

## OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PEKERJAAN GALIAN DAN TIMBUNAN PROYEK PEMBANGUNAN KOLAM REGULASI NIPA – NIPA MAKASSAR

**Hafizh Asshiddiqie<sup>1</sup>, Moch. Khamim<sup>2</sup>, Joko Setiono<sup>3</sup>**

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang<sup>2,3</sup>

[hafizh.asshiddiqie@gmail.com](mailto:hafizh.asshiddiqie@gmail.com)<sup>1</sup>, [chamim@polinema.ac.id](mailto:chamim@polinema.ac.id)<sup>2</sup>, [jokosetiono405@gmail.com](mailto:jokosetiono405@gmail.com)<sup>3</sup>

### ABSTRAK

Kolam regulasi dibangun di samping sungai Tello yang memiliki luas 85 ha dan volume tampungan 3,58 juta m<sup>3</sup>. Agar elevasi sesuai dengan perencanaan diperlukan adanya galian. Perlu juga timbunan untuk pembuatan tanggul kolam. Penggunaan alat berat harus dianalisa agar optimal, yaitu mencapai biaya minimum tanpa mengabaikan target waktu yang akan dicapai. Metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil optimum menggunakan metode program linier. Data yang digunakan adalah spesifikasi alat berat, gambar potongan melintang, harga sewa alat berat, jadwal pekerjaan dan volume total pekerjaan galian dan timbunan. Hasil optimasi menunjukkan kebutuhan alat berat dan biaya operasional yang optimum pada setiap alternatif kombinasi. Pada pekerjaan timbunan zona 1 dipilih kombinasi 5 dengan biaya total Rp 1.167.311.664 dengan komposisi 1 unit excavator, 3 unit dump truck, 1 unit bulldozer, 1 unit vibro roller, dan 1 unit water tank truck. Pada zona 2 dipilih kombinasi 3 dengan biaya total Rp 2.038.195.328 dengan komposisi 3 unit excavator, 3 unit dump truck, 2 unit bulldozer, 2 unit vibro roller, dan 2 unit water tank truck. Untuk pekerjaan galian zona 1 dipilih kombinasi 8 dengan biaya Rp 18.261.494.400 dengan komposisi 2 unit excavator, 4 unit dump truck, 4 unit bulldozer. Pada zona 2 pekerjaan galian dipilih kombinasi 8 dengan biaya total Rp 26.290.907.200 dengan komposisi 3 unit excavator, 7 unit dump truck, 4 unit bulldozer.

**Kata kunci** : optimasi, timbunan, galian, alat berat, kombinasi.

### ABSTRACT

*The regulation pond located on the side of Tello river has 85 ha of area and 3,58 million m<sup>3</sup> of storage volume. Previously, the area was a rice field area that had relatively flat elevation. So that the elevation is in accordance with the plan, excavation is needed. There is also a need for filling the ground to make pond embankments. In carrying out the work cutting and filling, required the use of heavy equipment, so that the work can be completed according to the fixed schedule. The use of heavy equipment should be analyzed thoroughly to achieve the goal which is the minimum costs without ignoring the targetted time. The linier proگرامing method is employed to get the best results. The data where in the form of machine spec, cross-section images, cost of machine rental, work schedules, and the cutting and filling work volume. The optimum machine needs and combination operational costs indicate the optimization of the result. The result suggests the ground fill work, that the first zone work should take the combination 5 which spend the total cost is Rp 1,167,311,664. The combination consists of 1 excavator, 3 dump trucks, 1 bulldozer, 1 vibro roller, and 1 water tank truck. In the second zone work should take the combination 3 which spend the total cost is Rp 2,038,195,328. The combination consists of 3 excavators, 3 dump trucks, 2 bulldozers, 2 vibro rollers, and 2 water tank trucks. For the excavation work, the work of zone 1 was chosen with combination 8, the cost is Rp 18,261,494,400 with composition of 2 excavators, 4 dump trucks, 4 bulldozers. The work of zone 2 was chosen with combination 8, total cost is Rp.26,290,907,200 with composition of 3 excavators, 7 dump trucks, 4 bulldozers.*

**Keywords** : optimization, landfill, excavation, heavy equipment, combination.

### 1. PENDAHULUAN

Indonesia merupakan negara kepulauan yang memiliki beragam potensi bencana alam. Salah satunya adalah pulau Sulawesi dengan potensi banjir yang cukup besar, terutama pada daerah ibukota Makassar. Maka perlu

dibangun bangunan pengendali banjir yang ada di Kota Makassar agar mampu mengontrol air sungai yaitu Kolam Regulasi Nipa – Nipa untuk menampung limpahan air sungai Tallo yang berada di Makassar.

