

# OPTIMASI KINERJA PROYEK PEMINDAHAN TANAH PADA PEKERJAAN JALAN MENGGUNAKAN PROGRAM LINEAR DARI TINJAUAN MUATAN DAN MATCH FACTOR

Agus Harmoko<sup>1</sup>, Sawarni Hasibuan<sup>2</sup>, Paksi Dwiyanto W<sup>3</sup>, Zel Citra<sup>4</sup>

<sup>1</sup> Mahasiswa Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

<sup>2</sup> Dosen Program Studi Magister Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

<sup>3</sup> Comercial Division Wika Gedung Pracetak, PT. Wijaya Karya, Jakarta

<sup>4</sup> Dosen Program Studi Teknik Sipil, Fakultas Teknik, Universitas Mercu Buana Jakarta

Email: [agush4r@gmail.com](mailto:agush4r@gmail.com)

## Abstract

*The coal business in Indonesia has increased 25% for domestic and 5% for exports in 2018. It triggered the growth of coal haul road infrastructure development. The one of coal haul road works is earthmoving toward filling works. The barrier almost to face are limited resources and expensive equipment cost. Therefore, this research is needed to solve these problems. This research discusses the operational analysis of earthmoving works on coal haul road projects based on load review and match factor. The method used is a case study of a coal haul road project in the Central Kalimantan using Linear Programming (Solver and WINQSB) to obtain cost-performance minimizing based on equipment requirements. The novelty in this research is to optimizing the number and duration use of excavators. The results showed that to complete earthmoving works, excavator requires is 1PC400, 1PC300, 1PC200 and 6 articulated dump truck/ADT. The cost optimization obtained from each cost scheme is 2% for the rental scheme and 1% for the ownership scheme. The optimum efficiency is obtained by using combination of rental and ownership schemes with a composition of 1PC400, 1PC300, 1PC200 with ownership scheme and 6ADT with a rental scheme then it able to achieve efficiency of 5%.*

**Key words:** Coal Haul Road, Equipment Cost, Linear Programming, WINQSB

## Abstrak

Bisnis batubara di Indonesia mengalami peningkatan produksi domestik sebesar 25% dan 5% untuk ekspor tahun 2018. Peningkatan tersebut memicu tumbuhnya pembangunan infrastruktur jalan angkut batubara. Salah satu pekerjaan proyek jalan angkut batubara adalah pengangkutan material tanah untuk pekerjaan timbunan jalan. Kendala yang sering ditemui terbatasnya sumber daya dan mahalnya biaya peralatan. Oleh sebab itu diperlukan penelitian untuk menjawab permasalahan tersebut. Penelitian ini membahas analisa operasional pekerjaan pemindahan tanah proyek jalan angkut batubara berdasarkan tinjauan muatan dan *match factor*. Metode yang digunakan adalah studi kasus proyek jalan angkut batubara di Kalimantan Tengah dengan menggunakan *software Linear Programming (Solver dan WINQSB)* untuk memperoleh minimasi kinerja proyek berdasarkan biaya dan kebutuhan alat. Keterbaruan dari penelitian ini adalah mengoptimalkan jumlah penggunaan alat sehingga pengaruh terhadap biaya dan ketersediaan waktu lebih efektif dan efisien. Alat yang dikaji dari sisi penggunaan *excavator*. Hasil penelitian menunjukkan untuk menyelesaikan pekerjaan pemindahan tanah memerlukan *excavator* sebanyak 1Unit PC400, 1unit PC300, 1unit PC200 dan alat *articulated dump truck (ADT)* sebanyak 6unit. Optimasi biaya alat diperoleh sebesar 2% untuk skema sewa dan 1% untuk skema kepemilikan. Efisiensi optimum diperoleh dengan menggunakan kombinasi skema sewa dan kepemilikan dengan komposisi 1unit PC200, 1unit PC300 dan 1unit PC400 dengan skema kepemilikan, sedangkan untuk ADT membutuhkan 6unit dengan skema biaya sewa sehingga efisiensi mencapai 5%.

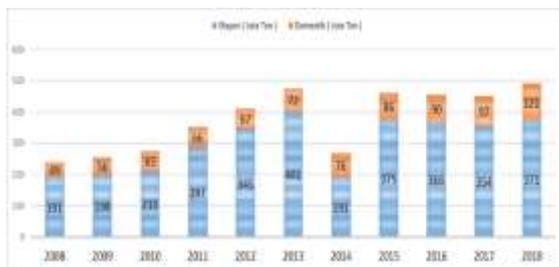
**Kata kunci:** Jalan Angkut Batubara , Biaya Peralatan, *Linear Programming*, WINQSB.

## I. PENDAHULUAN

Pembangunan infrastruktur jalan merupakan kebutuhan mutlak bagi pengembangan transportasi di Indonesia tidak terkecuali jalan angkut batubara. Bisnis batubara di Indonesia mengalami peningkatan

yang pesat dimana terlihat dari peningkatan volume produksi batubara dari tahun ke tahun sehingga dukungan terhadap peningkatan pembangunan infrastruktur jalan angkut batubara menjadi penting. Kebutuhan akan akses jalan untuk pengangkutan batubara semakin penting pada saat operasional

penambangan sebelum aktivitas penambangan (*eksplorasi*) dimulai. Salah satu pekerjaan yang merupakan bagian dari proyek jalan angkut batubara adalah aktivitas pekerjaan galian tanah berupa pengangkutan material tanah untuk timbunan jalan. Gambar 1.1. merupakan grafik produksi batu bara di Indonesia dari periode 2008 sampai dengan 2018 di bawah ini:



**Gambar 1.1.** Produksi Batubara Indonesia  
Sumber : Olahan sendiri

Infrastruktur tambang yang harus dipenuhi sebelum proses penambangan dilakukan dan disesuaikan dengan mengacu pada aturan dalam penambangan yang tertuang dalam (Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia, 2018) tentang Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan yang Baik. Perkembangan operasional penambangan batubara di Kalimantan masih menunjukkan trend positif terlihat dari jumlah Ijin Usaha Pertambangan (IUP) *eksplorasi* batubara di Kalimantan khususnya di Kalimantan Tengah yang belum dijalankan. Gambar 1.2 merupakan contoh jalan angkut batubara di Kalimantan Tengah.



