

PEMANFAATAN PROGRAM *SOLVER* UNTUK MENENTUKAN BIAYA MINIMUM PENGUNAAN *DUMP TRUCK* PADA PROYEK X

Agustinus Eppendie¹ dan Onnyxiforus Gondokusumo²

¹Program Studi Sarjana Teknik Sipil Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
agustinus.325190008@stu.untar.ac.id

²Program Studi Magister Teknik Sipil, Universitas Tarumanagara, Jl. Letjen S. Parman No.1 Jakarta
onnyxiforusg@ft.untar.ac.id

Masuk: 13-07-2023, revisi: 29-07-2023, diterima untuk diterbitkan: 02-08-2023

ABSTRACT

The development of high-rise building construction projects in Indonesia is increasing, especially in Jakarta. The construction of a multi-storey building requires a basement as a supporting facility in the construction of a multi-storey building. In the basement construction work, excavation work is required. Excavation work has a different time depending on the project area, excavation depth, access, and work methods. The excavated soil needs to be moved to another place so that it does not interfere with other work areas. The tool needed to move the excavated soil is a dump truck. The use of dump trucks in a project can be done by owning and renting, the cost of using dump trucks is one of the biggest costs in a construction project. The purpose of this research is to find the minimum cost of using dump trucks in project x using solver software. The calculation is done using 2 ways, namely the first, if it depends on the volume of soil transported, where the work is carried out for 16 weeks with a total cost of IDR 9,723,482,300.00. Second, if renting all available dump trucks from each company, where the work is carried out for 14 weeks with a total cost of IDR 10,187,907,100.00.

Keywords: Dump Truck; Linear Programming; Solver; Cost; Soil Excavation

ABSTRAK

Pembangunan proyek konstruksi gedung bertingkat di Indonesia semakin banyak terutama di Jakarta. Pembangunan gedung bertingkat membutuhkan *basement* sebagai sarana pendukung dalam pembangunan gedung bertingkat. Dalam pekerjaan pembangunan *basement*, diperlukan pekerjaan penggalian. Pekerjaan penggalian memiliki waktu yang berbeda tergantung dari luas proyek, kedalaman galian, akses, dan metode pekerjaannya. Tanah yang sudah digali perlu dipindahkan ke tempat lain supaya tidak mengganggu area pekerjaan lain. Alat yang dibutuhkan untuk memindahkan galian tanah adalah *dump truck*. Penggunaan *dump truck* pada suatu proyek bisa dilakukan dengan kepemilikan sendiri dan menyewa, biaya penggunaan *dump truck* menjadi salah satu biaya terbesar dalam suatu proyek konstruksi. Tujuan penelitian ini adalah untuk mencari berapa biaya minimum penggunaan *dump truck* pada proyek x dengan menggunakan *software solver*. Perhitungan dilakukan dengan menggunakan 2 cara yaitu yang pertama, jika bergantung pada volume tanah yang diangkut, dimana pekerjaan dilakukan selama 16 minggu dengan total biaya Rp9.723.482.300,00. Kedua jika menyewa seluruh ketersediaan *dump truck* dari tiap perusahaan, dimana pekerjaan dilakukan selama 14 minggu dengan total biaya Rp10.187.907.100,00.

Kata kunci: *Dump Truck; Linear Programming; Solver; Biaya; Galian Tanah*

1. PENDAHULUAN

Pembangunan proyek di Indonesia sedang berkembang sangat pesat terutama di wilayah Jakarta. Sebagian besar pembangunan proyek tersebut menggunakan alat berat. Peralatan yang digunakan pada proyek terdiri atas berbagai macam jenis, salah satu peralatan yang penting dalam proyek yaitu alat untuk mengangkut material. Peralatan yang digunakan yaitu *dump truck*, penggunaannya sebagai alat pengangkut material proyek tidak lepas dari fungsinya. Karena *dump truck* memiliki bak sehingga bisa mengangkut kebutuhan material pada suatu proyek dengan jumlah yang banyak sesuai dengan kapasitasnya.