Kolam Regulasi Nipa – Nipa memiliki luas tampungan kolam sebesar 84 Ha dan memiliki keliling tanggul yang menggunakan tanah timbunan. Kolam mampu menampung 2.81 juta m<sup>3</sup> (pada elevasi +3.36).

Pada proyek pembangunan kolam regulasi ini alat berat merupakan faktor sangat penting karena sebagian besar pembangunannya dilakukan dan dilaksanakan menggunakan alat berat khususnya pekerjaan galian dan timbunan keliling waduk Nipa – Nipa. Untuk meminimalkan dana, mempersingkat waktu pengerjaan dan memudahkan pekerjaan konstruksi yang akan dilaksanakan kontraktor, maka kontraktor membutuhkan strategi untuk mendapatkan hal tersebut. Untuk itu dilakukannya optimalisasi alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan pembangunan kolam/waduk ini dengan tujuan untuk membantu mengatur dan merencanakan sistem pengoprasian alat berat yang digunakan pada lapangan secara optimal. Agar dalam pengadaan dan penggunaan alat berat dapat termonitor dengan baik, maka perlu dilakukan pemilihan kombinasi alat berat agar tujuan tersebut tercapai. Untuk pengerjaan galian di daerah kolam diperlukan alat berat berupa *excavator*, *dump truk* dan *bulldozer*. Dan untuk pekerjaan penimbunan diperlukan alat berat berupa *excavator*, *dump truk*, *bulldozer*, *vibro roller*, dan *water tank*.

Dengan memperhatikan latar belakang memperhatikan latar belakang dan permasalahan tersebut maka tujuan pembahasan ini meliputi:

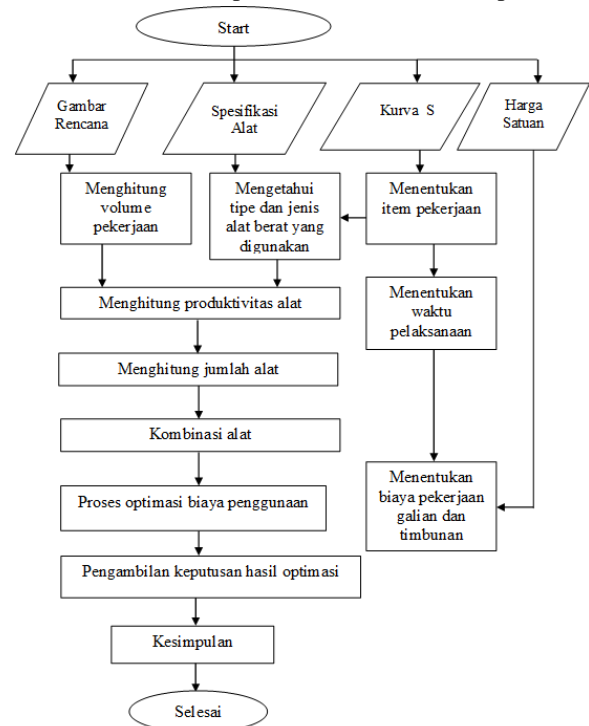
- 1) Menghitung volume pekerjaan galian dan timbunan yang menggunakan alat berat.
- 2) Mengetahui produktivitas tiap tipe – tipe alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan.
- 3) Mengetahui alternatif kombinasi dan jumlah kebutuhan alat berat pekerjaan galian dan timbunan.
- 4) Mengetahui biaya operasional dalam setiap alternatif yang menunjukkan solusi optimum.
- 5) Mendapatkan alternatif kombinasi optimum untuk penggunaan alat berat.

## 2. METODE

Obyek penelitian adalah pada Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa – Nipa Makassar. Pengumpulan data dilakukan dengan memperoleh data penunjang seperti data sekunder dari proyek tersebut.

Data yang digunakan yaitu data spesifikasi alat berat , spesifikasi pekerjaan tanah kolam retensi, *site layout* proyek, biaya sewa alat, dan schedule pekerjaan galian dan timbunan.

