

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT (STUDI KASUS : PEKERJAAN GALIAN DAN TIMBUNAN PEMBANGUNAN LANDFILL CELLS ERIC-I JOMBANG)

Ayusha Nursabita¹, Joko Setiono², Suhariyanto³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang^{2,3}

ayushanita19@gmail.com¹, jokosetiono405@gmail.com², suhariyanto@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pembangunan Landfill Cells pada proyek Emission Reduction in Cities (ERIC-I) Solid Waste Management in Jombang Regency Dalam melakukan penyiapan lahan tersebut dibutuhkan bantuan dari alat berat. Penggunaan alat berat yang kurang tepat pada pekerjaan dapat berdampak pada meningkatnya biaya pada pekerjaan sehingga perlu dilakukan optimasi menggunakan program linier dengan aplikasi LINDO 6.1 agar alat berat yang digunakan pada pelaksanaan dapat berjalan secara optimal sehingga dapat terwujud sesuai dengan apa yang diinginkan. Data yang diperlukan adalah gambar rencana, spesifikasi alat berat, harga sewa operator dan pembantu operator. Pelaksanaan pekerjaan galian dan timbunan dilakukan selama 85 hari. Hasil optimasi pada pekerjaan galian landfill zona 1, zona 2, zona 3 dipilih kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. Rp2.690.748 terdiri dari 1 unit bulldozer, 1 unit Excavator dan 3 unit dump truck. Hasil optimasi pada pekerjaan galian material zona 1 dipilih kombinasi 2 dengan biaya total sebesar Rp. 2.024.585 membutuhkan 1 unit Excavator dan 3 unit dump truck. Hasil optimasi galian material zona 2 digunakan kombinasi 2 dengan biaya total sebesar Rp. 1.576.769 terdiri dari 1 unit dan 2 unit dump Truck. Hasil optimasi pekerjaan galian material zona 3 dipilih kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. 2.024.585 membutuhkan 1 unit Excavator dan 3 unit dump truck. dan zona 4 dipilih alternatif kombinasi 3 dengan biaya total sebesar Rp. 1.980.105 membutuhkan 1 unit Excavator dan 2 unit dump truck. Hasil optimasi pekerjaan timbunan tanggul landfill zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 dipilih alternatif Kombinasi 1 dengan biaya total sebesar Rp. 1.711.212, yang terdiri dari 1 unit Motor grader, 1 unit Water tank tuck, dan 1 unit Vibratory roller.

Kata kunci : galian, timbunan, alat berat, optimasi, landfill

ABSTRACT

Construction of Landfill Cells in the Emission Reduction in Cities (ERIC-I) Solid Waste Management in Jombang Regency project in preparing the land, assistance from heavy equipment is needed. The use of heavy equipment that is not right on the job can have an impact on increasing costs on the job so it is necessary to optimize using a linear program with the LINDO 6.1 program. So that the heavy equipment used in the implementation can run optimally so that it can be realized according to what is desired. The required data are plan drawings, heavy equipment specifications, operator rental and operator assistant prices. The cut and fill work are carried out for 90 days. The optimization result on landfill cut work zone 1, zone 2, zone 3, and zone 4, are selected combination 2 with a cost of Rp. 2.690.748, consisting of 1 bulldozer, 1 excavator and 3 dump trucks. The optimization result the zone 1 material cut work are selected combination 2 with a total cost of Rp. 2.024.585 requires 1 Excavator and 3 Dump Trucks. The optimization result of zone 2 material cut used a combination of 2 with a total cost of Rp. 1.576.769 consists of 1 unit and 2 Dump Trucks. In zone 3 material cut work are selected combination 2 with a total cost of Rp. 2.024.585 requires 1 Excavator and 3 Dump Trucks. and zone 4 of material cut work are selected alternative combination 2 with a total cost of Rp. 1,234,142, requires 1 unit of excavator and 3 units of dump truck. The results of the optimization of landfill embankment work in zone 1, zone 2, zone 3, and zone 4 were chosen as the alternative Combination 1 with a total cost of Rp. 1,181,730, consisting of 1 unit Motor grader, 1 unit Water tank tuck, and 1 unit Vibratory roller

Keywords : cut and fill, heavy equipment, optimization, landfill

1. PENDAHULUAN

Tingginya volume limbah yang di hasilkan oleh aktifitas penduduk tiap tahun semakin meningkat medasari TPA Banjardowo Kabupaten jombang dengan Program *Emission Reduction in Cities (ERIC-I) Solid Waste Management in Jombang* dalam pengelolaan limbah.

Dalam melakukan penyiapan lahan tersebut dibutuhkan bantuan dari alat berat. Alat Berat yang digunakan pada proses ini ini antara lain alat penggali, alat pengolah lahan, alat pengangkut, alat pemadat, dan alat pemindah material.