**Gambar 1.2.** Ruas Jalan Angkut Batubara di Kalimantan Tengah

Sumber : Dokumentasi Proyek

Operasional pemindahan tanah skala besar memerlukan penggunaan alat berat seperti alat gali (*excavator*) dan alat angkut (*dump truck*) dalam jumlah banyak dan harganya mahal. Pemanfaatan peralatan yang optimal merupakan tugas yang sangat penting bagi manajemen proyek dalam pengelolaan biaya dan waktu pekerjaan (Moselhi & Alshibani, 2009). Biaya alat berat dibagi dalam dua kategori yaitu biaya kepemilikan (*ownership cost*) dan biaya operasional (*operational cost*)

(Rostiyanti, 2008). Kinerja alat berat dapat ditinjau dari beberapa faktor yang mempengaruhi produktivitas seperti kapasitas, *cycle time*, keserasian kerja alat angkut dan alat gali (*match factor*), jarak angkut, muatan material karena pengaruh berat jenis dan pengembangan material.

Alat Angkut secara umum mempunyai kemampuan untuk mengangkut lebih banyak muatan sesuai yang direkomendasikan oleh pabrikan alat (Schexnayder, Weber, & Brooks, 1999). Optimasi jaringan kerja menggunakan metode linear pada pekerjaan tanah dan perkerasan jalan untuk proyek jalan raya (Bogenberger et al., 2015). Perencanaan *lay out* jaringan kerja pemindahan tanah dengan *balancing distance* merupakan besaran volume pekerjaan (Liu & Lu, 2009), Trial and error analisa *fleet matching* dan optimasi jarak pemindahan tanah menggunakan konsep *center of mass earth* untuk pekerjaan timbunan (Morley, Lu, & Abourizk, 2014).

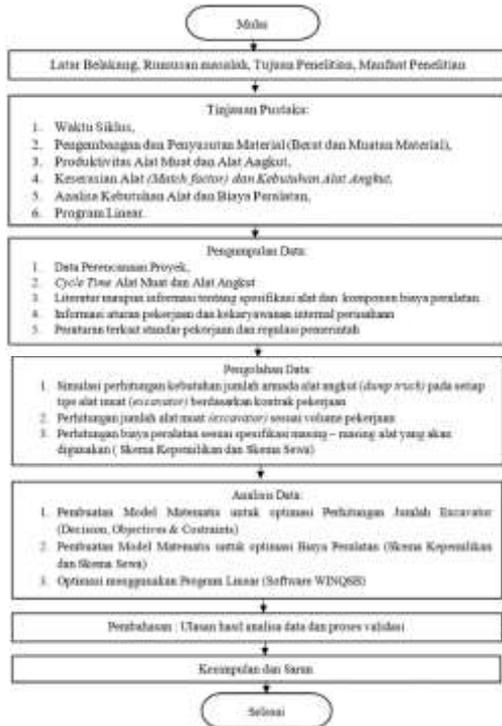
Optimasi produktivitas alat muat dan alat angkut dengan regresi linear pada pekerjaan tanah (Smith, 1999). Efisiensi *fleet* dan *match factor* dari aspek tinjauan *mechanical performance* alat menggunakan simulasi Monte Carlo (Ozdemir & Kumral, 2017). Industri konstruksi menggunakan pencapaian *match factor* mendekati angka 1 yang mengindikasikan tingkat produktivitas yang maksimal (Burt, 2008). Pemilihan kapasitas muatan truk optimal dengan membandingkan biaya produksi berbagai kapasitas truk yang digunakan sebagai alat investasi (Karshenas, 1989).

Kendala yang sering ditemui untuk pembangunan infrastruktur jalan tambang yaitu terbatasnya sumber daya dan mahalnya biaya peralatan. Perlunya dilakukan analisa skema sewa atau kepemilikan alat yang paling menguntungkan. Oleh sebab itu diperlukan penelitian untuk menjawab permasalahan tersebut. Penelitian ini membahas optimasi kinerja proyek pemindahan tanah mekanis pada pekerjaan jalan tambang dengan menggunakan program linear berdasarkan tinjauan muatan dan *match factor*.

## II. METODE

Perancangan penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan dalam penulisan ini terdiri dari tahapan penelitian, obyek penelitian, proses pengumpulan data, variable penelitian dan teknik analisa data. Penelitian ini tergolong jenis penelitian kuantitatif. Pendekatan dalam desain penelitian adalah optimasi kebutuhan jumlah alat dari aspek muatan dan *match factor* dengan program linear menggunakan *solver* dan software WINQSB.

Untuk melakukan penelitian secara ilmiah, diperlukan adanya tahapan/urutan yang disesuaikan dengan kerangka penelitian yang telah disusun dalam bentuk tahapan penelitian yang dapat dilihat pada Gambar 1.3.



Gambar 1.3. Diagram Tahapan Penelitian  
Sumber : Olahan Sendiri

Obyek yang akan dilakukan penelitian dan analisa perhitungan peralatan untuk aktivitas penelitian dan analisa perhitungan peralatan untuk aktivitas pekerjaan pemindahan tanah pada proyek pembuatan jalan tambang yang merupakan salah satu wilayah Kontrak Pertambangan anak perusahaan PT Adaro Indonesia yaitu PT Adaro Maruwai Coal (AMC) yang berlokasi di Kabupaten Barito Utara dan Kabupaten Murung Raya Provinsi Kalimantan Tengah yang dapat dilihat pada Gambar 1.4.