Pada suatu proyek penggunaan *dump truck* bisa dipakai dengan menyewa atau dengan kepemilikan sendiri. Dari seluruh peralatan proyek yang digunakan, pengangkutan material merupakan salah satu komponen biaya terbesar dalam proyek. Biaya penggunaan *dump truck* yang tinggi, disebabkan karena jam operasional yang belum optimal. Penjadwalan pada proyek konstruksi menentukan jumlah material yang akan dipindahkan. Dalam membuat jadwal

pemindahan material, dibutuhkan penentuan alokasi waktu pada masing-masing peralatan untuk dapat memenuhi target produksi (Topal & Ramazan, 2012).

Optimasi biaya *dump truck* pada penelitian ini menggunakan metode *linear programming* untuk meminimumkan biaya penggunaan *dump truck*. *Linear programming* adalah metode atau teknis matematis yang digunakan untuk membantu manajer dalam pengambilan keputusan. Ciri khusus penggunaan metode matematis ini adalah berusaha untuk memaksimalkan dan meminimumkan suatu fungsi (Yamit, 1991). Optimasi ini dilakukan dengan cara mengoptimalkan jumlah pemakaian *dump truck* pada proyek. Pengoptimalan jumlah pemakaian *dump truck* data meminimumkan biaya bahan bakar (Bajany et al., 2017) dan meningkatkan utilitas truk (Upadhyay & Askari-Nasab, 2016). Namun dalam melakukan optimasi ada beberapa kendala yang harus diperhatikan diantaranya waktu pekerjaan yang terbatas, *dump truck* yang disewakan terbatas, dan volume yang harus diangkut.

Material yang diangkut bermacam-macam, seperti tanah bekas galian dan limbah proyek. Pada penelitian ini, material yang diangkut adalah tanah bekas galian *basement*. Volume tanah yang harus diangkut sangat banyak, sehingga perlu melakukan sewa *dump truck* untuk mengangkut tanah. Namun karena setiap perusahaan penyewaan *dump truck* memiliki keterbatasan dalam jumlah *dump truck*, jadi tidak bisa hanya bergantung pada 1 perusahaan penyewaan *dump truck* saja.

Perhitungan pada penelitian ini menggunakan metode *linear programming*. Dalam *linear programming* tentu membutuhkan *software* untuk melakukan perhitungan, *software* yang digunakan adalah *solver*. *Solver* merupakan suatu aplikasi bawaan dari *Microsoft Excel* yang berfungsi untuk memaksimumkan atau meminimumkan.

Linear programming

Permasalahan *linear programming* dapat didefinisikan sebagai permasalahan meminimumkan atau memaksimumkan sebuah fungsi linear dengan memenuhi beberapa kendala secara bersamaan (Dantzig & Thapa, 1997). *Linear programming* adalah suatu teknik matematika untuk mendapatkan kemungkinan terbaik atas permasalahan yang ada dengan sumber daya yang terbatas (Sriwidadi & Agustina, 2013).

Model dari *linear programming*

Model *linear programming* merupakan bentuk atau susunan dalam menyajikan masalah-masalah yang kemudian akan dipecahkan melalui teknik *linear programming* (Handokoe & Santoso, 2018). Model dari *linear programming* mengandung beberapa ciri yang umum. Model tersebut meliputi *decision variables*, *objective function*, dan *constraints*.

Decision variables merupakan suatu simbol matematik yang menunjukkan aktivitas bagi proyek. Contohnya suatu proyek ingin mempekerjakan a_1 tukang besi, a_2 tukang semen, a_3 tukang kayu, dan a_1 , a_2 , dan a_3 merupakan variabel yang tidak diketahui jumlahnya. Hasil dari a_1 , a_2 , dan a_3 merupakan hasil akhir yang diinginkan proyek.

Objective function merupakan suatu kalimat matematis yang merupakan tujuan dari proyek, dan mengandung *decision variables* (a_1 , a_2 , dan a_3). *Objective function* berfungsi untuk memaksimumkan atau meminimumkan suatu nilai contohnya memaksimumkan produksi suatu barang atau meminimumkan biaya pekerjaan.

Constraints merupakan hubungan linear dari *decision variables* dalam kalimat matematis yang menunjukkan keterbatasan yang dimiliki oleh proyek dalam operasinya. Keterbatasannya bisa dalam bentuk sumber daya dan standar operasional. Contohnya, terdapat biaya maksimum untuk mempekerjakan karyawan dan waktu kerjanya hanya bisa 8 jam per hari.

