “Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Basement Dengan Metode Linier Programming (Studi Kasus Proyek Gedung Ditjen Dikti Jakarta Pusat),” Universitas Diponegoro, 2006.
- [12] I. K. Ariadi, A. Agung, G. Agung, and A. A. D. P. Dewi, “Optimasi Kombinasi Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Gedung RSUD Sanjiwani Gianyar,” *J. Spektran*, vol. 9, no. 2, pp. 107–114, 2021.
- [13] S. Zuhri and Y. D. G. Cahyono, “Analisa Match Factor untuk Meningkatkan Produktifitas Alat Muat dan Alat Angkut pada Penambangan Sirtu PT. Pasirindo Perkasa Kabupaten Lumajang Jawa Timur,” *Semin. Teknol. Kebumihan dan Kelaut.*, vol. 2, no. 1, pp. 543–548, 2020.
- [14] S. Zuhri and Y. D. G. Cahyono, “Analisa Match Factor untuk Meningkatkan Produktifitas Alat Muat dan Alat Angkut pada Penambangan Sirtu PT. Pasirindo Perkasa Kabupaten Lumajang Jawa Timur,” in *Seminar Teknologi Kebumihan dan Kelautan Vol. 2 No. 1*, 2020, pp. 543–548.
- [15] S. A. Wibowo and A. Zacoeb, “Kajian Biaya Penggunaan Alat Berat Untuk Pekerjaan Pengangkutan Dan Penimbunan Pada Proyek Perumahan Villa Bukit Tidar

- Malang Dengan Program Linier Metode Simpleks,” *J. Tek. Sipil Univ. Brawjiaya*, 2017.
- [16] Syafriani and J. Harianto, “Evaluasi Penggunaan Alat-Alat Berat Proyek Studi Kasus : Proyek Pembangunan Jalan Sei Rakyat – Labuhan Bilik – Sei Berombang Kecamatan Panai Tengah – Panai Hilir Kabupaten Labuhan Batu,” Universitas Sumatera Utara, 2012.
- [17] R. L. Rumahorbo and A. Mansyur, “Konsistensi Metode Simpleks Dalam Menentukan Nilai Optimum,” *Karismatika*, vol. 3, no. 1, pp. 36–46, 2017.