Gambar 1.4 Objek Penelitian Jalan Tambang PT Asmin Koalindo Tujuh (AKT) – PT Adaro Maruwai Coal (AMC)  
Sumber : Google Map

Analisis dan pengolahan data adalah proses identifikasi data yang dilakukan berdasarkan data primer maupun data sekunder

yang sudah diperoleh, baik yang berasal dari survey pengamatan langsung yang ada di lokasi rancangan pekerjaan jalan tambang ataupun yang didapat dari instansi terkait, untuk kemudian data tersebut diolah dan dianalisis. Pada penelitian ini dilakukan analisa optimasi dengan membuat suatu model matematis menggunakan metode program linear dan *match factor*. Untuk memperoleh fungsi tujuan yaitu biaya penggunaan sejumlah alat angkut dan alat muat yang akan digunakan. Untuk memudahkan melakukan optimasi dari biaya pemindahan tanah sebagai dasar perhitungan biaya peralatan menggunakan bantuan software sebagai solusi di Program Linear. Persamaan program linier yang dibentuk berdasarkan formulasi permasalahan tersebut antara lain:

a. Variabel keputusan

Variabel keputusan yang dibentuk adalah  $X_i$  yaitu jumlah alat *excavator* tertentu dari jenis alat berat *excavator* yang digunakan. Di dalam penelitian ini ada 3 variabel  $X_i$  yaitu:

- $X_1$  = Alat *Excavator* PC 400
- $X_2$  = Alat *Excavator* PC 300
- $X_3$  = Alat *Excavator* PC 200

b. Fungsi tujuan

Fungsi tujuan yang dibentuk yaitu mengetahui biaya peralatan minimal yang dikeluarkan untuk suatu pekerjaan. Persamaan yang dibentuk pada fungsi tujuan dapat dilihat pada rumus berikut ini:

$$\text{Minimumkan } Z = C_1.X_1 + C_2.X_2 + C_3.X_3$$

Dimana :

$Z$  = Biaya peralatan total penggunaan alat *excavator*/PC dan *articulated dump truck*/ADT (Rp/Jam)

$C_1$  = Biaya Sewa alat *excavator* (PC400) dan *articulated dump truck*/ADT, biaya operator, biaya bahan bakar perjam (Rp/jam)

$C_2$  = Biaya Sewa alat *excavator* (PC300) dan *articulated dump truck*/ADT, biaya operator, biaya bahan bakar perjam (Rp/jam)

$C_3$  = Biaya Sewa alat *excavator* (PC200) dan *articulated dump truck*/ADT, biaya operator, biaya bahan bakar perjam (Rp/jam)

$X_1$  = Jumlah alat *excavator* PC400 yang dibutuhkan (unit)

$X_2$  = Jumlah alat *excavator* PC300 yang dibutuhkan (unit)

$X_3$  = Jumlah alat *excavator* PC200 yang dibutuhkan (unit)

c. Fungsi kendala

Fungsi kendala meliputi kendala biaya, waktu, jumlah alat dan kendala produktivitas alat. persoalan ini dapat dibuat dalam bentuk:

1. Biaya Produksi (A1):  
 $C_1.X_1 + C_2.X_2 + C_3.X_3 \leq \text{Total Biaya Produksi (Rp/jam)}$
2. Volume Pekerjaan (A2):  
 $\Sigma \text{ Produktivitas Excavator (m}^3/\text{jam). } X_i \leq \text{Total Produktivitas (m}^3/\text{jam)}$
3. Waktu (A3 s.d A5):  
 $\Sigma \text{ Waktu Produksi Excavator (jam). } X_i \geq \text{Total Durasi (jam)}$
4. Jumlah Excavator (A6 s.d A8):  
 $1 \times X_i \leq \text{Produktivitas Excavator (m}^3/\text{jam) / Total Produktivitas (m}^3/\text{jam)}$
5. Produktivitas Excavator (A9 s.d A11):  
 $\text{Produktivitas Excavator (m}^3/\text{jam). } X_i \leq \text{Total Produktivitas (m}^3/\text{jam)}$

d. Fungsi Kebutuhan Alat *Articulated Dump Truck* (ADT)

Fungsi kebutuhan alat *articulated dump truck* (ADT) merupakan fungsi untuk mengetahui jumlah alat yang digunakan berdasarkan jumlah dan jenis alat *excavator* yang dibutuhkan. Jumlah unit alat ADT dapat menggunakan persamaan berikut:

$$\Sigma \text{ Koefisien ADT} \times X_i$$

Dimana Koefisien ADT didapat dari hasil olahan data observasi penelitian kebutuhan unit untuk masing-masing jenis alat *excavator*. Setelah semua variabel dan fungsi diperoleh maka selanjutnya dapat di buatkan form pemodelan untuk analisis linear programming seperti Tabel 1.1 berikut:

Tabel 1.1. Form Model Optimasi LP

Constraint	Variabel	PC400 (X1)	PC300 (X2)	PC200 (X3)	RHS (MIN)	
					Goal Function (Z)	
Harga Sewa Excavator/PC & Articulated Dump Truck/ADT (C)					Goal Function (Z)	
Jumlah Articulated Dump Truck/ADT					Rp	
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)					Rp	Rp
<b>Constraint</b>						
(A1) Biaya Produksi					≤	
(A2) Volume (m3)					≤	
(A3) Waktu PC400					≥	
(A4) Waktu PC300					≥	
(A5) Waktu PC200					≥	
(A6) Jumlah PC400					≤	
(A7) Jumlah PC300					≤	
(A8) Jumlah PC200					≤	
(A9) Produktivitas PC400					≤	
(A10) Produktivitas PC300					≤	
(A11) Produktivitas PC200					≤	