Optimasi penggunaan alat berat merupakan sebuah proses untuk mendapatkan biaya yang paling optimal dalam pekerjaan. Penggunaan alat berat yang kurang tepat pada pekerjaan dapat berdampak pada meningkatnya biaya pada pekerjaan dikarenakan kerugian yang harusnya tidak dikeluarkan dan terlambatnya pelaksanaan pekerjaan. Maka diperlukan pengoptimalisasian alat berat pada Pekerjaan galian dan timbunan Landfill cells ERIC-I Jombang agar alat berat yang digunakan pada pelaksanaan dapat berjalan secara optimal sehingga dapat terwujud sesuai dengan apa yang diinginkan.

Dari latar belakang dan permasalahan yang ada maka tujuan pembahasan ini meliputi:

1. Volume pekerjaan galian dan timbunan pada pembangunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang
2. Menentukan strategi dan metode pelaksanaan yang digunakan pada pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.
3. Menghitung produktivitas alat berat yang digunakan pada pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.
4. Menentukan alternatif kombinasi alat berat yang digunakan dalam pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.
5. Menghitung biaya dari masing masing alat berat yang digunakan dalam pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.
6. Mengetahui alternatif kombinasi alat berat yang menunjukkan solusi optimal dalam pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.
7. Menentukan jadwal penggunaan alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.

Langkah-langkah dalam perhitungan optimasi alat berat adalah sebagai berikut:

1. Menyusun *Work Breakdown Structure* pekerjaan galian dan timbunan *Landfill Cells ERIC-I* Jombang
2. Menghitung volume dari pekerjaan galian dan timbunan *Landfil cells ERIC-I* Jombang
3. Menentukan strategi dan metode pelaksanaan galian dan timbunan *Landfill cells ERIC-I* Jombang

4. Menghitung produktivitas alat berat dengan tujuan untuk mengetahui berapa besar volume yang dikerjakan pada masing-masing alat berat dalam 1 jam (m³/jam);

a. Bulldozer

$$Q = \frac{q \times Fb \times Fm \times Fa \times 60}{Ts}$$

b. Excavator

$$Q = \frac{V \times Fa \times Fb \times 60}{Ts \times Fv}$$

c. Dump Truck

$$Q = \frac{(V \times Fa \times 60)}{(D \times Ts)}$$

d. Motor Grader

$$Q = \frac{Lh \times \{n(b - b0) + b0\} \times Fa \times 60 \times t}{N \times n \times Ts}$$

e. Water Tank Truck

$$Q = \frac{V \times n \times Fa}{Wc}$$

f. Vibratory Roller

$$Q = \frac{be \times v \times Fa \times t}{n}$$

5. Menentukan alternatif kombinasi alat berat yang digunakan pada tiap item pekerjaan.

6. Menghitung biaya operasional dengan tujuan mengetahui biaya dari masing-masing jenis alat berat yang digunakan per jam.

a. Menghitung biaya bahan bakar yang digunakan alat berat per jam

$$H = (12,00 \text{ s/d } 15,00)\% \times HP \times Ms$$

b. Menghitung banyaknya pelumas yang digunakan oleh alat berat per jam nya (Permen PUPR No.28 tahun 2016)

$$I = (2,5 - 3,0)\% \times H \times Mp$$

c. Menghitung upah tenaga kerja (Permen PUPR No.28 Tahun 2016)

$$L = 1 / \text{orang/jam} \times U1$$

d. Menghitung Biaya Operasional

$$P = B + H + L$$

Keterangan:

B = Biaya Sewa Alat / Jam (**Rp**)

H = Biaya anyaknya bahan bakar yang dipergunakan dalam 1 jam (**lt/jam**)

I = Banyaknya minyak pelumas yang dipakai dalam 1 jam (**lt/jam**)

L = Upah operator atau *driver* (**Rp**)

Ms = Harga minyak solar (**Rp**)

Mp = Harga pelumas (**Rp**)

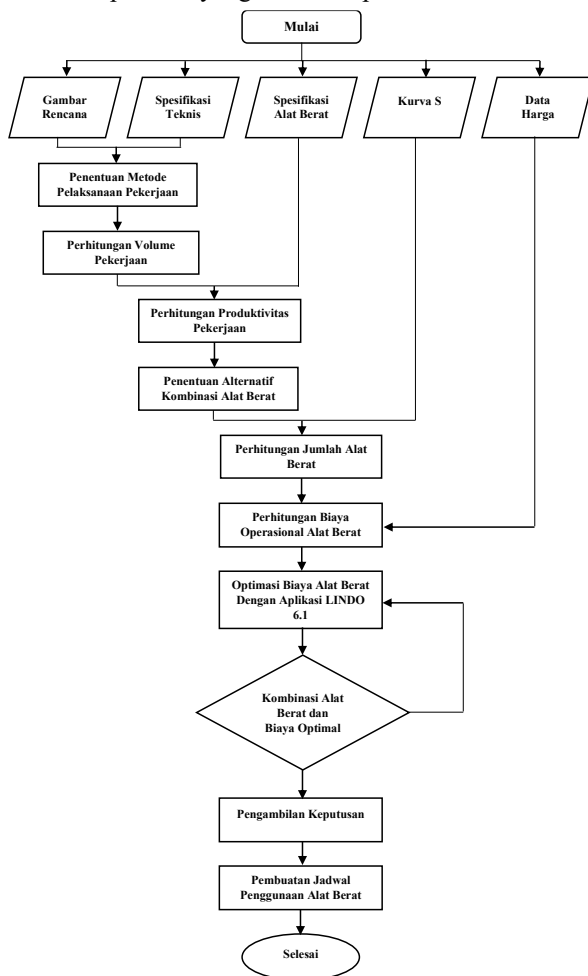
7. Optimasi alternatif kombinasi alat berat menggunakan aplikasi LINDO 6.0 dengan program linier (metode simpleks)

