

## OPTIMASI ALAT BERAT PADA PEKERJAAN TANAH PROYEK JALAN TOL SOLO-KERTOSONO RUAS NGAWI-KERTOSONO

Supiyono<sup>1,\*</sup>, Muhammad Fajar Subhan<sup>2</sup>, Bagas Adi Admaja<sup>3</sup>

Politeknik Negeri Malang<sup>1</sup>, Politeknik Negeri Malang<sup>2</sup>, Politeknik Negeri Malang<sup>3</sup>

Koresponden\*, Email: <sup>1</sup>[supiyono10@gmail.com](mailto:supiyono10@gmail.com), <sup>2</sup>[m\\_fajarsubkhan@yahoo.co.id](mailto:m_fajarsubkhan@yahoo.co.id), <sup>3</sup>[bagasadiadmaja121@gmail.com](mailto:bagasadiadmaja121@gmail.com)

### ABSTRAK

Banyaknya pekerjaan tanah yang harus dilakukan dengan menggunakan beberapa alat berat yang memiliki kapasitas dan harga sewa yang beragam. Tujuan optimasi ini adalah untuk mengetahui total biaya alat berat, menentukan alat berat termurah, mengetahui jumlah alat berat. Data sekunder yang dibutuhkan berupa gambar penampang, rencana dan kondisi kerja (RKS), harga sewa alat berat, volume pekerjaan tanah 1.376.866 m<sup>3</sup>, dan kurva S proyek. Metode Simplex digunakan untuk menghasilkan durasi optimal dan hasilnya diproses oleh program LINDO. Optimalisasi tersebut menghasilkan total biaya sebesar Rp6.454.612.962; alat berat termurah Excavator Komatsu PC200-7, Dumptruck Hino FM 260 JD, Bulldozer Komatsu D65P-12, Vibratory Roller Caterpillar CD54B, AMMANN ASC 100 Sheepfoot Roller.

**Kata kunci:** pekerjaan tanah, alat berat, optimalisasi.

### ABSTRACT

*A great number of earthworks have to be done using some heavy equipment which have various capacity and leasing prices. The purpose of this optimization is to find out the total cost of heavy equipment, determine the cheapest heavy equipment, find out the number of heavy equipment. The required secondary data were of cross-section drawings, work plan and condition (RKS), heavy equipment rental prices, 1,376,866 m<sup>3</sup> volume of soil work, and project S-curve. The Simplex method was used to generate the optimal duration and the results were processed by The LINDO program. The optimization results in a total cost of IDR.6.454.612.962; the cheapest heavy equipment of Komatsu PC200-7 Excavators, Hino FM 260 JD Dumptruck, Komatsu D65P-12 Bulldozer, Caterpillar CD54B Vibratory Roller, AMMANN ASC 100 Sheepfoot Roller.*

**Keywords:** earthworks, heavy equipment, optimization

### 1. PENDAHULUAN

Menurut situs Jasamarga, Menteri Badan Usaha Milik Negara (BUMN) Rini Soemarno mengatakan pembangunan jalan tol Solo-Kertosono perlu dioptimalkan untuk mempercepat pembangunan yang ditargetkan selesai dalam waktu 2,5 tahun. Ruas Ngawi-Kertosono memiliki panjang 87,02 kilometer dan membutuhkan biaya investasi sebesar Rp 5,14 triliun yang pengadaan tanah telah mencapai 68,7 persen dan diharapkan dapat selesai pada akhir tahun 2016. Tidak hanya itu proyek pembangunan tol ini diharapkan dapat diselesaikan tepat waktu dan tepat biaya.

Menurut Ridwansyah dan Putranto (2016), pembangunan jalan tol Solo – Kertosono memiliki pekerjaan tanah yang merupakan pekerjaan utama dalam pembuatan jalan tol tersebut dan membutuhkan banyak tenaga kerja dan alat berat pada masing – masing pekerjaannya.