Perangkat lunak *solver*

Solver merupakan salah satu fasilitas tambahan/*optional (add-in)* yang disediakan oleh *Microsoft Excel* yang berfungsi untuk mencari nilai optimal suatu formula pada satu sel saja (yang biasa disebut sebagai sel target) pada *worksheet*/lembar kerja (Djamaris, 2018).

2. METODE PENELITIAN

Langkah-langkah penelitian

Langkah-langkah yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menganalisis permasalahan yang terdapat pada literatur
2. Melakukan pengumpulan data, data yang dikumpulkan adalah sebagai berikut:
 - a. Data teknis proyek seperti ketinggian elevasi, dan *shop drawing* proyek
 - b. Data ketersediaan *dump truck* dari masing-masing perusahaan penyewa
3. Melakukan pengecekan terhadap kesesuaian data yang diperoleh

4. Melakukan pengolahan data, data yang sudah diperoleh diolah melalui tahapan berikut ini:
 - a. Disusun berdasarkan fungsi-fungsi *linear programming*
 - b. Membuat tabel dengan bantuan *microsoft excel*
5. Memperhitungkan biaya total yang harus dikeluarkan untuk menyewa *dump truck*, biaya yang sudah dihitung kemudian disusun menjadi 1 tabel yang mencakup total biaya yang tersusun atas biaya-biaya berikut ini:
 - a. Biaya solar
 - b. Biaya sewa *dump truck*
 - c. Biaya operator
6. Menyusun ke dalam bentuk model matematis atau persamaan dengan memperhitungkan variabel-variabel berikut ini:
 - a. *Dump truck* yang tersedia
 - b. Volume tanah yang harus diangkut
 - c. Waktu kerja maksimum *dump truck*
 - d. Total biaya/minggu yang dikeluarkan
7. Hasil dari perhitungan biaya penggunaan *dump truck* akan dibandingkan dengan cara perhitungan yang lain

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu pekerjaan galian tanah pada proyek gedung bertingkat X di daerah Jakarta ini dikerjakan selama 1 tahun yang dilakukan secara bertahap. Penggunaan *dump truck* untuk penggalian tanah dilakukan dengan menyewa ke beberapa perusahaan penyewa. Pada proyek X sendiri waktu untuk melakukan pekerjaan galian tanah adalah ± 1 tahun, yang dilakukan secara bertahap. Kedalaman *basement* pada proyek ini adalah ± 19 meter dan memiliki luas $\pm 16.500 \text{ m}^2$, sehingga volume tanah yang harus digali adalah $\pm 320.000 \text{ m}^3$.

Rincian biaya dalam melakukan penyewaan *dump truck*

1. Biaya sewa *dump truck*

Biaya sewa adalah biaya untuk menyewa *dump truck* dengan mempertimbangkan kebutuhan *dump truck*, Tabel 1 merupakan rincian harga sewa *dump truck* per hari dari tiap perusahaan:

Tabel 1. Rincian Harga Sewa *Dump Truck*

Perusahaan	Kapasitas <i>dump truck</i>	Biaya sewa
Perusahaan A	20 m^3	Rp300.000
	24 m^3	Rp380.000
Perusahaan B	15 m^3	Rp200.000
	20 m^3	Rp320.000
Perusahaan C	24 m^3	Rp400.000
	9 m^3	Rp150.000
	20 m^3	Rp275.000
	24 m^3	Rp365.000

2. Biaya kebutuhan bahan bakar

Bahan bakar digunakan untuk kegiatan operasional *dump truck* seperti mengangkut tanah dari proyek ke tempat pembuangan. Bahan bakar yang digunakan adalah solar, perhitungannya dengan cara mengetahui konsumsi BBM per liter : Jarak yang ditempuh, kemudian setelah mengetahui konsumsi BBM per liter. Maka perhitungan biayanya adalah Harga BBM per liter dikali konsumsi BBM dikali jam kerja per hari.