8. Pengambilan keputusan alternatif kombinasi alat berat berdasarkan hasil optimasi diambil dari alternatif kombinasi yang menunjukkan solusi

optimal, dengan biaya ter rendah yang mengacu pada volume pekerjaan, jenis dan jumlah alat, durasi, dan produktivitas alat berat sesuai dengan ketergantungan masing masing alat berat yang digunakan tiap jenis item pekerjaan.

2. METODE

Penelitian ini dilakukan pada Proyek *Emission Reduction in Cities (ERIC) Programme Solid Waste Management in Jombang Regency*. Data yang digunakan bersumber dari proyek tersebut, juga peninjauan langsung oleh penulis. Data yang digunakan adalah data gambar kerja, spesifikasi alat berat, dan harga satuan alat berat. Setelah data sekunder telah terkumpul, langkah selanjutnya adalah pengolahan data dan analisa keputusan yang telah didapatkan.



Gambar 1. Diagram Alir Pelaksanaan Penelitian
 Sumber: Dokumen Pribadi

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Penentuan Strategi dan Metode Pelaksanaan

Dalam pelaksanaan pekerjaan New landfill cells dibagi menjadi 4 zona, yaitu zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4. Pembagian zona dalam pelaksanaan dilakukan karena volume galian *landfill cells* yang besar, sehingga

memudahkan perhitungan dan pelaksanaan pekerjaan.

1. Metode Pekerjaan Galian.

Langkah yang dilakukan pertama kali adalah pengukuran elevasi galian oleh surveyor. Setelah itu bulldozer mengeruk tanah hingga mencapai titik elevasi yang diperlukan. *Excavator* memuat material hasil galian kedalam *Dump Truck* untuk dibawa menuju area penyimpanan material.

2. Metode Pekerjaan Galian Material.

Pada area penyimpanan material, digunakan kombinasi alat yaitu *Excavator* untuk mengisi material pada *dump truck* untuk di angkut menuju area timbunan. Selanjutnya *dump truck* mengangkut material ke lokasi pekerjaan timbunan untuk di hampar menggunakan alat berat motor grader.

3. Metode Pekerjaan Timbunan Material.

Surveyor melakukan stake out dan marking untuk menentukan batas dan ketebalan timbunan. Material timbunan di hampar oleh *dump truck* dan diratakan dengan menggunakan *motor grader* sesuai dengan elevasi. Selanjutnya *water tank truck* menyirami material timbunan dengan tujuan agar pemadatan dapat dilakukan secara optimal, dan mengurangi polusi udara. Pemadatan dilakukan per layer dengan tebal 30 cm menggunakan alat *vibratory roller*.

Perhitungan Volume Pekerjaan

Pada pembangunan *Landfill cell* Proyek *ERIC-I* telah dibagi menjadi 4 zona. Sehingga pada perhitungan volume pekerjaan terbagi dalam beberapa ite pekerjaan. Hasil perhitungan volume pekerjaan galian *Landfill cells* disajikan pada **tabel 1**.

Tabel 1. Rekapitulasi Perhitungan Pekerjaan Galian Proyek ERIC-I Jombang

| Zona | Luas Area | Volume | Satuan |
|--------|-----------|-----------|--------|
| Zona 1 | 869,74 | 17.888,24 | m3 |
| Zona 2 | 704,37 | 14.703,67 | m3 |
| Zona 3 | 381,71 | 7.368,05 | m3 |
| Zona 4 | 456,48 | 9.632,04 | m3 |
| | 2.412,98 | 49.592,01 | m3 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan volume pekerjaan galian material disajikan pada **tabel 2**.