Sumber : Olahan Sendiri

Kemampuan produksi alat muat dan alat angkut menentukan jumlah produksi yang

ditargetkan dalam suatu proyek. Oleh karenanya perlu dilakukan analisa perhitungan produktivitas alat muat dan alat angkut untuk mengoptimalkan kinerja proses pemindahan tanah tersebut. Kemampuan produksi alat muat dapat dihitung dengan menggunakan rumus sebagai berikut:

$$Q = \frac{q \times 60 \times E}{Cms} \text{ dengan } q = ql \times K \quad (1.1)$$

Dimana:

- Q : Produksi perjam (m3 /jam)
- q : Produksi per siklus (m3)
- Cms : Waktu siklus alat muat (menit)
- E : Efisiensi kerja
- ql : Kapasitas bucket
- K : Faktor pengisian bucket

Untuk pengangkutan material timbunan dan galian dipergunakan alat dump truck bertipe pengangkutan ke belakang. Material dari hasil galian alat muat dimasukan kedalam dump truck kemudian dibuang ke tempat pembuangan atau tempat timbunan lokasi proyek jalan. Untuk menghitung produksi perjam total dari beberapa dump truck yang mengerjakan pekerjaan yang sama secara simultan dapat dihitung dengan persamaan matematis. Kemampuan produksi alat angkut :

$$P = (C \times 60 \times E)/Cmt \text{ dengan } C = n \times ql \times K \quad (1.2)$$

Dimana :

- P : Produksi perjam (m3 /jam)
- C : Produksi per siklus (m3)
- Cmt : Waktu siklus dump truck (menit)
- E : Faktor Efisiensi Kerja
- n : Jumlah siklus dari excavator mengisi dump truck
- ql : Kapasitas bucket
- K : Faktor pengisian bucket

Faktor keserasian kerja alat merupakan suatu persamaan matematis yang digunakan untuk menghitung tingkat keselarasan kerja antara alat muat dan alat angkut untuk setiap kondisi kegiatan pemuatan dan pengangkutan. *Match factor* dapat dihitung dengan persamaan:

$$MF = (nH)(Cms) / (nL)(Cmt) \quad (1.3)$$

Dimana:

- nH : Jumlah alat angkut
- Cms : Waktu siklus alat muat
- nL : Jumlah alat muat
- Cmt : Waktu siklus alat angkut

Keterangan:

MF=1 (serasi antara alat gali muat 100% atau mendekati 100%)

MF<1 (alat angkut bekerja penuh, alat muat mempunyai waktu tunggu)  
 MF>1 (alat muat bekerja penuh, alat angkut mempunyai waktu tunggu)

Biaya kepemilikan alat per tahun dengan memperhitungkan bunga dihitung sebagai berikut:

$$A = P \left| \frac{i(1+i)^n}{i(1+i)^n - 1} \right| \quad (1.4)$$

dimana:

- A : Biaya kepemilikan tahunan
- P : Biaya pembelian alat
- i : Bunga
- n : Umur pakai alat

### III. HASIL DAN DISKUSI

Kebutuhan alat angkut dihitung berdasarkan jumlah *excavator* yang digunakan untuk pekerjaan muat material ke dalam truk. Beberapa indikator analisis yang diperlukan untuk memperoleh jumlah kebutuhan alat meliputi:

a. Indikator data teknis pekerjaan.

- Volume Pekerjaan = 575.000 m<sup>3</sup>
- Durasi = 39 Minggu  
 ≅ 273 Hari ≅ 2184 Jam
- Berat jenis tanah 1,981 ton/m<sup>3</sup>

b. Spesifikasi alat *excavator* dan *articulated dump truck* (ADT)

*Excavator*

- PC 400 kapasitas bucket 2,6 m<sup>3</sup>
- PC 300 kapasitas bucket 1,8 m<sup>3</sup>
- PC 200 kapasitas bucket 0,8 m<sup>3</sup>

*Articulated dump truck*/ADT

- ADT HM 400 Komatsu kapasitas maksimum muatan 44,1 ton diperoleh kapasitas bak (*vessel*) sebesar 22,3 m<sup>3</sup>.

Kebutuhan jumlah ADT untuk setiap jenis alat *excavator* berbeda-beda. Menurut (Wedhanto, 2009) nilai efisiensi (e) kerja alat sebesar 83%. Maka produktivitas masing-masing alat *excavator* dapat diketahui sehingga kebutuhan jumlah unit ADT dapat diketahui. Berikut ini merupakan perhitungan produktivitas dan kebutuhan unit ADT:

- Efisiensi alat (e) = 83%
- Faktor Koreksi Bucket (k) = 1
- *Cycle Time Loading Excavator* (CT):  
 CT PC 400 = 28,2 detik  
 CT PC 300 = 25,89 detik  
 CT PC 200 = 25,56 detik

- *Cycle Time Muat Alat ADT* (CT ADT):  
 CT ADT PC 400= 28,29 menit  
 CT ADT PC 300= 26,18 menit  
 CT ADT PC 200= 26,57 menit

- Kapasitas *Bucket* dan *Vesel*:

- Kapasitas *Bucket* PC 400 = 2,6 m<sup>3</sup>
- Kapasitas *Bucket* PC 300 = 1,8 m<sup>3</sup>
- Kapasitas *Bucket* PC 200 = 0,8 m<sup>3</sup>
- Kapasitas *Vesel* ADT maks = 22,3 m<sup>3</sup>

Produktivitas masing-masing alat *excavator* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.1) sehingga diperoleh:

- Produktivitas PC400 = 275,49 m<sup>3</sup>/jam
- Produktivitas PC300 = 207,74 m<sup>3</sup>/jam
- Produktivitas PC200 = 93,52 m<sup>3</sup>/jam

Sedangkan untuk produktivitas ADT untuk masing-masing alat *excavator* dapat diperoleh dengan menggunakan persamaan (1.2) sehingga diperoleh:

- Produktivitas ADT-PC400 = 50,35 m<sup>3</sup>/jam
- Produktivitas ADT-PC300 = 51,10 m<sup>3</sup>/jam
- Produktivitas ADT-PC200 = 50,35 m<sup>3</sup>/jam