Jarak yang ditempuh *dump truck* dari proyek ke pembuangan $\pm 40 \text{ km}$

Waktu yang dibutuhkan dari proyek ke pembuangan $\pm 1 \text{ jam}$

Kebutuhan solar rata-rata *truck* 9 m^3 dari proyek ke pembuangan 8 liter (1 liter : 5 km)

Kebutuhan solar rata-rata *truck* 15 m^3 dari proyek ke pembuangan 11,5 liter (1 liter : 3,5 km)

Kebutuhan solar rata-rata *truck* 20 m^3 dari proyek ke pembuangan 13,5 liter (1 liter : 3 km)

Kebutuhan solar rata-rata *truck* 24 m^3 dari proyek ke pembuangan 15 liter (1 liter : 2,7 km)

Harga solar pada saat itu Rp 5.150/liter

Biaya untuk kebutuhan solar *dump truck* 9 m^3

$5150 \times 8 \text{ liter/jam} \times 12 \text{ jam} = \text{Rp } 494.000$

Biaya untuk kebutuhan solar *dump truck* 15 m^3

$5150 \times 11,5 \text{ liter/jam} \times 12 \text{ jam} = \text{Rp } 710.700$

Biaya untuk kebutuhan solar *dump truck* 20 m^3

$5150 \times 13,5 \text{ liter/jam} \times 12 \text{ jam} = \text{Rp } 834.300$

Biaya untuk kebutuhan solar *dump truck* 24 m³
 $5150 \times 15 \text{ liter/jam} \times 12 \text{ jam} = \text{Rp } 927.000$

3. Biaya untuk operator

Biaya untuk operator per jam = Rp 15.000/jam
 Biaya untuk 1 mobil = Rp 15.000/jam \times 12 jam = Rp 180.000

4. Biaya total keseluruhan

Setelah mengetahui biaya-biaya lain, maka diperoleh biaya keseluruhan untuk penggunaan *dump truck* pada Tabel 2 berikut ini.

Tabel 2. Total Biaya Keseluruhan Untuk Menyewa *Dump Truck*

Perusahaan	Kapasitas <i>dump truck</i>	Biaya/hari	Biaya/minggu
Perusahaan A	20 m ³	Rp1.314.300	Rp9.200.100
	24 m ³	Rp1.487.000	Rp10.409.000
Perusahaan B	15 m ³	Rp1.090.700	Rp7.634.900
	20 m ³	Rp1.334.300	Rp9.340.100
	24 m ³	Rp1.507.000	Rp10.549.000
Perusahaan C	9 m ³	Rp824.400	Rp5.770.800
	20 m ³	Rp1.289.300	Rp9.025.100
	24 m ³	Rp1.472.000	Rp10.304.000

Contoh perhitungan:

Perusahaan A kapasitas 20 m³

Biaya sewa + Biaya kebutuhan solar + Biaya operator

Rp 300.000 + Rp 834.300 + Rp 180.000 = Rp1.314.300/hari

$(\text{Rp } 300.000 + \text{Rp } 834.300 + \text{Rp } 180.000) \times 7 = \text{Rp}9.200.100/\text{minggu}$

Rincian dalam pemakaian *dump truck*

Pemakaian *dump truck* untuk memindahkan tanah bekas galian pada proyek ini dilakukan dengan menyewa ke beberapa perusahaan penyewaan *dump truck*. Namun dalam melakukan penyewaan terdapat kendala seperti perusahaan penyewa tidak dapat memenuhi kebutuhan *dump truck* yang dibutuhkan. Setiap harinya 1 *dump truck* bisa melakukan 5 kali ritase dalam melakukan pengangkutan tanah sisa galian ke tempat pembuangan. Jadi volume tanah yang harus diangkut selama 1 minggu adalah $\pm 7000 \text{ m}^3$, namun karena 1 harinya *dump truck* bisa melakukan 5 kali ritase. Jadi volume tanah yang diangkut untuk 1 kali ritase adalah $\pm 1375 \text{ m}^3$ tiap minggunya dan waktu kerja maksimum memuat tanah selama 1 minggu adalah 5040 menit, namun karena 1 harinya *dump truck* bisa melakukan 5 kali ritase. Jadi waktu kerja maksimum memuat tanah adalah 1008 menit tiap minggunya. Berikut ini merupakan rincian dari minggu ke-1 sampai minggu ke-16 jumlah ketersediaan *dump truck* dari perusahaan-perusahaan penyewa, volume tanah yang harus diangkut, dan waktu kerja maksimum. Tabel 3 berikut ini merupakan rincian dalam melakukan penyewaan *dump truck*.