Tabel 2. Rekapitulasi Perhitungan Pekerjaan Timbunan Proyek ERIC-I Jombang

| Zona | Luas Area | Volume | Satuan |
|--------|-----------|-----------|--------|
| Zona 1 | 126,50 | 5.082,79 | m3 |
| Zona 2 | 116,42 | 4.060,78 | m3 |
| Zona 3 | 335,24 | 10.606,09 | m3 |
| Zona 4 | 301,69 | 10.170,64 | m3 |
| | 897,85 | 29.920,30 | m3 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Produktifitas Alat Berat

Alat berat yang digunakan pada masing-masing pekerjaan memiliki produktivitas yang berbeda. Produktifitas alat berat

dihitung menggunakan **Persamaan 2; 3; 4; 5.**

Hasil dari perhitungan produktifitas alat berat dapat dilihat pada **Tabel 3, 4 & 5.**

Tabel 3. Rekap Produktifitas Alat Berat Pekerjaan Galian *Landfill cells* Proyek *ERIC-I* Jombang

| No | Jenis Alat | Tipe Alat | Produktivitas | Satuan | Ket. |
|----|------------|------------------------|---------------|--------|------|
| 1 | BDZ1 | Caterpillar D6 GC | 129,62 | m3/jam | - |
| 2 | BDZ2 | Komatsu D65EX-18 | 144,97 | m3/jam | - |
| 3 | EXC1 | Komatsu PC200-8M0 | 77,11 | m3/jam | - |
| 4 | EXC2 | Caterpillar 320GX | 89,64 | m3/jam | - |
| 5 | DT1 | Hino ranger 500 235 JJ | 28,97 | m3/jam | EXC1 |
| 6 | DT2 | Hino Dutro 130 HD | 26,21 | m3/jam | EXC1 |
| 7 | DT1 | Hino ranger 500 235 JJ | 29,66 | m3/jam | EXC2 |
| 8 | DT2 | Hino Dutro 300 130 HD | 28,80 | m3/jam | EXC2 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 4. Rekap Produktifitas Alat Berat Pekerjaan Galian *Landfill cells* Proyek *ERIC-I* Jombang

| No | Jenis Alat | Tipe Alat | Produktivitas | Satuan | Ket. |
|----|------------|------------------------|---------------|--------|------|
| 1 | EXC1 | Komatsu PC200-8M0 | 74,70 | m3/jam | - |
| 2 | EXC2 | Caterpillar 320GX | 86,84 | m3/jam | - |
| 3 | DT1 | Hino ranger 500 235 JJ | 31,88 | m3/jam | EXC1 |
| 4 | DT2 | Hino Dutro 130 HD | 15,05 | m3/jam | EXC1 |
| 5 | DT1 | Hino ranger 500 235 JJ | 32,93 | m3/jam | EXC2 |
| 6 | DT2 | Hino Dutro 300 130 HD | 29,29 | m3/jam | EXC2 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 5. Rekap Produktifitas Alat Berat Pekerjaan Galian *Landfill cells* Proyek *ERIC-I* Jombang

| No | Jenis Alat | Tipe Alat | Produktivitas | Satuan | Ket. |
|----|------------|--------------------|---------------|--------|------|
| 1 | MG1 | Komatsu GD535-5 | 162,59 | m3/jam | - |
| 2 | MG2 | Komatsu GD705-5 | 189,33 | m3/jam | - |
| 3 | WT1 | Isuzu 4000L | 94,86 | m3/jam | - |
| 4 | VR1 | Caterpillar CS533E | 228,33 | m3/jam | - |

Sumber: Hasil Perhitungan

Pembentukan Alternatif Kombinasi Alat Berat

Alternatif kombinasi alat berat yang digunakan pada Pembangunan *Landfill cells* Proyek *ERIC-I* Jombang ditentukan berdasarkan jenis dan tipe alat berat yang berbeda. Dengan tujuan mengetahui alternatif kombinasi dengan tipe alat mana yang efektif dan efisien pada tiap item pekerjaannya, berdasarkan volume pekerjaan, luas pekerjaan, dan tipe alat yang digunakan. Alternatif kombinasi alat berat yang digunakan disajikan pada **Tabel 9, 10 & 11.**

Tabel 6. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Galian

| No | Kombinasi | Tipe Alat | | |
|----|-------------|-----------|-------|------|
| 1 | Kombinasi 1 | BDZ 1 | EXC 1 | DT 1 |
| 2 | Kombinasi 2 | BDZ 1 | EXC 1 | DT 2 |
| 3 | Kombinasi 3 | BDZ 2 | EXC 1 | DT 1 |
| 4 | Kombinasi 4 | BDZ 2 | EXC 1 | DT 2 |
| 5 | Kombinasi 5 | BDZ 1 | EXC 2 | DT 1 |
| 6 | Kombinasi 6 | BDZ 1 | EXC 2 | DT 2 |
| 7 | Kombinasi 7 | BDZ 2 | EXC 2 | DT 1 |
| 8 | Kombinasi 8 | BDZ 2 | EXC 2 | DT 2 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 7. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Galian Material

| No | Kombinasi | Tipe Alat | |
|----|-------------|-----------|------|
| 1 | Kombinasi 1 | EXC 1 | DT 1 |
| 2 | Kombinasi 2 | EXC 1 | DT 2 |
| 3 | Kombinasi 3 | EXC 2 | DT 1 |
| 4 | Kombinasi 4 | EXC 2 | DT 2 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Tabel 8. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Timbunan

| No | Kombinasi | Tipe Alat | | |
|----|-------------|-----------|------|------|
| 1 | Kombinasi 1 | MG 1 | WT 1 | VR 1 |
| 2 | Kombinasi 2 | MG 2 | WT 1 | VR 1 |