Mengacu pada persamaan *Match Factor* (1.3), nilai MF ditentukan sama dengan 1. Maka produktivitas ADT untuk masing-masing alat *excavator* sebagai berikut:

- ADT untuk PC400 = 5,47 unit
- ADT untuk PC300 = 4,07 unit
- ADT untuk PC200 = 1,98 unit

c. Indikator biaya sewa alat

Sedangkan untuk indikator biaya sewa unit alat PC400, PC300 dan PC200 dapat dilihat pada Tabel 1.2÷

**Tabel 1.2.** Biaya Sewa Unit Alat *Excavator*

Jenis Biaya	Satuan	PC400	PC300	PC200
Biaya sewa alat Excavator	jam	Rp 859.375	Rp 728.750	Rp 288.750
Lama jam kerja 1 hari	jam	8	8	8
Biaya operator (rp 283.333/hari)	jam	Rp 53.125	Rp 53.125	Rp 53.125
Bahan Bakar	jam	Rp 391.706	Rp 308.602	Rp 172.088
Harga 1 liter solar (h)	rp	Rp 9.800	Rp 9.800	Rp 9.800
Konsumsi solar /jam	liter	39,97	31,49	17,56
Biaya ADT total armada Excavator		Rp 8.627.003	Rp 6.418.995	Rp 3.122.754
<b>Total Biaya Seluruh Armada</b>	<b>jam</b>	<b>Rp 9.931.209</b>	<b>Rp 7.509.472</b>	<b>Rp 3.636.717</b>

Sumber : *Olahan Data*

Biaya sewa alat articulated dump truck/ADT beragam berdasarkan jenis alat *excavator*/PC yang digunakan. Komposisi biaya untuk 1 unit *articulated dump truck*/ADT terdapat pada Tabel 1.3:

**Tabel 1.3.** Biaya Sewa Unit Alat *Articulated Dump Truck* (ADT)

Jenis Biaya	Satuan	Articulated Dump Truck/ADT
Biaya sewa alat ADT	jam	Rp 1.013.542
Lama jam kerja 1 hari	jam	8
Biaya operator (rp 283.333/hari)	jam	Rp 53.125
Bahan Bakar	jam	Rp 510.482
Harga 1 liter solar (h)	rp	Rp 9.800
Konsumsi solar /jam	liter	52,09
<b>Total Biaya 1 Articulated Dump Truck/ADT</b>	<b>jam</b>	<b>Rp 1.577.149</b>

Sumber : *Olahan Data*

Sehingga diperoleh biaya sewa *articulated dump truck*/ADT untuk masing-masing unit excavator/PC dapat dilihat pada Tabel 1.4:

**Tabel 1.4.** Biaya ADT Per Unit PC (Rp/Jam)

Jenis Biaya	Satuan	PC400	PC300	PC200
Kebutuhan ADT per Unit PC	unit	5,47	4,07	1,98
Biaya Per Unit ADT	Rp/Jam	Rp 1.577.149	Rp 1.577.149	Rp 1.577.149
Biaya ADT Per Unit PC	Rp/Jam	Rp8.627.003	Rp6.418.995	Rp3.122.754

Sumber : *Olahan Data*

d. Indikator Batasan (*constraint*)

Fungsi tujuan linear programming untuk meroleh jumlah kebutuhan unit PC yang efisien dengan meminimalkan biaya yang dikeluarkan. Fungsi tujuan tersebut adalah:

$$Z = C_1 \cdot X_1 + C_2 \cdot X_2 + C_3 \cdot X_3$$

$$Z = 9.931.209 X_1 + 7.509.472 X_2 + 3.636.717 X_3$$

Dimana  $C_1$ ,  $C_2$  dan  $C_3$  merupakan biaya sewa alat excavator/PC dan *articulated dump truck*/ADT yang sudah diperoleh dari Tabel 1.1.

Indikator batasan yang pertama adalah biaya produksi yang harus dicapai oleh alat excavator atau unit PC:

**Tabel 1.5.** *Constraint* Biaya Produksi

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A1) Biaya Produksi	Rp 9.931.209	Rp 7.509.472	Rp 3.636.717	Rp - <= Rp 12.584.658

Indikator batasan yang kedua adalah volume yang harus dicapai oleh alat excavator atau unit PC. Berikut merupakan indikator batasan volume:

**Tabel 1.6.** *Constraint* Volume Pekerjaan

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A2) Volume (m3)	601.669	453.705	204.250	- <= 575.000

Indikator batasan yang ketiga adalah durasi yang harus dicapai oleh alat excavator atau unit PC. Berikut merupakan indikator batasan durasi:

**Tabel 1.7.** *Constraint* Durasi Pekerjaan

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A3) Waktu PC400	2.087			- >= 2.184
(A4) Waktu PC300		2.768		- >= 2.184
(A5) Waktu PC200			6.148	- >= 2.184

Indikator batasan yang keempat adalah jumlah unit alat excavator atau unit PC untuk mencapai target volume pekerjaan. Berikut merupakan indikator batasan jumlah unit alat:

**Tabel 1.8.** *Constraint* Jumlah Unit Alat

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A6) Jumlah PC400	1,00			- <= 0,96
(A7) Jumlah PC300		1,00		- <= 1,27
(A8) Jumlah PC200			1,00	- <= 2,82

Indikator batasan yang kelima adalah produktivitas yang harus dicapai oleh alat excavator atau unit PC. Berikut ini merupakan indikator untuk batasan produktivitas excavator/PC :

**Tabel 1.9.** *Constraint* Produktivitas Excavator/PC

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A9) Produktivitas PC400	275,49			- <= 263,28
(A10) Produktivitas PC300		207,74		- <= 263,28
(A11) Produktivitas PC200			93,52	- <= 263,28

Seluruh indikator sudah diperoleh sehingga tahap berikutnya memasukkan seluruh indikator dan fungsi tujuan ke dalam template analisis *linear programming* yang dapat dilihat pada Tabel 1.9. Tahap selanjutnya melakukan pemecahan persamaan tersebut dengan menggunakan *solver* pada *linear programming*.