Meningkatnya investasi infrastruktur berdampak pada kebutuhan dukungan kesiapan sumber daya konstruksi yang andal. Salah satu sumber daya konstruksi yang sangat penting dalam mendukung terlaksananya penyelenggaraan konstruksi adalah alat berat. Penggunaan alat berat dimaksudkan untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan dan menyelesaikan pekerjaan mengingat keterbatasan kemampuan tenaga manusia dalam melakukan pekerjaan – pekerjaan berat/sulit di lapangan. Adapun tujuan yang ingin dicapai yaitu menghitung biaya dan menentukan penggunaan alat berat termurah pada proyek.

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

1. Menghitung biaya alat berat pada pekerjaan galian.
2. Menghitung biaya alat berat pada pekerjaan timbunan.

3. Menghitung durasi penggunaan alat berat pada pekerjaan tanah.

Menurut Rostiyanti (2008), alat berat dalam proyek konstruksi bertujuan untuk mempermudah manusia untuk melakukan berbagai pekerjaan konstruksi, dalam hal ini kontraktor dapat memilih alat berat yang akan digunakan di suatu proyek sehingga hasil yang diperoleh dapat lebih efisien, cepat, dan tepat baik secara mutu dan biaya.

**Tabel 1** Faktor Kembang Susut Tanah

Tanah Asli	Kondisi Tanah	Faktor Perubahan Volume		
		Asli	Lepas	Padat
Pasir	Keadaan asli	1.00	1.11	0.95
	Keadaan lepas	0.90	1.00	0.80
	Keadaan padat	1.05	1.17	1.00
Lempung kepasiran	Keadaan asli	1.00	1.25	0.90
	Keadaan lepas	0.80	1.00	0.72
	Keadaan padat	1.11	1.59	1.00
Lempung	Keadaan asli	1.00	1.25	0.90
	Keadaan lepas	0.70	1.00	0.63
	Keadaan padat	1.11	1.59	1.00
Tanah berkerikil	Keadaan asli	1.00	1.18	1.08
	Keadaan lepas	0.85	1.00	0.91
	Keadaan padat	0.93	1.09	1.00
Kerikil	Keadaan asli	1.00	1.13	1.03
	Keadaan lepas	0.88	1.00	0.91
	Keadaan padat	0.97	1.10	1.00

Sumber: Rochmanhadi (1992)

Menurut Ismaniah (2009), optimasi adalah cara mendapatkan harga ekstrim baik maksimum atau minimum dari suatu fungsi tertentu dengan faktor-faktor pembatasnya. Optimasi bertujuan untuk mencari kondisi yang optimum, dalam arti paling menguntungkan. Jika berkaitan dengan masalah keuntungan, maka keadaan optimum adalah keadaan yang memberikan pengeluaran/ pengorbanan minimum (minimasi).