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Biaya Operasional Alat Berat

Setiap jenis alat berat memiliki biaya operasional yang berbeda berdasarkan tipe alat dan penggunaannya sehingga perlu dihitung dengan **Persamaan 5 dan 6.** Hasil dari perhitungan biaya sewa dan operasional alat berat dapat dilihat di dalam **Tabel 9.**

Tabel 9. Rekapitulasi Biaya Operasional Alat Berat

| No | Jenis Alat | Biaya Operasional | Satuan |
|----|------------|-------------------|--------|
| 1 | BDZ 1 | Rp 666.163,00 | /jam |
| 2 | BDZ 2 | Rp 671.908,00 | /jam |
| 3 | EXC 1 | Rp 681.137,00 | /jam |
| 4 | EXC 2 | Rp 690.329,00 | /jam |
| 5 | DT 1 | Rp 644.888,00 | /jam |
| 6 | DT 2 | Rp 447.816,00 | /jam |
| 7 | MG 1 | Rp 704.090,00 | /jam |
| 8 | MG 2 | Rp 809.825,00 | /jam |

| | | | | |
|----|------|----|------------|------|
| 9 | WT 1 | Rp | 435.177,00 | /jam |
| 10 | VR 1 | Rp | 571.945,00 | /jam |

Sumber: Hasil Perhitungan

Proses Optimasi Menggunakan Program Linier Metode Simpleks

Optimasi pada pekerjaan galian material dilakukan dengan menentukan Variabel keputusan, Fungsi Tujuan, Fungsi Kendala, dan Fungsi ketidak negatitan berdasarkan volume pekerjaan, biaya operasional, dan produktivitas alat dari masing-masing alternatif kombinasi yang telah ditentukan, menggunakan aplikasi LINDO 6.1 Berikut adalah contoh hasil optimasi alat berat yang menunjukkan solusi optimal :

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

1. Penentuan Variabel Keputusan

- X1 = Jumlah unit Excavator
- X2 = Jumlah unit Bulldozer
- X3 = Jumlah unit Dump Truck

2. Penentuan Fungsi Tujuan

$$\text{MIN } 666163X1 + 681137X2 + 447816X3$$

3. Penentuan Fungsi Kendala Volume

$$129,62X1 \geq 63.89$$

$$77,11X2 \geq 63.89$$

$$26,21X3 \geq 63.89$$

4. Penentuan Fungsi Kendala Ketergantungan Alat

$$X1 - X2 \leq 0$$

$$3X2 - X3 \leq 0$$

5. Penentuan Fungsi Ketidaknegatifan

$$X1 \geq 0$$

$$X2 \geq 0$$

$$X3 \geq 0$$

Berikut hasil optimasi penggunaan alat berat per jam dapat dilihat pada gambar 2.

| VARIABLE | VALUE | REDUCED COST |
|----------|----------|--------------|
| X1 | 0.496735 | 0.000000 |
| X2 | 0.828557 | 0.000000 |
| X3 | 2.485670 | 0.000000 |

Gambar 2. Hasil Optimasi Pekerjaan Galian Landfill Zona 1 pada aplikasi Lindo 6.1

Sumber: Dokumen Pribadi

Didapatkan:

- Excavator Tipe 1 : 0.49 ≈ 1 Unit
- Bulldozer Tipe 2 : 0.83 ≈ 1 Unit
- Dump Truck Tipe 1 : 2.49 ≈ 3 Unit
- Zmin = 666.163.X1 + 681.137.X2 + 644.888.X3
- Zmin = Rp 666.163 .1 + Rp 681.137 .1 + Rp 644.888 .3
- = Rp 3.281.964 / jam

Tabel 10. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Landfill Cells Proyek ERIC-I Jombang

| Pekerjaan Galian Zona 1 | | | | |
|-------------------------|------------|-------------|----------|-----------------|
| Altnf | Alat Berat | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 3.281.964 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 2 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 2.690.748 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 3 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 3.287.709 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 4 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 2.696.493 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 5 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 3.291.156 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 6 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 2.699.940 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 7 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 3.296.901 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 8 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 2.705.685 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| Pekerjaan Galian Zona 2 | | | | |
| Altnf | Alat Berat | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 3.281.964 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 2 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 2.690.748 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 3 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 3.287.709 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 4 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 2.696.493 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 5 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 3.291.156 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 6 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 2.699.940 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 7 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 3.296.901 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 8 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 2.705.685 |
| | EXC 2 | Rp 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| Pekerjaan Galian Zona 3 | | | | |
| Altnf | Alat Berat | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 3.281.964 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp 644.888 | 3 | |
| 2 | BDZ 1 | Rp 666.163 | 1 | Rp 2.690.748 |
| | EXC 1 | Rp 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp 447.816 | 3 | |
| 3 | BDZ 2 | Rp 671.908 | 1 | Rp 3.287.709 |