**Tabel 1.10.** *Template Analisis Linear Programming*

Constraint	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)
Harga Sewa Excavator/PC & Articulated Dump Truck/ADT (Ci)	Rp 9.931.209	Rp 7.509.472	Rp 3.636.717	Goal Function (Z)
Jumlah Articulated Dump Truck/ADT	0,00	0,00	0,00	Rp -
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)				Rp -
(A1) Biaya Produksi	Rp 9.931.209	Rp 7.509.472	Rp 3.636.717	Rp - <= Rp 12.584.658
(A2) Volume (m3)	601.669	453.705	204.250	- <= 575.000
(A3) Waktu PC400	2.087			- >= 2.184
(A4) Waktu PC300		2.768		- >= 2.184
(A5) Waktu PC200			6.148	- >= 2.184
(A6) Jumlah PC400	1,00			- <= 0,96
(A7) Jumlah PC300		1,00		- <= 1,27
(A8) Jumlah PC200			1,00	- <= 2,82
(A9) Produktivitas PC400	275,49			- <= 263,28
(A10) Produktivitas PC300		207,74		- <= 263,28
(A11) Produktivitas PC200			93,52	- <= 263,28

Tahap selanjutnya melakukan pemecahan persamaan tersebut dengan menggunakan *solver* pada *linear programming*. Hasil jumlah alat excavator dan *articulated dump truck*/ADT yang diperoleh dapat dilihat pada Tabel 1.11:

**Tabel 1.11.** Hasil Analisis Kebutuhan Alat PC dan ADT  
*Linear Programming*

Constraint	Variabel	PC400	PC300	PC200	RHS (MIN)	
Harga Sewa Excavator/PC & Articulated Dump Truck/ADT (Ci)	Rp	9.931.209	7.509.472	3.636.717	Goal Function (Z)	
Jumlah Articulated Dump Truck/ADT		1,31	3,21	0,70		
Jumlah Unit Excavator/PC (Xi)		0,24	0,79	0,36	Rp 9.601.494	
Constraint						
(A1) Biaya Produksi	Rp	9.931.209	7.509.472	3.636.717	Rp 9.601.494	<= Rp 12.584.658
(A2) Volume (m <sup>3</sup> )		601.669	453.705	204.250	575.000	<= 575.000
(A3) Waktu PC400		2.087			501	>= 2.184
(A4) Waktu PC300			2.768		2.184	>= 2.184
(A5) Waktu PC200				6.148	2.184	>= 2.184
(A6) Jumlah PC400		1,00			0,24	<= 0,96
(A7) Jumlah PC300			1,00		0,79	<= 1,27
(A8) Jumlah PC200				1,00	0,36	<= 2,82
(A9) Produktivitas PC400		275,49			66	<= 263,28
(A10) Produktivitas PC300			207,74		164	<= 263,28
(A11) Produktivitas PC200				93,52	33	<= 263,28

Analisis *linear programming* menggunakan winQSB diperoleh hasil *minimum cost* berdasarkan fungsi tujuan sebesar Rp. 9.601.500 per jam untuk pekerjaan volume 575.000m<sup>3</sup> dengan durasi selama 2184 jam. Jumlah alat yang digunakan untuk pekerjaan 1 unit PC400, 1 unit PC300, 1 unit PC200.

Decision Variabel	Solution Value	Unit Cost or Profit c[j]	Total Contribution	Reduced Cost	Basic Status	Allowable Min. c[j]	Allowable Max. c[j]
X1	0,2401	9.931.209	2.384.498	0	basic	-M	9.988.490,000
X2	0,7890	7.509.472	6.926.104	0	basic	7.488.901	M
X3	0,3652	3.636.717	1.291.898	0	basic	3.371.371	M
Objective Function		(Min.) =	9.601.500,00				
Constraint	Left Hand Side	Direction	Right Hand Side	Slack or Surplus	Shadow Price	Allowable Min. RHS	Allowable Max. RHS
C1	9.601.500	<=	12.584.660	2.983.158,00	0	9.601.500,00	M
C2	575.000,00	<=	575.000,00	0	16.5061	-M	756.730,80
C3	501,09	>=	2184	1.982	0	501,09	M
C4	2.184	>=	2184	0	7.432	0	3.065,34
C5	2184	>=	2184	0	43.1568	0	6.532,35
C6	0,2401	<=	0,96	0,7199	0	0,2401	M
C7	0,7890	<=	1,27	0,481	0	0,7890	M
C8	0,3652	<=	2,82	2,4648	0	0,3652	M
C9	66,1453	<=	283,28	197,1347	0	66,1453	M
C10	163,9105	<=	283,28	99,3995	0	163,9105	M
C11	33,2222	<=	283,28	230,0678	0	33,2222	M

**Gambar 1.5.** Output Kebutuhan Alat dari Program Linear WinQSB

Sumber: *Olahan Data*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan total volume pekerjaan sebesar 575.000 m<sup>3</sup> dengan durasi 2.184 jam maka kebutuhan alat yang diperlukan selama periode proyek sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{PC400} &= 0,24 \cong 1 \text{ Unit} \\ \text{PC300} &= 0,79 \cong 1 \text{ Unit} \\ \text{PC200} &= 0,36 \cong 1 \text{ Unit} \\ \text{ADT} &= 5,23 \cong 6 \text{ Unit} \end{aligned}$$

Optimasi biaya alat *excavator* dilakukan berdasarkan dua skema yaitu skema sewa dan kepemilikan. Masing - masing skema memiliki komposisi biaya dan nilai efisiensi yang berbeda berikut ini hasil optimasi biaya untuk masing masing skema:

a. Skema Sewa

Biaya pekerjaan pemindahan tanah untuk skema sewa sudah didapat dari Analisa sebelumnya yang dapat dilihat pada Tabel 1.1, 1.2 dan 1.3. Hasil Penelitian menunjukkan bahwa untuk memenuhi kebutuhan total volume

pekerjaan sebesar 575.000 m<sup>3</sup> dengan durasi 2.184 jam maka biaya alat yang diperlukan selama periode proyek dapat dilihat pada Tabel 1.12.