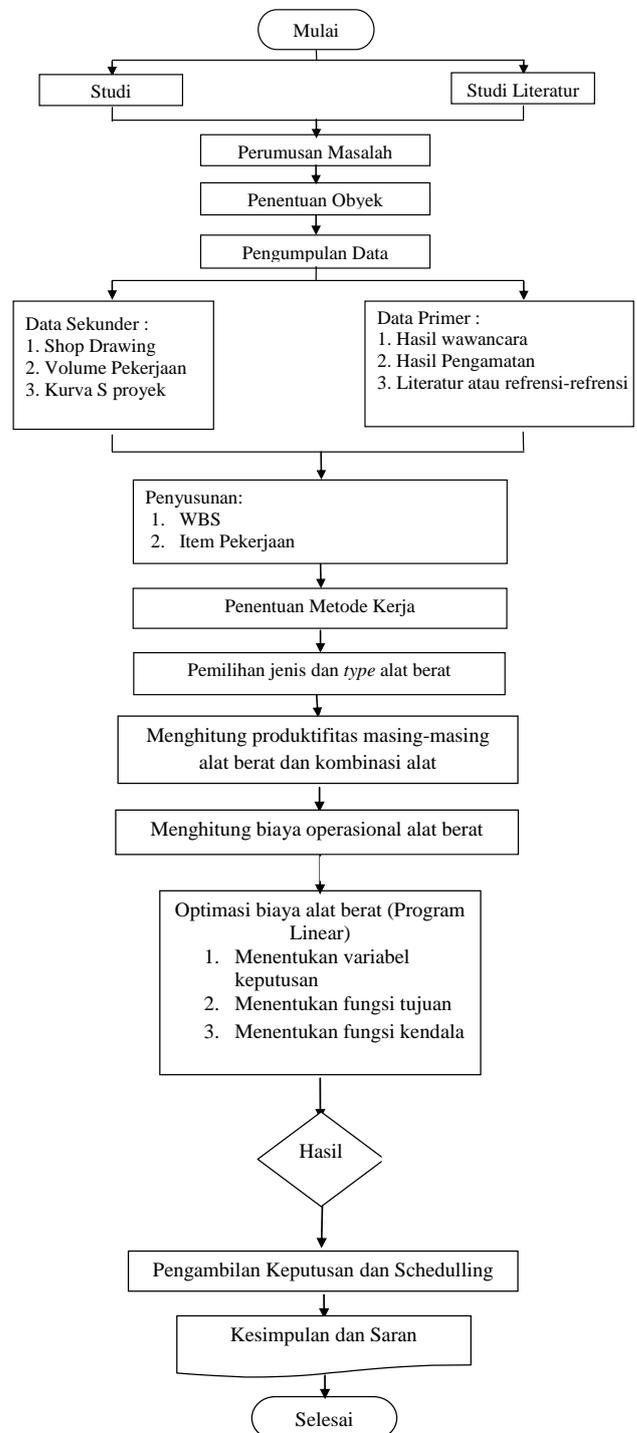
Menurut Siringorongo (2005), program Linier adalah metode matematik yang mengalokasi sumber daya yang terbatas untuk mencapai suatu tujuan seperti memaksimalkan keuntungan dan meminimumkan biaya. Penentuan solusi optimal dilakukan dengan memeriksa titik ekstrim satu per satu dengan cara perhitungan iteratif. Sehingga penentuan solusi optimal dengan simpleks dilakukan tahap demi tahap yang disebut dengan iterasi. Iterasi ke-i hanya tergantung dari iterasi sebelumnya.

**2. METODE**

Pembahasan ini dilakukan dengan mengambil data yang diperlukan, tepatnya di Pembangunan Jalan Tol Solo-Ngawi-Kertosono (ruas Ngawi-Kertosono) Paket 3 pada (STA 130+771 s.d STA 138+150) atau sepanjang 7,379 Km.

Data yang digunakan adalah data sekunder yang meliputi data gambar cross section, RKS, harga sewa alat, volume pekerjaan tanah sebesar 1.376.866 m<sup>3</sup>, dan kurva s proyek.

Metode yang digunakan untuk menghasilkan durasi yang optimal adalah dengan menggunakan metode simpleks dan diinput kedalam program bantu LINDO. Diagram alir penelitian dapat dilihat pada **Gambar 1**.



**Gambar 1.** Diagram Alir Penelitian

**3. HASIL DAN PEMBAHASAN**

Uraian perhitungan biaya alat berat sebagai berikut:

### Volume Pekerjaan

Berdasarkan faktor kembang susut tanah volume tanah berubah dalam keadaan tertentu. Perubahan volume tersebut diuraikan di bawah:

#### 1. Pekerjaan Subgrade (Tanah Lempung)

- Volume pekerjaan galian

Terjadi perubahan volume dari keadaan asli ke keadaan lepas pada tanah lempung dengan koefisien sebesar (1,25).

- Volume pekerjaan timbunan

Terjadi perubahan volume dari keadaan padat ke keadaan lepas pada tanah lempung dengan koefisien sebesar (1,59)

- Volume pekerjaan pemadatan

Terjadi perubahan volume dari keadaan padat ke keadaan lepas pada tanah lempung dengan koefisien sebesar (1,59)

#### 2. Pekerjaan Subbase (Tanah Berkerikil)

- Volume pekerjaan timbunan

Terjadi perubahan volume dari keadaan padat ke keadaan lepas pada tanah berkerikil dengan koefisien sebesar (1,09).

- Volume pekerjaan pemadatan

Terjadi perubahan volume dari keadaan padat ke keadaan lepas pada tanah berkerikil dengan koefisien sebesar (1,09).