| | | | | | |
|--------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 4 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 2.696.493 |
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 5 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 3.291.156 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 6 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 2.699.940 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 7 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 3.296.901 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 8 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 2.705.685 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| Pekerjaan Galian Zona 4 | | | | | |
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 3.281.964 |
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 2 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 2.690.748 |
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 3 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 3.287.709 |
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 4 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 2.696.493 |
| | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 5 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 3.291.156 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 6 | BDZ 1 | Rp | 666.163 | 1 | Rp 2.699.940 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 7 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 3.296.901 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 8 | BDZ 2 | Rp | 671.908 | 1 | Rp 2.705.685 |
| | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Material

Proses optimasi pada pekerjaan galian material dilakukan dengan menentukan Variabel keputusan, Fungsi Tujuan, Fungsi Kendala, dan Fungsi ketidak negatitan pada aplikasi LINDO 6.1 dari masing-masing alternatif kombinasi alat berat yang telah ditentukan. Hasil optimasi pekerjaan galian material dapat dilihat pada **tabel 11**.

Tabel 11. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Material Landfill Cells Proyek ERIC-I Jombang

| Pekerjaan Galian Material Zona 1 | | | | | |
|-----------------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.615.801 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 2 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.024.585 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 3 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 2.624.993 |

| | | | | | |
|---|-------|----|---------|---|--------------|
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 4 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 2.033.777 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |

| Pekerjaan Galian Material Zona 2 | | | | | |
|-----------------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 1.970.913 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 2 | |
| 2 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 1.576.769 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 2 | |
| 3 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 1.980.105 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 2 | |
| 4 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 1.585.961 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 2 | |

| Pekerjaan Galian Material Zona 1 | | | | | |
|-----------------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.615.801 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 2 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.024.585 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 3 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 2.624.993 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 4 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 2.033.777 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |

| Pekerjaan Galian Material Zona 1 | | | | | |
|-----------------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.615.801 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 3 | |
| 2 | EXC 1 | Rp | 681.137 | 1 | Rp 2.024.585 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |
| 3 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 1.980.105 |
| | DT 1 | Rp | 644.888 | 2 | |
| 4 | EXC 2 | Rp | 690.329 | 1 | Rp 2.033.777 |
| | DT 2 | Rp | 447.816 | 3 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

Proses optimasi pada pekerjaan timbunan dilakukan dengan menentukan Variabel keputusan, Fungsi Tujuan, Fungsi Kendala, dan Fungsi ketidak negatitan pada masing-masing alternatif kombinasi. Hasil optimasi pekerjaan timbunan disajikan pada **tabel 12**.

Tabel 12. Hasil Optimasi Biaya Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan Landfill Cells Proyek ERIC-I Jombang

| Pekerjaan Timbunan Zona 1 | | | | | |
|----------------------------------|-------------------|----|--------------------|-----------------|------------------------|
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | MG 1 | Rp | 704.090 | 1 | Rp 1.711.212 |
| | WT 1 | Rp | 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp | 435.177 | 1 | |
| 2 | MG 2 | Rp | 809.825 | 1 | Rp 1.816.947 |
| | WT 1 | Rp | 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp | 435.177 | 1 | |
| Pekerjaan Timbunan Zona 2 | | | | | |
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | MG 1 | Rp | 704.090 | 1 | Rp 1.711.212 |
| | WT 1 | Rp | 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp | 435.177 | 1 | |
| 2 | MG 2 | Rp | 809.825 | 1 | Rp 1.816.947 |
| | WT 1 | Rp | 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp | 435.177 | 1 | |
| Pekerjaan Timbunan Zona 3 | | | | | |
| Altnf | Alat Berat | | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |

| 1 | MG 1 | Rp 704.090 | 1 | Rp 1.711.212 |
|---------------------------|------------|-------------|----------|-----------------|
| | WT 1 | Rp 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp 435.177 | 1 | |
| 2 | MG 2 | Rp 809.825 | 1 | Rp 1.816.947 |
| | WT 1 | Rp 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp 435.177 | 1 | |
| Pekerjaan Timbunan Zona 4 | | | | |
| Altnf | Alat Berat | Biaya / Jam | Unit/jam | Total Harga/Jam |
| 1 | MG 1 | Rp 704.090 | 1 | Rp 1.711.212 |
| | WT 1 | Rp 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp 435.177 | 1 | |
| 2 | MG 2 | Rp 809.825 | 1 | Rp 1.816.947 |
| | WT 1 | Rp 571.945 | 1 | |
| | VR 1 | Rp 435.177 | 1 | |

Sumber: Hasil Perhitungan

Penentuan Penjadwalan Alat Berat

Penjadwalan penggunaan alat berat menunjukkan durasi dari penggunaan alat berat pada pekerjaan, agar pelaksanaan pekerjaan dapat selesai sesuai durasi yang telah ditentukan sebelumnya. Durasi penggunaan alat berat bergantung dari kapasitas alat, volume pekerjaan dan faktor ketergantungan alat berat yang digunakan.