Setelah mendapatkan data sekunder, kemudian dilakukan analisa dan pengolahan data yaitu mengoptimasi penggunaan alat berat. Berikut merupakan flowchart metode penelitian:



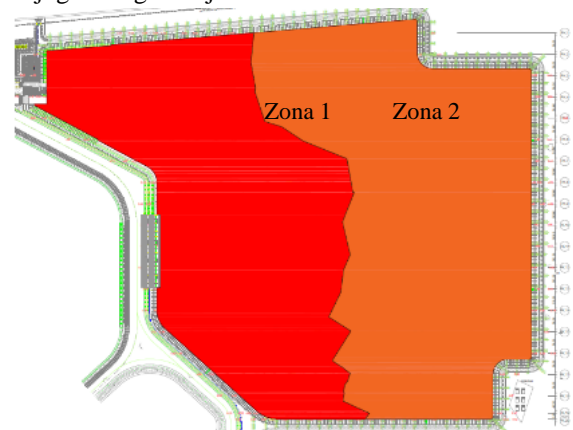
Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian

## 3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan dari optimasi alat berat:

- 1) Menghitung Volume Timbunan dan Galian

Sebelum menghitung volume pekerjaan, diperlukan penguraian pekerjaan dengan cara membuat WBS (*Work Breakdown Structure*). Perhitungan volume pekerjaan sesuai dengan gambar denah pekerjaan dan gambar potongan. Pekerjaan timbunan dibagi menjadi 2 zona dan pekerjaan galian juga dibagi menjadi 2 zona.

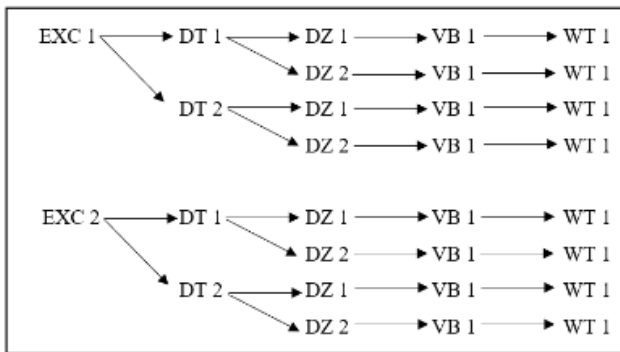


Gambar 2. Denah pekerjaan galian

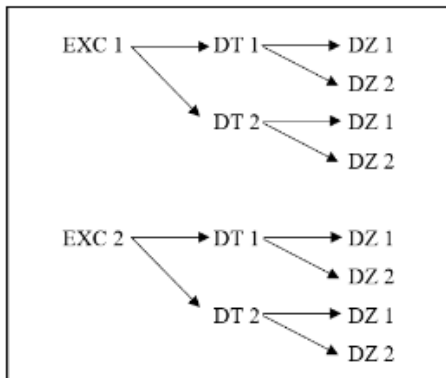
2) Membuat alternatif kombinasi alat

Pada dasarnya alat berat tersebut memiliki merek dan tipe yang banyak sekali, akan tetapi dalam penyajian ini penulis akan mengambil beberapa merek dan tipe alat berat yang datanya didapatkan dari proyek. Alternatif kombinasi alat berat yang digunakan pada pekerjaan timbunan dan galian Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa – Nipa disajikan pada gambar dibawah ini.

TIMBUNAN



GALIAN



Gambar 3. Alternatif kombinasi alat berat pekerjaan timbunan dan galian

\*Ket : EXC 1: Excavator Hitachi ZX200-5G, EXC 2: Excavator Caterpillar 336D, DT 1: Dump Truck FE SHD K, DT 2: Dump Truck HINO 500 FM, DZ 1 : Bulldozer Komatsu D85ESS-2A, DZ 2: Bulldozer Caterpillar D7G, VB 1: Vibro Roller Caterpillar CS533E, WT: Water Tank ISUZU

3) Perhitungan produktivitas dan biaya operasional

Pada pekerjaan timbunan dan galian alat berat yang dibutuhkan untuk membantu proses pelaksanaannya memiliki berbagai macam tipe. Untuk menghitung biaya operasional diperlukan perhitungan produktivitas alat berat. Berikut ini merupakan produktivitas alat berat yang digunakan pada pekerjaan timbunan dan galian.

a. Excavator Hitachi ZX200-5G

Volume bucket (V): 0.80 m<sup>3</sup>  
 Waktu mengisi bucket (T1): 11 detik  
 Waktu swing dengan isi (T2): 7 detik  
 Waktu swing kosong (T3): 5 detik  
 Waktu menumpahkan (T4): 5 detik  
 Lain – lain (T5): 8 detik