Perubahan volume pekerjaan selanjutnya dihitung dengan cara mengalikan koefisien perubahan volume yang dapat dilihat pada **Tabel 2** dan **Tabel 3**.

**Tabel 2.** Volume Material Subgrade

Pekerjaan	Lokasi	Keadaan Asli	Keadaan Lepas
Galian	Zona 1	977.010 m <sup>3</sup>	1.221.262 m <sup>3</sup>
	Zona 2	369.085 m <sup>3</sup>	461.357 m <sup>3</sup>
Timbunan	Zona 1	8.231 m <sup>3</sup>	12.087 m <sup>3</sup>
	Zona 2	72.320 m <sup>3</sup>	114.988 m <sup>3</sup>
Pemadatan	Zona 1	8.231 m <sup>3</sup>	12.087 m <sup>3</sup>
	Zona 2	72.320 m <sup>3</sup>	114.988 m <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Perhitungan

**Tabel 3.** Volume Material Subbase

Pekerjaan	Lokasi	Keadaan Asli	Keadaan Lepas
Timbunan	Zona 1	15.321 m <sup>3</sup>	16.699 m <sup>3</sup>
	Zona 2	15.450 m <sup>3</sup>	16.840 m <sup>3</sup>
Pemadatan	Zona 1	15.321 m <sup>3</sup>	16.699 m <sup>3</sup>
	Zona 2	15.450 m <sup>3</sup>	16.840 m <sup>3</sup>

Sumber: Hasil Perhitungan

### Pemilihan Alat Berat

#### 1. Pekerjaan Galian

Mencakup penggalian tanah dan pengangkutan material baik ke lokasi pembangunan atau ke daerah buangan. Alat yang digunakan pada pekerjaan galian ini adalah excavator dan dump truck dengan penjelasan sebagai berikut:

- Excavator (Backhoe) digunakan untuk menggali tanah di lokasi.
- Dump Truck digunakan untuk mengangkut material yang tidak terpakai untuk dibuang ke lokasi yang direncanakan

atau mengangkut tanah yang akan dipakai untuk mengangkut material timbunan dari quarry menuju lokasi penimbunan.

Detail alat berat yang digunakan pada pekerjaan timbunan dapat dilihat pada **Tabel 4**.

**Tabel 4.** Data Alat Berat Pekerjaan Galian

Alat	Tipe	Kapasitas	Biaya Operasional (Rp.)
<i>Excavator</i>	PC 200-7	1 m <sup>3</sup>	454.160 /jam
<i>Dumptruck</i>	Hino FM 260 JD	20 m <sup>3</sup>	543.700 /jam

Produktifitas alat berat pada pekerjaan galian dapat dilihat pada **Tabel 5**.

**Tabel 5.** Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Galian

Alat	Lokasi	Produktifitas
<i>Excavator</i>		58.8 m <sup>3</sup> /jam
<i>Dumptruck</i>	Zona 1 Ke STA 120+000	15.5 m <sup>3</sup> /jam
	Zona 2 Ke STA 120+000	11.1 m <sup>3</sup> /jam
	Quary Wilangan Ke Zona 1	15.5 m <sup>3</sup> /jam
	Quary Wilangan Ke Zona 2	25.7 m <sup>3</sup> /jam
	Quary Wilangan Ke Zona 1	15.5 m <sup>3</sup> /jam
	Quary Wilangan Ke Zona 2	25.7 m <sup>3</sup> /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

#### 2. Pekerjaan Timbunan

Merupakan pemadatan badan jalan yang dilakukan setelah tanah dasar dihampar kemudian dilanjutkan dengan melaksanakan timbunan. Material timbunan didapat dari hasil galian di quarry, dengan ketentuan material tersebut tidak mengandung bebatuan yang besarnya melebihi ¾ tebal timbunan per layer atau lapis.