Barchart

Barchart merupakan balok yang menunjukkan durasi dari suatu pekerjaan. Barchart bedasarkan durasi dari penggunaan alat berat pada *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang.

Precedence Digram Method (PDM)

Pada precedence diagram method hasil yang didapat pada pekerjaan galian *landfill* dapat dilaksanakan selama 81 hari. Pekerjaan galian material dapat dilaksanakan selama 59 hari, dan untuk pekerjaan timbunan *landfill* dapat dikerjakan selama 44 hari.

Kurva S

Kurva S merupakan kurva yang berisi informasi durasi dan persentase pekerjaan. Untuk menghitung bobot dari setiap alat berat yang digunakan maka biaya masing masing alat dibagi dengan biaya total seluruh alat. Dari hasil perhitungan tersebut maka pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* Proyek ERIC-I Jombang dapat dilaksanakan selama 85 hari atau 13 minggu. Dengan biaya total sebesar Rp 2.758.635.265

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan optimasi alat berat pada pekerjaan galian dan timbunan *Landfill cells* ERIC-I Jombang maka diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Volume pekerjaan galian dan timbunan *Landfill Cells* Proyek ERIC-I Jombang sebesar :
 - a. Volume Pekerjaan Galian Zona 1

Zona 1 : 17.888,25 m³, Zona 2 : 14.703,67 m³,
Zona 3 : 7.368,05 m³, Zona 4 : 9.632,04 m³

- b. Volume Pekerjaan Galian Material
Zona 1 : 5.641,90 m³, Zona 2 : 4.507,46 m³, Zona 3 : 11.326,51 m³, Zona 4 : 11.289,42 m³

- c. Volume Pekerjaan Timbunan
Zona 1 : 5.641,90 m³, Zona 2 : 4.507,47 m³, Zona 3 : 11.326,51 m³, Zona 4 : 11.289,42 m³

2. Strategi yang digunakan adalah dengan membagi area pekerjaan menjadi 4 zona dengan tujuan memudahkan pelaksanaan pekerjaan.

3. Produktivitas masing-masing alat berat pada tiap pekerjaan berbeda, yaitu :

- a. Pekerjaan Galian
Produktivitas Excavator tipe Komatsu PC200-8M0 sebesar 77,11 m³/jam, Excavator tipe CAT 320 GX 89,64 m³/jam, Dump Truck Tipe Hino Ranger 235 JJ sebesar 28,97 m³/jam, Dump Truck Tipe Hino Dutro 130 HD 26,21 m³/jam, Bulldozer Tipe CAT G6 GC sebesar 129,62 m³/jam, Bulldozer Tipe Komatsu DG65EX-18 sebesar 144,97 m³/jam.

- b. Pekerjaan Galian Material
Produktivitas Excavator tipe Komatsu PC200-8M0 sebesar 74,70 m³/jam, Excavator tipe CAT 320 GX sebesar 86,84 m³/jam, Dump Truck Tipe Hino Ranger 235 JJ sebesar 31,884 m³/jam, Dump Truck Tipe Hino Dutro 130 HD sebesar 15.05 m³/jam.

- c. Pekerjaan Timbunan
Produktivitas Motor Grader tipe Komatsu GD705-5 sebesar 162,60 m³/jam, Motor Grader tipe Komatsu GD535-6 sebesar 189,32 m³/jam, Water Tank Truck Isuzu 4000L sebesar 94,86 m³/jam, dan Vibratory Roller CATC S3555E sebesar 228,33 m³/jam.

4. Alternatif kombinasi yang digunakan pada pekerjaan galian *landfill* sebanyak 8 kombinasi, pekerjaan galian material 4 kombinasi, dan pekerjaan timbunan 2 kombinasi pada tiap zonanya.