Tabel 3. Rincian Data dalam Melakukan Penyewaan *Dump Truck*

Minggu ke-	Perusahaan									Volume tanah yang harus diangkut (m ³)	Waktu kerja maksimum (menit)
	A			B			C				
	20 m ³	24 m ³	15 m ³	20 m ³	24 m ³	9 m ³	20 m ³	24 m ³			
1	0	20	0	0	25	0	8	15	1375	1008	
2	0	20	0	10	16	0	5	26	1375	1008	
3	0	27	0	0	19	0	0	25	1375	1008	
4	15	0	15	8	20	0	6	20	1500	1008	
5	14	0	0	10	25	0	8	13	1375	1008	
6	10	0	0	10	24	0	5	25	1200	1008	
7	0	0	15	10	27	0	7	25	1500	1008	
8	0	0	15	8	26	0	0	24	1300	1008	
9	0	26	0	12	25	0	8	0	1300	1008	
10	0	25	0	15	0	0	0	25	1300	1008	

Tabel 3 (Lanjutan). Rincian Data dalam Melakukan Penyewaan *Dump Truck*

Minggu ke-	Perusahaan									Volume tanah yang harus diangkut (m³)	Waktu kerja maksimum (menit)
	A			B			C				
	20 m³	24 m³	15 m³	20 m³	24 m³	9 m³	20 m³	24 m³			
11	15	23	0	0	0	0	9	20	1300	1008	
12	15	24	0	0	0	0	12	25	1500	1008	
13	0	0	0	15	19	0	8	25	1400	1008	
14	0	24	12	15	25	0	0	0	1500	1008	
15	0	20	15	13	0	0	5	25	1375	1008	
16	0	25	15	0	20	0	10	0	1375	1008	

Pemodelan *linear programming*

Pemodelan penyewaan *dump truck* dalam bentuk persamaan *linear programming* adalah sebagai berikut:

1. *Decision Variable*

Decision Variable pada penelitian ini adalah untuk mengetahui jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari tiap perusahaan sebagai berikut:

- PA_{1-16C} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan A kapasitas 20 m³ untuk minggu 1-16
- PA_{1-16D} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan A kapasitas 24 m³ untuk minggu 1-16
- PB_{1-16B} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan B kapasitas 15 m³ untuk minggu 1-16
- PB_{1-16C} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan B kapasitas 20 m³ untuk minggu 1-16
- PB_{1-16D} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan B kapasitas 24 m³ untuk minggu 1-16
- PC_{1-16A} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan C kapasitas 9 m³ untuk minggu 1-16
- PC_{1-16C} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan C kapasitas 20 m³ untuk minggu 1-16
- PC_{1-16D} = Jumlah *dump truck* yang dibutuhkan dari perusahaan C kapasitas 24 m³ untuk minggu 1-16

2. *Objective Function*

Objective function atau fungsi tujuan pada penelitian ini bertujuan untuk mengetahui biaya minimum penggunaan *dump truck* dengan memperhitungkan jumlah volume tanah yang akan diangkut, kapasitas *dump truck* yang tersedia, dan waktu beroperasi *dump truck* untuk memuat tanah sebagai batasannya.

Setelah mengetahui berapa biaya total penyewaan *dump truck*, maka model fungsi tujuannya seperti Tabel 4 berikut:

Tabel 4. Model Matematis Fungsi Tujuan

Perusahaan	Kapasitas <i>Dump Truck</i>	Biaya/minggu
Perusahaan A	20 m ³	Rp9.200.100
	24 m ³	Rp10.409.000
Perusahaan B	15 m ³	Rp7.634.900
	20 m ³	Rp9.340.100
	24 m ³	Rp10.549.000
Perusahaan C	9 m ³	Rp5.770.800
	20 m ³	Rp9.025.100
	24 m ³	Rp10.304.000

$$\text{MIN } Z = (9200,1 \times PA_{1C}) + (10409 \times PA_{1D}) + (7634,9 \times PB_{1B}) + (9340,1 \times PB_{1C}) + (10549 \times PB_{1D}) + (5770,8 \times PC_{1A}) + (9025,1 \times PC_{1C}) + (10304 \times PC_{1D}) + (9200,1 \times PA_{2C}) + (10409 \times PA_{2D}) + (7634,9 \times PB_{2B}) + (9340,1 \times PB_{2C}) + (10549 \times PB_{2D}) + (5770,8 \times PC_{2A}) + (9025,1 \times PC_{2C}) + (10304 \times PC_{2D}) + \dots + (9200,1 \times PA_{16C}) + (10409 \times PA_{16D}) + (7634,9 \times PB_{16B}) + (9340,1 \times PB_{16C}) + (10549 \times PB_{16D}) + (5770,8 \times PC_{16A}) + (9025,1 \times PC_{16C}) + (10304 \times PC_{16D})$$