Menghitung Ts:  
 $T_s = \text{waktu siklus}$   
 $= T_1 + T_2 + T_3 + T_4 + T_5$   
 $= 11 + 7 + 5 + 5 + 8$   
 $= 36 \text{ detik} = 0,60 \text{ menit}$   
 $Q = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{T_s}$   
 $Q = \frac{0,8 \times 0,95 \times 0,75 \times 60}{0,60}$   
 $= 57,00 \text{ m}^3/\text{jam}$

Maka, dengan 8 jam kerja/hari produktifitasnya menjadi 456,00 m<sup>3</sup>/ hari

b. Dump truck FE SHD K dikombinasikan dengan EXC 1 (pekerjaan galian dibuang jarak 0 – 1 km)

Volume bucket (V): 5,50 m<sup>3</sup>  
 Jarak borrow area ke area timbunan (l): 1 km  
 Kecepatan saat bak penuh (V1): 40 km/jam  
 Kecepatan saat bak kosong (V2): 50 km/jam  
 $T_1 = \text{waktu memuat material}$   
 $= (V \text{ dump truck} \times 60) / (D \times Q_{\text{exca}} \times F_k)$   
 $= (5 \text{ m}^3 \times 60) \times (1,60 \times 57,00 \times 0,9)$   
 $= 4,02 \text{ menit}$   
 $T_2 = (L/V_1) \times 60 = (1/40) \times 60 = 1,5 \text{ menit}$   
 $T_3 = (L/V_2) \times 60 = (1/50) \times 60 = 1,2 \text{ menit}$   
 $T_4 = \text{Lain – lain} = 2 \text{ menit}$   
 $T_s = T_1 + T_2 + T_3 + T_4 = 4,02 + 1,5 + 1,2 + 2$   
 $= 8,72 \text{ menit}$

$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{T_s}$   
 $Q = \frac{5 \times 0,83 \times 60}{8,72}$   
 $= 31,41 \text{ m}^3/\text{jam}$

Maka, dengan 8 jam kerja/hari diperoleh produktifitas sebesar 251,27 m<sup>3</sup>/ hari.

c. Bulldozer Komatsu D85ESS-2A

Kapasitas Pisau (q) : 6,48 m<sup>3</sup>  
 Kecepatan maju (F) : 3,8 km/jam  
 Kecepatan mundur (R) : 6,8 km/jam  
 Lebar Blade (L) : 3,6 m  
 Tinggi Blade (H) : 1,5 m  
 Jarak Gusur (D) : 50 m  
 Menghitung Ts

Kecepatan maju  
 =  $0,75 \times 3,8 \text{ km/jam} = 2,85 \text{ km/jam}$   
 =  $47,5 \text{ m/menit}$   
 Kecepatan mundur  
 =  $0,85 \times 6,8 \text{ km/jam} = 5,44 \text{ km/jam}$   
 =  $90,67 \text{ m/menit}$   
 Waktu lain lain = 0,5 menit  
 $T_s = (\text{Jarak Gusur/Kecepatan Maju}) + (\text{Jarak Gusur/Kecepatan mundur}) + \text{waktu lain lain}$   
 =  $(50/47,50) + (50/90,67) + 0,5 = 2,1 \text{ menit}$   
 $Q = \frac{q \times Fa \times Fb \times Fm \times 60}{T_s}$   
 $Q = \frac{6,48 \times 0,75 \times 0,8 \times 1 \times 60}{1,5}$   
 $Q = 110,869 \text{ m}^3/\text{jam} = 886,95 \text{ m}^3/\text{hari}$

d. *Vibro Roller*

Menghitung Produktivitas:  
 Kecepatan rata-rata alat (V) : 3 km/jam  
 Lebar efektif pemadatan (b) : 1,2 m  
 Tebal pemadatan (t) : 0,3 m  
 Faktor alat baik (Fa) : 0,75  
 Jumlah lintasan (n) : 8  
 $Q = \frac{V \times 1000 \times b \times t \times Fa}{n}$   
 $Q = \frac{3 \times 1000 \times 1,2 \times 0,3 \times 0,75}{8}$   
 $Q = 112,5 \text{ m}^3/\text{jam} = 900 \text{ m}^3/\text{hari}$

e. *Water tank ISUZU*

Kapasitas tangki (V) *watertank truck*: 4 m<sup>3</sup>  
 Jumlah pengisian tangki/jam (n): 2 kali  
 Kondisi alat berat sedang, maka Fa : 0,75  
 Kebutuhan air / m<sup>3</sup> agregat padat (Wc): 0,05 m<sup>3</sup>  
 $Q = \frac{V \times n \times Fa}{Wc}$   
 $Q = \frac{4 \times 2 \times 0,75}{0,05}$   
 =  $120 \text{ m}^3/\text{jam} = 960 \text{ m}^3/\text{hari}$