**Tabel 1.12.** Hasil Analisis Kebutuhan Alat PC dan ADT *Linear Programming*

Kebutuhan Alat	Jumlah Alat LP (Unit)	Jumlah Alat Round Up (Unit)	Biaya Sewa (Rp/Jam)	Biaya Total LP (Rp)	Biaya Total Round Up (Rp)	Durasi LP (Jam)	Durasi Round Up (Jam)
PC400	0,24	1	1.304.206	683.845.231	2.848.385.904	524	2.184
PC300	0,79	1	1.090.477	1.879.208.556	2.381.601.768	1.723	2.184
PC200	0,36	1	513.963	398.730.089	1.122.495.192	776	2.184
ADT	5,23	6	1.577.149	18.007.879.546	20.666.956.128	-	-
Volume=	575.000 m <sup>3</sup>	Durasi =	2.184 Jam				
			PC400	683.845.231	2.848.385.904	524	2.184
			PC300	1.879.208.556	2.381.601.768	1.723	2.184
			PC200	398.730.089	1.122.495.192	776	2.184
			ADT	18.007.879.546	20.666.956.128	-	-
			Jumlah biaya (Rp)	Jumlah biaya (Rp)	Durasi Max (Jam)	Durasi Max (Jam)	
			TOTAL	20.969.663.422	27.019.438.992	1.723	2.184
			RENCANA	27.484.892.513	27.484.892.513	2.184	2.184
			DEV	-6.515.229.091	-465.453.521	-461	-
				-24%	-2%	-21%	0,0%

Sumber: *Olahan Data*

b. Skema Kepemilikan

Komponen biaya untuk skema kepemilikan terbagi menjadi 2 bagian yaitu biaya operasional dan biaya kepemilikan. Biaya operasional terdiri dari item biaya operator, bahan bakar, dan sebagainya. Rincian biaya operasional untuk masing-masing alat dapat dilihat pada Tabel 1.13

**Tabel 1.13.** Rincian Biaya Operasional Alat PC dan ADT Per Jam Skema Kepemilikan

Jenis Biaya	Satuan	PC 400	PC 300	PC200	ADT
Lama jam kerja 1 hari	jam	8	8	8	8
Biaya operator (rp 283.333/hari)	Rp/Jam	Rp 53.125	Rp 53.125	Rp 53.125	Rp 53.125
Bahan Bakar	Rp/Jam	Rp 391.706	Rp 308.602	Rp 172.088	Rp 510.482
Harga 1 liter solar (h)	Rp	Rp 9.800	Rp 9.800	Rp 9.800	Rp 9.800
Biaya Ban	Rp/Jam	-	-	-	Rp 45.000
Konsumsi solar /jam	liter	39,97	31,49	17,56	52,09
Biaya Maintenance	Rp/Jam	Rp 106.241	Rp 80.901	Rp 46.751	Rp 158.588
Biaya Operasional/jam	Rp/jam	Rp 551.072	Rp 442.628	Rp 271.964	Rp 767.195

Sumber: *Olahan Data*

Komponen biaya yang kedua untuk skema kepemilikan adalah biaya kepemilikan alat. Beberapa hal yang menjadi pertimbangan dalam penentuan biaya kepemilikan adalah sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \text{Suku Bunga (i)} &= 20\% \text{ per tahun} \\ \text{Umur Pemakaian (n)} &= 5 \text{ tahun} \end{aligned}$$

Sedangkan untuk menghitung biaya kepemilikan untuk masing-masing unit alat dapat menggunakan persamaan (1.4) sehingga diperoleh biaya peralatan untuk skema kepemilikan dapat dilihat pada Tabel 1.14.

**Tabel 1.14.** Total Biaya Alat PC dan ADT Skema Kepemilikan

Data	Suku Bunga	Harga Alat	Umur Ekonomis (th)	Pemakaian 1 tahun (jam)	Biaya Kepemilikan/ Jam	Biaya Operasional/ Jam	Biaya Peralatan/ Jam
PC 200	20%	1.945.755.000	5	3000	216.874	271.964	488.838
PC 300	20%	3.649.168.310	5	3000	406.736	442.628	849.365
PC 400	20%	5.130.158.000	5	3000	571.807	551.072	1.122.879
ADT	20%	8.156.279.000	5	3000	909.099	767.195	1.676.294

Sumber: *Olahan Data*

Sehingga biaya alat untuk skema kepemilikan dapat diperoleh sebagai berikut:

**Tabel 1.15.** Rekapitulasi Biaya Alat Skema Kepemilikan

Kebutuhan Alat	Jumlah Alat	Skema Biaya Kepemilikan		
		Biaya Kepemilikan	Biaya Operasional	Biaya Alat Kepemilikan
PC400	1,0	1.248.827.385	1.203.540.445	2.452.367.830
PC300	1,0	888.312.079	966.700.584	1.855.012.663
PC200	1,0	473.652.493	593.969.922	1.067.622.415
ADT	6,0	11.912.831.427	10.053.323.018	21.966.154.445
<b>TOTAL</b>				27.341.157.353
<b>RENCANA</b>				27.485.000.000
<b>DEVIASI</b>				(143.842.647)
<b>HASIL</b>				-1% Biaya Turun 1%

Sumber: *Olahan Data*

Kinerja proyek pemindahan tanah untuk pekerjaan jalan angkut batubara dari hasil evaluasi ragam penggunaan alat dan biaya memiliki nilai yang berbeda untuk masing-masing skema sewa maupun kepemilikan.