5. Biaya operasional masing-masing alat berat yang digunakan sebesar :

- a. Excavator Komatsu PC200-8M0 : Rp 681.137
- b. Excavator CAT 320GX : Rp 690.329
- c. Dump Truck Hino Ranger 235 JJ : Rp 644.888
- d. Dump Truck Hino Dutro 130 HD : Rp 447.816
- e. Bulldozer CAT D6 GC : Rp 666.163
- f. Bulldozer Komatsu D65EX-18 : Rp 671.907
- g. Motor Grader Komatsu GD535-5 : Rp 704.090
- h. Motor Grader Komatsu GD705-5 : Rp 809.825
- i. Water Tank Truck Isuzu 4000L : Rp 435.177
- j. Vibratory Roller CAT CS533E : Rp 571.945

6. Melalui beberapa alternatif kombinasi yang sudah di optimasi, maka biaya optimumnya sebesar:
- Pekerjaan Galian *Landfill*
 Pada zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 digunakan Alternatif kombinasi 2 dengan biaya total sebesar Rp. 2.024.585, terdiri dari 1 unit Bulldozer tipe 1 (CAT D6 GC), 1 unit Excavator tipe 1 (Komatsu PC200-8M0), dan 3 unit Dump Truck tipe 2 (Hino Dutro 130 HD).
 - Pekerjaan Galian Material
 Pada zona 1 digunakan kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. 2.024.585, pada zona 2 digunakan kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. 1.576.769 , pada zona 3 digunakan kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. 2.024.585, dan pada zona 4 digunakan kombinasi 2 dengan biaya sebesar Rp. 1.980.105, yang terdiri dari 1 unit Excavator tipe 1 (CAT 320GX), dan 3 unit Dump Truck tipe 2 (Hino Dutro 130 HD).
 - Pekerjaan Timbunan.
 Pada zona 1, zona 2, zona 3, dan zona 4 digunakan alternatif kombinasi 1 1 dengan biaya total sebesar Rp. 1.171.212, yang terdiri dari 1 unit Motor grader tipe 1 (Komatsu GD535-5), 1 unit Water Tank Truck Isuzu 4000L, dan 1 unit Vibratory roller CAT CS355E.
7. Dari hasil perhitungan tersebut maka pekerjaan galian dan timbunan Landfill cells Proyek ERIC-I Jombang dapat dilaksanakan selama 85 hari atau 13 minggu. Dengan biaya total sebesar Rp 2.758.635.265.
- [6] Djoko Wilopo, 2009, METODE KONSTRUKSI DAN ALAT-ALAT BERAT, Jakarta : Penerbit Universitas Indonesia (UI Press)
- [7] Dr. Diah Lydianingtias, ST.,MM. & Suhariyanto, ST., MT., 2018, ALAT BERAT, Malang: Polinema Press.
- [8] Hadi Effendi (2016), ‘Perhitungan Kebutuhan Alat Berat Pada Pekerjaan Tanah Proyek Pembangunan Pabrik Precast Di Sentul’. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) FT- Unpak, Vol.1 (1). <https://jom.unpak.ac.id/index.php/tekniksipil/article/view/525>
- [9] Ir. Abrar Husen M.T., 2011, Perencanaan, Penjadwalan, Pengendalian Proyek. (Rev. ed.), Yogyakarta : Andi Publisher.
- [10] Ir. Susy Fateena Rostiyanti, M.Sc. , 2008, ALAT BERAT UNTUK PROYEK KONSTRUKSI, Jakarta :PT.Rineka Cipta
- [11] Purwanto, Tri (2016) ‘Produktivitas Alat Berat Pada Pembangunan Jalan Ruas Ladat-Landesar Provinsi Maluku’. Jurnal Online Mahasiswa (JOM) FT-Unpak <https://jom.unpak.ac.id/index.php/tekniksipil/article/view/434>
- [12] Ramadhan, Y., & Nugraha, T. (2018). ‘Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian Tanah (Studi Kasus Proyek Perumahan Fortune Villa Graha Raya)’. WIDYAKALA: JOURNAL OF PEMBANGUNAN JAYA UNIVERSITY, vol.5 (1), 17-23. <https://ojs.upj.ac.id>.
- [13] SNI 19-2454-2002 Tentang Tata Cara Pengelolaan Teknik Sampah Perkotaan.
- [14] Ulfasari Rafflesia, S.Si, M.Si & Drs. Fanani Haryo Widodo, M.Sc, 2014, PEMROGRAMAN LINIER, Bengkulu: BP Fakultas Pertanian UNIB

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Abdillah, S.Si., S.Pd., M.Pd, 2013, PROGRAM LINEAR, Makasar: CV.21COM
- [2] Ahmad Kholil, ST., MT., 2012, ALAT BERAT, Bandung :PT. Remaja Rosdakarya.
- [3] Asshiddiqie, Hafidz, (2020). ‘Optimasi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Proyek Pembangunan Kolam Regulasi Nipa-Nipa Makasar’. Jurnal Online SKRIPSI Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang, vol.1 (2) , 71-77. <http://jos-mrk.polinema.ac.id/>
- [4] Adi, Lukman (2019) ‘Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Proyek Jalan Tol Pandaan – Malang STA 30+065 – STA 35+375’. SKRIPSI Manajemen Rekayasa Konstruksi Politeknik Negeri Malang.
- [5] Aviva, D., Hidayat, H., & Mangkona, M. (2019). ‘Optimasi Pemakaian Alat Berat untuk Pekerjaan Sanitary Landfill di TPA Samarinda’. Prosiding SENIATI, 302-311. <https://ejournal.itn.ac.id/>