Perhitungan biaya operasional alat untuk pekerjaan galian dan timbunan mempertimbangkan aspek waktu rencana. Waktu pekerjaan sangat berpengaruh terhadap biaya. Besarnya tenaga alat berat juga berpengaruh terhadap bahan bakar yang digunakan. Berikut contoh perhitungan biaya operasional alat *excavator* pada pekerjaan timbunan.

Kebutuhan bahan bakar  
 =  $(0,125 \text{ s/d } 0,175 \text{ liter/HP/jam}) \times \text{HP}$   
 =  $0,15 \times 168 = 25,2 \text{ liter/jam}$   
 Biaya BBM  
 =  $25,2 \text{ liter/jam} \times \text{harga solar industry}$   
 =  $25,2 \text{ liter/jam} \times \text{Rp } 11.115,-/\text{liter}$   
 =  $\text{Rp } 280.098,-/\text{jam}$   
 Biaya Sewa Alat =  $\text{Rp } 190.000,-/\text{jam}$

Biaya Upah Operator =  $\text{Rp } 26.250,-/\text{jam}$   
 Biaya Operasional =  $\text{Rp } (280.098+190.000 + 26.250) / \text{jam} \times 320 \text{ jam}$   
 =  $\text{Rp } 158.831.360,-$

**Tabel 1.** Rekapitulasi Biaya Operasional Alat Berat Pekerjaan Galian

Kode Alat	Kapasitas	HP	Biaya
EXC 1	0.80 m <sup>3</sup>	168	Rp. 1.429.482.240
EXC 2	2.1 m <sup>3</sup>	270	Rp. 2.581.653.600
DT 1	5,50 m <sup>3</sup>	134	Rp. 1.208.625.120
DT 2	14 m <sup>3</sup>	230	Rp. 1.813.586.400
DZ 1	4,96 m <sup>3</sup>	155	Rp. 1.453.460.400
DZ 2	6,48 m <sup>3</sup>	200	Rp. 1.957.536.000

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 2.** Rekapitulasi Biaya Operasional Alat Berat Pekerjaan Timbunan

Kode Alat	Kapasitas	HP	Biaya
EXC 1	0.80 m <sup>3</sup>	168	Rp. 158.831.360
EXC 2	2.1 m <sup>3</sup>	270	Rp. 286.850.400
DT 1	5,50 m <sup>3</sup>	134	Rp. 134.291.680
DT 2	14 m <sup>3</sup>	230	Rp. 201.509.600
DZ 1	4,96 m <sup>3</sup>	155	Rp. 161.495.600
DZ 2	6,48 m <sup>3</sup>	200	Rp. 217.504.000
VB	10.8 ton	128,2	Rp. 118.284.960
WT	4000 l	98	Rp. 124.797.264

Sumber: Hasil Perhitungan

4) Optimasi Alat Berat Pekerjaan Timbunan

a. Pekerjaan Timbunan Zona 1

**Alternatif Kombinasi 1**

Variabel Keputusan dalam optimasi penggunaan alat berat adalah jumlah kebutuhan alat berat:

- X<sub>1</sub> = Jumlah unit *excavator* tipe 1
- X<sub>2</sub> = Jumlah unit *dump truck* tipe 1
- X<sub>3</sub> = Jumlah unit *bulldozer* tipe 1
- X<sub>4</sub> = Jumlah unit *vibratory roller* tipe 1
- X<sub>5</sub> = Jumlah unit *water tank* tipe 1

Tujuan dalam optimasi penggunaan alat berat adalah untuk meminimalkan biaya penggunaan alat berat yang ditentukan oleh biaya operasional alat berat dan jumlah alat berat.