Tiap lapis dilaksanakan tes kapadatan, kemudian dilanjutkan dengan lapis di atasnya. Alat yang digunakan untuk pekerjaan ini adalah *Bulldozer*, *Vibro Roller*, *Sheepfoot Roller* dengan penjelasan sebagai berikut:

- *Bulldozer* digunakan untuk menebar dan meratakan tanah atau material.
- *Sheepfoot Roller* digunakan untuk menumbuk tanah yang telah diratakan.
- *Vibro Roller* digunakan untuk memadatkan tanah yang telah diratakan.

Detail alat berat yang digunakan pada pekerjaan timbunan dapat dilihat pada **Tabel 6**.

**Tabel 6.** Data Alat Berat Pekerjaan Timbunan

Alat	Tipe	Kapasitas	Biaya Operasional (Rp.)
<i>Bulldozer</i>	<i>Komatsu D65P-12</i>	3.69 m <sup>3</sup>	540.300/ jam
<i>Sheepfoot Roller</i>	<i>Amman ASC 100</i>	2.13 m <sup>3</sup>	392.040 /jam
<i>Vibro Roller</i>	<i>Caterpillar CD54B</i>	4.8 m <sup>3</sup>	347.740/ jam

Produktifitas alat berat pada pekerjaan timbunan dapat dilihat pada **Tabel 7**.

**Tabel 7.** Produktivitas Alat Berat Pekerjaan Timbunan

Alat	Item	Produktifitas
Bulldozer		126.07 m <sup>3</sup> /jam
Vibro Roller	Subgrade	198.32 m <sup>3</sup> /jam
	Subbase	118.99 m <sup>3</sup> /jam
Sheepfoot Roller	Subgrade	329.88 m <sup>3</sup> /jam
	Subbase	197.93 m <sup>3</sup> /jam

Sumber: Hasil Perhitungan

**Perhitungan Optimasi Total Biaya**

**1. Pemodelan Optimasi Pekerjaan Galian**

a. Variabel Keputusan

Didapatkan dari durasi masing - masing alat.

X1 = jumlah jam operasional pemakaian excavator

X2 = jumlah jam operasional pemakaian dumptruck

b. Fungsi Tujuan

Didapatkan dari biaya operasional alat berat.

$$\text{Min } Z = C1.X1 + C2.X2$$

Dimana:

C1 = biaya penggunaan excavator.

C2 = biaya penggunaan dumptruck.

c. Menentukan fungsi kendala

Didapatkan dari:

1. Kendala waktu sewa alat berat

$$X1 \geq \text{jumlah jam sewa alat berat}$$

$$X1 \geq 480 \text{ jam}$$

X2 ≥ jumlah jam sewa alat berat

$$X2 \geq 480 \text{ jam}$$

2. Kendala waktu penyelesaian pekerjaan

$$X1 + X2 \leq \text{jumlah jam penyelesaian pekerjaan}$$

3. Kendala volume

Kendala volume didapat dari produktifitas yang dicapai dikali dengan jumlah alat berat. Nilai pembatas pada volume didapat dari volume total pekerjaan tersebut.

$$\text{Produktifitas } \times \Sigma \text{ alat } \times X1 \geq \text{Vol (m}^3\text{)}$$

$$\text{Produktifitas } \times \Sigma \text{ alat } \times X2 \geq \text{Vol (m}^3\text{)}$$

4. Kendala ketidaknegatifan

$$X1, X2 \geq 0$$

**2. Pemodelan Optimasi Pekerjaan Timbunan**

a. Variabel Keputusan

Didapatkan dari durasi masing - masing alat.

X1 = jumlah jam operasional pemakaian Bulldozer.

X2 = jumlah jam operasional pemakaian Vibratory Roller.

X3 = jumlah jam operasional pemakaian Sheepfoot Roller.

b. Fungsi Tujuan

Didapatkan dari biaya operasional alat berat.

$$\text{Min } Z = C1.X1 + C2.X2 + C3.X3$$

Dimana:

C1 = biaya penggunaan Bulldozer.

C2 = biaya penggunaan Vibratory Roller.