Pada tahap ini akan dibahas mengenai penentuan biaya masing-masing alat berdasarkan skema sewa atau kepemilikan serta skema kombinasi. Berikut ini evaluasi penentuan skema untuk masing-masing alat baik untuk PC maupun untuk ADT serta total biaya yang diperlukan untuk penyelesaian pekerjaan berdasarkan volume kontrak. Serta dapat juga dilihat beserta efisiensi yang diperoleh disajikan dalam bentuk tabel yang dapat dilihat pada Tabel 1.16.

**Tabel 1.16.** Keputusan Pemilihan Skema Biaya Alat

Kebutuhan Alat	Jumlah Alat	Skema Biaya Sewa	Skema Biaya Kepemilikan	Keputusan Sewa/Kepemilikan	Grand Total Biaya Alat
PC400	1,0	2.848.385.904	2.452.367.830	Kepemilikan	2.452.367.830,3
PC300	1,0	2.381.601.768	1.855.012.663	Kepemilikan	1.855.012.662,8
PC200	1,0	1.122.495.192	1.067.622.415	Kepemilikan	1.067.622.415,4
ADT	6,0	20.666.956.128	21.966.154.445	Sewa	20.666.956.128,0
<b>TOTAL</b>		27.019.438.992	27.341.157.353		26.041.959.037
<b>BOQ</b>		27.485.000.000	27.485.000.000		27.485.000.000
<b>DEVIASI</b>		(465.561.008)	(143.842.647)		(1.443.040.963)
		-2%	-1%		-5%
<b>HASIL</b>		<b>Biaya Turun 1%</b>	<b>Biaya Turun 1%</b>		<b>Biaya Turun 5%</b>

Sumber: *Olahan Data*

Hasil penelitian menunjukkan bahwa alat yang dibutuhkan untuk pekerjaan pemindahan tanah dengan total volume sebesar 575.000 m<sup>3</sup> memerlukan 1 alat PC400 dengan skema sewa 1 alat PC300 dengan skema biaya kepemilikan, 1 alat PC200 dengan skema biaya kepemilikan dan 6 alat ADT dengan skema biaya sewa. Hasil analisis menunjukkan bahwa dengan menerapkan kombinasi skema tersebut dapat mengurangi biaya produksi sebesar Rp. 1.443.040.963 atau sebesar 5% dari anggaran rencana.

#### IV. KESIMPULAN

Hasil penelitian menunjukkan kebutuhan alat yang diperlukan untuk menyelesaikan pekerjaan pemindahan tanah dengan volume 575.000 m<sup>3</sup> dengan durasi 2.184 jam menggunakan 1 unit PC400, 1 unit PC300, 1 unit PC200 dan 6 unit ADT. Efisiensi biaya skema sewa sebesar 2% dan 1% untuk skema kepemilikan. Kinerja biaya optimum pemindahan tanah diperoleh dengan menggunakan kombinasi skema kepemilikan dan sewa dengan komposisi 1 unit PC200, 1 unit PC300 dan 1 unit PC400 dengan skema biaya kepemilikan, sedangkan untuk ADT membutuhkan 6 unit dengan skema biaya sewa sehingga diperoleh efisiensi biaya produksi sebesar 5%. Lingkup penelitian masih sebatas pekerjaan timbunan, optimasi dapat dilakukan pada pekerjaan tanah (*grading dan compacting*) pada proyek jalan. Peluang untuk penelitian berikutnya dapat mengevaluasi pengaruh lain dari optimasi penggunaan alat terhadap konsumsi bahan bakar dan emisi gas buang alat berat

#### REFERENSI

Bogenberger, C., Dell'Amico, M., Fuellerer, G., Hoefinger, G., Iori, M., Novellani, S., & Panicucci, B. (2015). Two-phase earthwork optimization model for highway construction.

- Journal of Construction Engineering and Management*, 141(6), 1–11.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0000973](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0000973)
- Burt, C. N. (2008). *An Optimisation Approach to Materials Handling in Surface Mines*. (August), 23;26.
- Karshenas, S. (1989). *Truck Capacity Selection For Earthmoving*. 115(2), 212–227.
- Keputusan Menteri Energi dan Sumber Daya Mineral Republik Indonesia. *Pedoman Pelaksanaan Kaidah Teknik Pertambangan Yang Baik.*, (2018).
- Liu, C., & Lu, M. (2009). *Optimizing Earthmoving Job Planning Based on Evaluation of Temporary Haul Road Networks Design for Mass Earthworks Projects*. 1–15.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO)
- Morley, D., Lu, M., & Abourizk, S. (2014). *Identification of Invariant Average Weighted Haul Distance to Simplify Earthmoving Simulation Modeling in Planning Site Grading Operations*. 1–11.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862)
- Moselhi, O., & Alshibani, A. (2009). Optimization of earthmoving operations in heavy civil engineering projects. *Journal of Construction Engineering and Management*, 135(10), 948–954.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9364\(2009\)135:10\(948\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9364(2009)135:10(948))
- Ozdemir, B., & Kumral, M. (2017). Stochastic Assessment of the Material Haulage Efficiency in the Earthmoving Industry. *Journal of Construction Engineering and Management*, 143(8), 1–9.  
[https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)CO.1943-7862.0001336](https://doi.org/10.1061/(ASCE)CO.1943-7862.0001336)
- Rostiyanti, S. F. (2008). ALAT BERAT UNTUK PROYEK KONSTRUKSI. In *Rineka Cipta*.
- Schexnayder, B. C., Weber, S. L., & Brooks, B. T. (1999). *of T Ruck P Ayload W Eight*. 3(February), 1–7.
- Smith, S. D. (1999). *EARTHMOVING PRODUCTIVITY ESTIMATION USING LINEAR*. (June), 133–141.
- Wedhanto. (2009). *Produktivitas Alat Berat*. 46–64.