C<sub>1</sub>= Biaya *excavator* tipe 1 =  $\text{Rp } 158.831.360,-$   
 C<sub>2</sub>= Biaya *dump truck* tipe 1 =  $\text{Rp } 134.291.680,-$   
 C<sub>3</sub>= Biaya *bulldozer* tipe 1 =  $\text{Rp } 217.504.000,-$   
 C<sub>4</sub>= Biaya *vibro roller* tipe 1 =  $\text{Rp } 124.797.264,-$   
 C<sub>5</sub>= Biaya *water tank* tipe 1 =  $\text{Rp } 118.284.960,-$   
 $Z \text{ min} = \text{Rp } 158.831.360 \cdot X_1 + \text{Rp } 134.291.680 \cdot X_2 + \text{Rp } 217.504.000 \cdot X_3 + \text{Rp } 124.797.264 \cdot X_4 + \text{Rp } 118.284.960 \cdot X_5$

Kendala Volume ditentukan oleh produktivitas yang diperoleh dari masing-masing tipe alat berat selama pekerjaan timbunan tanggul berlangsung.

- excavator* tipe 1 :  $57,00 \cdot X_1 \geq 101,00$
- dump truck* tipe 1 :  $31,41 \cdot X_2 \geq 101,00$
- bulldozer* tipe 1 :  $110,87 \cdot X_3 \geq 101,00$
- vibratory roller* tipe 1 :  $112,50 \cdot X_4 \geq 101,00$
- water tank truck* tipe 1 :  $120 \cdot X_5 \geq 101,00$

Kendala ketergantungan alat adalah kendala kebutuhan jumlah alat yang saling ketergantungan antara jenis alat satu dengan jenis alat yang lain.

Ketergantungan *excavator* dengan *dump truck*:

$$-2X_1 + X_2 \geq 0$$

Ketergantungan *dump truck* dengan *bulldozer*:

$$-0,25 X_2 + X_3 \geq 0$$

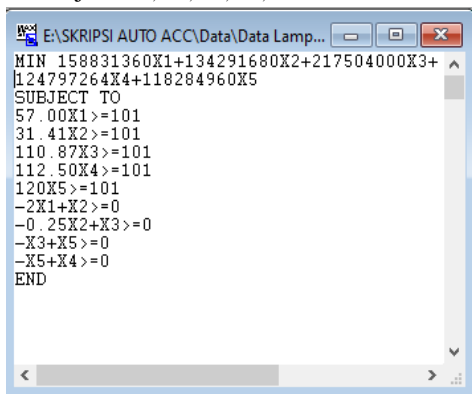
Ketergantungan *bulldozer* dengan *water tank truck*:

$$-X_3 + X_5 \geq 0$$

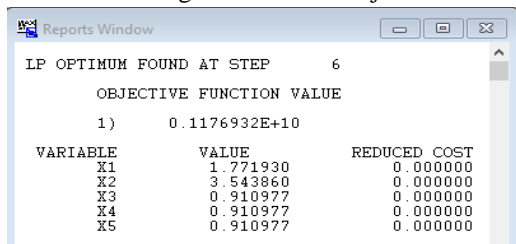
Ketergantungan *water tank* dengan *vibratory roller*

$$-X_5 + X_4 \geq 0$$

Kendala ketidaknegatifan menandakan bahwa semua variabel tidak boleh memiliki nilai kurang dari nol dan dapat ditulis menjadi  $X_1, X_2, X_3, X_4, X_5 \geq 0$ .



Gambar 4. Fungsi kendala dan tujuan



Gambar 5. Hasil Optimasi menggunakan Aplikasi LINDO

Semua fungsi kendala dan fungsi tujuan yang sudah dirubah menjadi bentuk standar simpleks dimasukkan kedalam aplikasi LINDO yang selanjutnya akan dilakukan proses iterasi sampai dapat hasil yang optimum. hasil iterasi ke 6 sudah optimum, karena nilai pada baris  $Z_j - C_j \geq 0$ .

Dari hasil optimasi diperoleh jumlah kebutuhan alat berat pada alternatif kombinasi 1 pada zona 1 yaitu:

- Excavator* 1 ( $X_1$ ) = 1,77 = 2 unit
- Dump truck* 1 ( $X_2$ ) = 3,544 = 4 unit
- Bulldozer* 1 ( $X_3$ ) = 0,91 = 1 unit
- Vibratory roller* ( $X_4$ ) = 0,91 = 1 unit
- Water tank truck* ( $X_5$ ) = 0,91 = 1 unit

$$Z \text{ min} = \text{Rp } 158.831.360 \cdot 2 + \text{Rp } 134.291.680 \cdot 4 + \text{Rp } 217.504.000 \cdot 1 + \text{Rp } 124.797.264 \cdot 1 + \text{Rp } 118.284.960 \cdot 1 = \text{Rp } 1.315.415.664,-$$

Berdasarkan gambar5. hasil optimasi telah optimum dengan biaya Rp 1.176.932.000,-.