C3 = biaya penggunaan Sheepfoot Roller.

c. Menentukan fungsi kendala

Didapatkan dari:

1. Kendala waktu sewa alat berat

$$X1 \geq \text{jumlah jam sewa alat berat}$$

$$X1 \geq 120 \text{ jam}$$

X2 ≥ jumlah jam sewa alat berat

$$X2 \geq 120 \text{ jam}$$

X3 ≥ jumlah jam sewa alat berat

$$X3 \geq 120 \text{ jam}$$

2. Kendala waktu penyelesaian pekerjaan

$$X1 + X2 + X3 \leq \text{jumlah jam penyelesaian pekerjaan}$$

3. Kendala volume

Kendala volume didapat dari produktifitas yang dicapai dikali dengan jumlah alat berat. Nilai pembatas pada volume didapat dari volume total pekerjaan tersebut.

$$\text{Produktifitas } \times \Sigma \text{ alat } \times X1 \geq \text{Vol (m}^3\text{)}$$

$$\text{Produktifitas } \times \Sigma \text{ alat } \times X2 \geq \text{Vol (m}^3\text{)}$$

$$\text{Produktifitas } \times \Sigma \text{ alat } \times X3 \geq \text{Vol (m}^3\text{)}$$

4. Kendala ketidaknegatifan

$$X1, X2 \geq 0$$

**3. Hasil Optimasi**

Perhitungan optimasi dengan aplikasi Lindo pada tiap alternatif menghasilkan biaya total pada masing – masing alat berat.

**Pek. Galian**

Hasil perhitungan optimasi *excavator* dapat dilihat pada **Tabel 8**.

**Tabel 8.** Output Lindo *Excavator*

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Harga/ jam
galian subgrade	Zona 1	1385	Rp. 454.160
	Zona 2	872	Rp. 454.160
timbunan subgrade	Zona 1	480	Rp. 454.160
	Zona 2	652	Rp. 454.160
timbunan subbase	Zona 1	480	Rp. 454.160
	Zona 2	480	Rp. 454.160

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan optimasi *dumptruck* dapat dilihat pada **Tabel 9**.

**Tabel 9.** Output Lindo *Dumptruck*

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Harga/ jam
galian subgrade	Zona 1	1432	Rp. 543.700
	Zona 2	945	Rp. 543.700
timbunan subgrade	Zona 1	779	Rp. 543.700
	Zona 2	898	Rp. 543.700
timbunan subbase	Zona 1	538	Rp. 543.700
	Zona 2	654	Rp. 543.700

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada pekerjaan galian menggunakan alat excavator PC 200-7 dan dumptruck Hino FM 260 JM 6x4 dengan biaya sebesar Rp. 5.068.761.642,00

**Pek. Timbunan**

Hasil perhitungan optimasi *bulldozer* dapat dilihat pada **Tabel 10.**

**Tabel 10.** Output Lindo *Bulldozer*

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Harga/ jam
timbunan subgrade	Zona 1	120	Rp. 540.300
	Zona 2	912	Rp. 540.300
timbunan subbase	Zona 1	132	Rp. 540.300
	Zona 2	133	Rp. 540.300

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan optimasi *vibratory roller* dapat dilihat pada **Tabel 11.**

**Tabel 11.** Output Lindo *Vibratory Roller*

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Harga/ jam
timbunan subgrade	Zona 1	120	Rp. 347.740
	Zona 2	580	Rp. 347.740
timbunan subbase	Zona 1	140	Rp. 347.740
	Zona 2	141	Rp. 347.740

Sumber: Hasil Perhitungan

Hasil perhitungan optimasi *Sheepfoot Roller* dapat dilihat pada **Tabel 12.**

**Tabel 12.** Output Lindo *Sheepfoot Roller.*

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Harga/ jam
timbunan subgrade	Zona 1	120	Rp. 392.040
	Zona 2	349	Rp. 392.040
timbunan subbase	Zona 1	120	Rp. 392.040
	Zona 2	120	Rp. 392.040

Sumber: Hasil Perhitungan

Pada pekerjaan timbunan menggunakan alat Bulldozer Komatsu D65P-12, Vibratory Roller Caterpillar CD54B, dan Sheepfoot Roller AMMANN ASC 100 dengan biaya sebesar Rp. 1.385.851.320,00.

**Penjadwalan Alat Berat**

Penjadwalan dilakukan dengan menggunakan aplikasi Micosoft Project dengan hasil dengan menentukan hubungan ketergantungan pada tiap – tiap pekerjaan.

**1. Penentuan Durasi Pekerjaan**

Penentuan Durasi pekerjaan dilakukan dengan mengambil durasi tertinggi dari alat berat yang memiliki pekerjaan sejenis.

**Pek. Galian**

Penentuan durasi pekerjaan galian dapat dilihat pada **Tabel 13.**

**Tabel 13.** Durasi Pekerjaan Galian

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Hari
galian subgrade	Zona 1	1432	179
	Zona 2	945	119
timbunan subgrade	Zona 1	779	98
	Zona 2	898	113
timbunan subbase	Zona 1	538	68
	Zona 2	654	82

Sumber: Hasil Perhitungan

**Pek. Timbunan**

Penentuan durasi pekerjaan timbunan dapat dilihat pada **Tabel 14.**

**Tabel 14.** Durasi Pekerjaan Timbunan

Material	Lokasi	Durasi (jam)	Hari
timbunan subgrade	Zona 1	120	15
	Zona 2	912	114
timbunan subbase	Zona 1	140	18
	Zona 2	141	18

Sumber: Hasil Perhitungan

**2. Pemodelan Penjadwalan**

Penjadwalan dimodelkan dengan menentukan hubungan ketergantungan yang selanjutnya di input dengan aplikasi Microsoft Project yang terdapat pada **Tabel 15.**

**Tabel 15.** Pemodelan Penjadwalan

Kegiatan	Durasi (Hari)	Kegiatan yang mengikuti	Hubungan ketergantungan
spk	0	a	ss
	0	g	ss
a	179	b	ss+30%
b	98	c	ff+10%
c	15	d	ss+30%
d	68	e	ff+5%
e	18	f	ss+50%
g	119	h	ss+10%
h	113	i	ff+10%
i	114	j	ss+20%
j	82	k	ff+5%
k	18	l	ss+50%
ho	0		

**Keterangan:**

- a = angkut galian subgrade
- b = angkut timbunan subgrade
- c = pemadatan subgrade
- d = angkut timbunan subbase
- e = pemadatan subbase
- g = angkut galian subgrade
- h = angkut timbunan subgrade
- i = pemadatan subgrade

j = angkut timbunan subbase

k = pemadatan subbase

#### 4. KESIMPULAN

1. Penggunaan alat berat pada pekerjaan galian memerlukan biaya Rp. 5.068.761.642,00.
2. Penggunaan alat berat pada pekerjaan galian memerlukan biaya Rp. 1.385.851.320,00.
3. Penggunaan alat berat pada proyek membutuhkan durasi selama 187 hari yang dimulai pada 02 Januari 2017 dan selesai pada 9 Juli 2017

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Ismaniah. (2009). Penyelesaian Masalah Riset Operasi dengan Menggunakan Program Solver. *Jurnal Kajian Ilmiah Lembaga Penelitian Ubhara Jaya Vol 10 No.1*.
- [2] Jasamarga. (2015). Jalan Tol Solo-Kertosono 2,5 tahun Selesai. [http://www.jasamarga.com/id\\_/berita/item/907](http://www.jasamarga.com/id_/berita/item/907). Diakses 19 November 2016.
- [3] Ridwansyah, Achmad Miraj & Putranto, Yonandika Pandu. (2016). Perencanaan Tebal Perkerasan Kaku (Rigid Pavement) pada Ruas Jalan Tol Karanganyar-Solo. *Jurnal Universitas Brawijaya*.
- [4] Rochmanhadi. (1992). *Alat – Alat Berat dan Penggunaannya*. YBPPU. Jakarta.
- [5] Rostiyanti, S. F. (2008). *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. Jakarta: Rineka Cipta.
- [6] Siringorongo, H. (2005). *Seri Teknik Operasi. Pemrograman Linear*. Graha Ilmu. Yogyakarta.
- [7] Undang-undang Republik Indonesia Nomor 38 Tahun 2004 tentang Jalan. 2004. Jakarta.