Selanjutnya dilakukan proses yang sama untuk alternatif kombinasi 2 dan seterusnya. Pada setiap kombinasi 1 sampai dengan 8 didapatkan biaya paling minimum. Biaya paling minimum dari 8 alternatif kombinasi dipilih karena merupakan biaya paling optimum dari setiap kombinasi.

#### 4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan optimasi penggunaan alat berat pada pekerjaan timbunan dan galian diperoleh beberapa kesimpulan, yaitu:

- 1) Volume pekerjaan timbunan 73.901,47 m<sup>3</sup> dengan rincian pada zona 1 sebesar 32.441,53 m<sup>3</sup> sedangkan pada zona 2 sebesar 41.459,94 m<sup>3</sup>. Dan volume pekerjaan galian 1.480.421,15 m<sup>3</sup> dengan rincian pada zona 1 sebesar 721.375,01 m<sup>3</sup> dan pada zona 2 sebesar 759.046,14 m<sup>3</sup>.
- 2) Produktifitas alat berat yang digunakan pada pekerjaan galian dan timbunan sebesar:
  - Excavator* Hitachi ZX200-5G 57,00 m<sup>3</sup> / jam
  - Excavator* Caterpillar 336D 122,42 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* FE SHD K & (EXC 1) 31,41 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* FE SHD K & (EXC 2) 41,68 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* hino 500 FM & (EXC 1) 46,69 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* hino 500 FM & (EXC 2) 73,66 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* FE SHD K & (EXC 1) 19,40 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* FE SHD K & (EXC 2) 22,88 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* hino 500 FM & (EXC 1) 34,29 m<sup>3</sup> / jam
  - Dump truck* hino 500 FM & (EXC 2) 46,90 m<sup>3</sup> / jam
  - Bulldozer* D85ESS-2A (DZ 1) 110,869 m<sup>3</sup> / jam
  - Bulldozer* Cat D7G (DZ 2) 81,896 m<sup>3</sup> / jam
  - Vibratory Roller* Caterpillar CS533E 112,5 m<sup>3</sup> / jam
- 3) *Water tank truck* ISUZU 120 m<sup>3</sup> / jam. Alternatif kombinasi yang digunakan untuk proses optimasi pekerjaan timbunan terdapat 8 alternatif kombinasi dengan 2 tipe excavator, 2 tipe dump truck, 2 tipe bulldozer, 1 tipe vibro roller dan 1 tipe water tank. Dan alternatif kombinasi yang untuk proses optimasi pekerjaan galian terdapat 8 alternatif kombinasi dengan 2 tipe excavator, 2 tipe dump truck, dan 2 tipe bulldozer.

4) Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat yang optimum pada pekerjaan timbunan pada setiap alternatif kombinasi adalah sebagai berikut:

Pekerjaan timbunan zona 1:

**Tabel 3.** Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat pekerjaan timbunan zona 1

Kom-binasi	Jumlah Alat (Unit)					Biaya
	EXC	DT	DZ	WT	VB	
1	2	4	1	1	1	Rp. 1.336.915.664
2	2	4	2	1	1	Rp. 1.446.402.864
3	2	3	1	1	1	Rp. 1.403.777.744
4	2	3	2	1	1	Rp. 1.513.264.944
5	1	3	1	1	1	Rp. 1.167.311.664
6	1	3	2	1	1	Rp. 1.276.798.864
7	1	2	1	1	1	Rp. 1.166.955.824
8	1	2	2	1	1	Rp. 1.276.443.024

Sumber: Hasil Perhitungan

Pekerjaan timbunan zona 2:

**Tabel 4.** Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat pekerjaan timbunan zona 2

Kom-binasi	Jumlah Alat (Unit)					Biaya
	EXC	DT	DZ	WT	VB	
1	3	5	2	2	2	Rp. 2.106.124.928
2	3	5	3	2	2	Rp. 2.160.603.728
3	3	3	2	2	2	Rp. 2.038.195.328
4	3	3	3	2	2	Rp. 2.092.674.128
5	2	4	1	2	2	Rp. 2.064.039.968
6	2	4	2	2	2	Rp. 2.118.518.768
7	2	3	1	2	2	Rp. 2.130.902.048
8	2	3	2	2	2	Rp. 2.185.380.848

Sumber: Hasil Perhitungan

Pekerjaan galian zona 1:

**Tabel 5.** Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat pekerjaan galian zona 1

Kom-binasi	Jumlah Alat (Unit)			Biaya
	EXC	DT	DZ	
1	4	9	3	Rp. 22.505.663.040
2	4	9	4	Rp. 22.449.896.640
3	4	6	3	Rp. 22.508.055.360
4	4	6	4	Rp. 22.452.288.960
5	2	7	3	Rp. 19.524.791.040
6	2	7	4	Rp. 19.469.024.640
7	2	4	3	Rp. 18.317.260.800
8	2	4	4	Rp. 18.261.494.400

Sumber: Hasil Perhitungan

Pekerjaan galian zona 2:

**Tabel 6.** Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat pekerjaan galian zona 1

Kom-binasi	Jumlah Alat (Unit)			Biaya
	EXC	DT	DZ	
1	5	16	3	Rp. 32.403.521.120
2	5	16	4	Rp. 32.349.754.720
3	5	10	3	Rp. 31.198.383.200
4	5	10	4	Rp. 31.144.616.800
5	3	13	3	Rp. 29.364.695.360
6	3	13	4	Rp. 29.310.928.960
7	3	7	3	Rp. 26.344.673.600
8	3	7	4	Rp. 26.290.907.200

Sumber: Hasil Perhitungan

5) Kombinasi alat berat yang menunjukkan biaya operasional penggunaan alat berat yang paling murah adalah sebagai berikut:

**Timbunan Zona 1 :** Kombinasi 5 dengan biaya Rp 1.167.311.664 dengan komposisi 1 unit *excavator* Caterpillar 336D, 3 unit *dump truck* FE SHD K, 1 unit *bulldozer* Komatsu D85ESS-2A, 1 unit *vibro roller* Caterpillar CS533E, dan 1 unit *water tank truck* ISUZU

**Timbunan Zona 2 :** Kombinasi 3 dengan biaya Rp 2.038.195.328 dengan komposisi 3 unit *excavator* Hitachi ZX200-5G, 3 unit *dump truck* HINO 500 FM, 2 unit *bulldozer* Komatsu D85ESS-2A, 2 unit *vibro roller* Caterpillar CS53E, dan 2 unit *water tank* ISUZU

**Galian Zona 1 :** Kombinasi 8 dengan biaya Rp 18.261.494.400 dengan komposisi 2 unit *excavator* Caterpillar 336D, 4 unit *dump truck* HINO 500 FM, 4 unit *bulldozer* Komatsu Caterpillar D7G

**Galian Zona 2 :** Kombinasi 8 dengan biaya Rp 26.290.907.200 dengan komposisi 3 unit *excavator* Caterpillar 336D, 7 unit *dump truck* HINO 500 FM, 4 unit *bulldozer* Komatsu Caterpillar D7G

**DAFTAR PUSTAKA**

[1] Aminudin, *Prinsip-prinsip Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga, 2005.  
 [2] Dumairy, *Matematika Terapan untuk Bisnis dan Ekonomi*. Yogyakarta : BPFE, 1999.  
 [3] Hartono, W, *Pemindahan Tanah Mekanik (Alat-alat Berat)*. Surakarta: LPP dan UNS Press, 2005.  
 [4] Hadihardaja, J. dkk, *Pemindahan Tanah Mekanis*. Malang: ITN Malang, 1998.

- [5] Kholil, Ahmad, *Alat Berat*. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya, 2012.
- [6] Putra, W., A, *Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Cut and Fill Proyek Jalan Lintas Selatan STA. 11+000 – STA 21+000 Sendang Biru, Balekambang, Malang*. REKONS – Jurnal Manajemen Rekayasa Konstruksi Vol 1, No. 1 (Juli 2016), Halaman 1-6.
- [7] Qariatullailiyah, Indryani., *Optimasi Penggunaan Alat Berat untuk Pekerjaan Pengangkutan dan Penimbunan pada Proyek Grand Island Surabaya dengan Program Linier*. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1, 2013.