3. *Constraints*

Dalam memperhitungkan fungsi tujuan terdapat beberapa batasan yang harus dilakukan dalam optimasi biaya penggunaan *dump truck*. Semua batasan dihitung untuk 1 kali ritase, yaitu sebagai berikut:

- Ketersediaan *dump truck*

Ketersediaan jumlah *dump truck* pada tiap perusahaan penyewa tentunya terbatas, oleh karena itu jumlah pemakaian *dump truck* bergantung pada volume tanah harus diangkut pada tiap minggu. Tabel 5 dan Tabel 6 berikut ini merupakan jumlah *dump truck* yang tersedia:

Tabel 5. Ketersediaan *Dump Truck* Minggu ke-1, ke-2, dan ke-...

Minggu ke-1		Minggu ke-2		Minggu ke-...
PA1C	= 0	PA2C	= 0	...
PA1D	≤ 20	PA2D	≤ 20	...
PB1B	= 0	PB2B	= 0	...
PB1C	= 0	PB2C	≤ 10	...
PB1D	≤ 25	PB2D	≤ 16	...
PC1A	= 0	PC2A	= 0	...
PC1C	≤ 8	PC2C	≤ 5	...
PC1D	≤ 15	PC2D	≤ 26	...

Tabel 6. Ketersediaan *Dump Truck* Minggu ke-15 dan ke-16

Minggu ke-15		Minggu ke-16	
PA15C	= 0	PA16C	= 0
PA15D	≤ 20	PA16D	≤ 25
PB15B	≤ 15	PB16B	≤ 15
PB15C	≤ 13	PB16C	= 0
PB15D	= 0	PB16D	≤ 20
PC15A	= 0	PC16A	= 0
PC15C	≤ 5	PC16C	≤ 10
PC15D	≤ 25	PC16D	= 0

b. Volume tanah yang harus diangkut

Volume tanah yang diangkut tiap minggunya tidak selalu sama, yang dipengaruhi oleh ketersediaan *dump truck* dari tiap perusahaan penyewa. Jadi kapasitas *dump truck* yang tersedia harus lebih besar dari volume tanah yang harus diangkut, pada Tabel 7 berikut ini merupakan model persamaannya.

Tabel 7. Persamaan *Linear Programming* untuk Volume Tanah yang Harus Diangkut

Minggu ke-	Persamaan LP	Volume tanah yang harus diangkut (m ³)
1	20 PA1C + 24 PA1D + 15 PB1B + 20 PB1C + 24 PB1D + 9 PB1A + 20 PB1C + 24 PB1D	≥ 1375
2	20 PA2C + 24 PA2D + 15 PB2B + 20 PB2C + 24 PB2D + 9 PB2A + 20 PB2C + 24 PB2D	≥ 1375
...	...	≥ ...
15	20 PA15C + 24 PA15D + 15 PB15B + 20 PB15C + 24 PB15D + 9 PB15A + 20 PB15C + 24 PB15D	≥ 1375
16	20 PA16C + 24 PA16D + 15 PB16B + 20 PB16C + 24 PB16D + 9 PB16A + 20 PB16C + 24 PB16D	≥ 1375

c. Waktu beroperasi

Waktu yang digunakan adalah waktu untuk memuat tanah ke *dump truck*. Proses penggalian dilakukan selama ±12 jam per hari sehingga waktu maksimum pekerjaan per minggu adalah 5040 menit. Pekerjaan memuat tanah ke *dump truck* dilakukan dengan menggunakan *excavator*, berikut merupakan rinciannya pada Tabel 8:

Tabel 8. Waktu Untuk Memuat Tanah ke *Dump Truck*

Kapasitas <i>Dump Truck</i> (m ³)	Waktu Beroperasi (menit)
9	5
15	7
20	10
24	12

Setelah mengetahui waktu kerja maksimum per ritase dan juga berapa menit waktu yang dibutuhkan untuk memuat tanah ke tiap-tiap *dump truck*, pada Tabel 9 berikut ini merupakan model persamaannya

Tabel 9. Persamaan *Linear Programming* untuk Waktu Kerja Maksimum

Minggu ke-	Persamaan LP	Waktu kerja maksimum (menit)
1	$10 \text{ PA1C} + 12 \text{ PA1D} + 7 \text{ PB1B} + 10 \text{ PB1C} + 12 \text{ PB1D} + 5 \text{ PB1A} + 10 \text{ PB1C} + 12 \text{ PB1D}$	≤ 1008
2	$10 \text{ PA2C} + 12 \text{ PA2D} + 7 \text{ PB2B} + 10 \text{ PB2C} + 12 \text{ PB2D} + 5 \text{ PB2A} + 10 \text{ PB2C} + 12 \text{ PB2D}$	≤ 1008
...	...	$\leq \dots$
15	$10 \text{ PA15C} + 12 \text{ PA15D} + 7 \text{ PB15B} + 10 \text{ PB15C} + 12 \text{ PB15D} + 5 \text{ PB15A} + 10 \text{ PB15C} + 12 \text{ PB15D}$	≤ 1008
16	$10 \text{ PA16C} + 12 \text{ PA16D} + 7 \text{ PB16B} + 10 \text{ PB16C} + 12 \text{ PB16D} + 5 \text{ PB16A} + 10 \text{ PB16C} + 12 \text{ PB16D}$	≤ 1008

Langkah-langkah dalam melakukan perhitungan *dump truck* menggunakan *solver*

1. Untuk menghitung kapasitas *dump truck* masukkan rumus SUMPRODUCT antara besar muatan dengan berapa *dump truck* yang ingin dicari seperti Gambar 1

`=SUMPRODUCT(E12:E19;F12:F19)`

	E	F
10		
11	Besar muatan (m ³)	Dump truck LP
12	20	0
13	24	0
14	15	0
15	20	0
16	24	0
17	9	0
18	20	0
19	24	0

Gambar 1. Rumus Untuk Menghitung Kapasitas *Dump Truck*

2. Untuk menghitung waktu kerja *dump truck* masukkan rumus SUMPRODUCT antara berapa *dump truck* yang ingin dicari dengan waktu beroperasi seperti Gambar 2.

`=SUMPRODUCT(L12:L19;F12:F19)`

	F	G	H	I	J	K	L
10							
11							
12	Dump truck LP		Dump truck yg tersedia	Dump truck LP		Dump truck yg tersedia	Waktu Beroperasi (menit)
13	0		0	0		0	10
14	0		20	0		20	12
15	0		0	0		0	7
16	0		0	0		10	10
17	0		25	0		16	12
18	0		0	0		0	5
19	0		8	0		5	10
20	0		15	0		26	12

Gambar 2. Rumus Untuk Menghitung Waktu Kerja *Dump Truck*

- Untuk menghitung biaya *dump truck* per minggu masukkan rumus SUMPRODUCT antara berapa *dump truck* yang ingin dicari dengan biaya/minggu seperti Gambar 3.

=SUMPRODUCT(F12:F19;M12:M19)

	F	G	H	I	J	K	L	M
10	Minggu 1			minggu 2				
11	Dump truck LP	=	Dump truck yg tersedia	Dump truck LP	=	Dump truck yg tersedia		Biaya/minggu
12	0	=	0	0	=	0		Rp9.200.100,00
13	0	≤	20	0	≤	20		Rp10.409.000,00
14	0	=	0	0	≤	0		Rp7.634.900,00
15	0	=	0	0	≤	10		Rp9.340.100,00
16	0	≤	25	0	≤	16		Rp10.549.000,00
17	0	=	0	0	≤	0		Rp5.770.800,00
18	0	≤	8	0	≤	5		Rp9.025.100,00
19	0	≤	15	0	≤	26		Rp10.304.000,00

Gambar 3. Rumus Untuk Menghitung Biaya *Dump Truck* per Minggu

- Untuk menghitung seluruh total biaya *dump truck* masukkan rumus SUM dari minggu ke-1 sampai minggu ke-16 seperti Gambar 4.

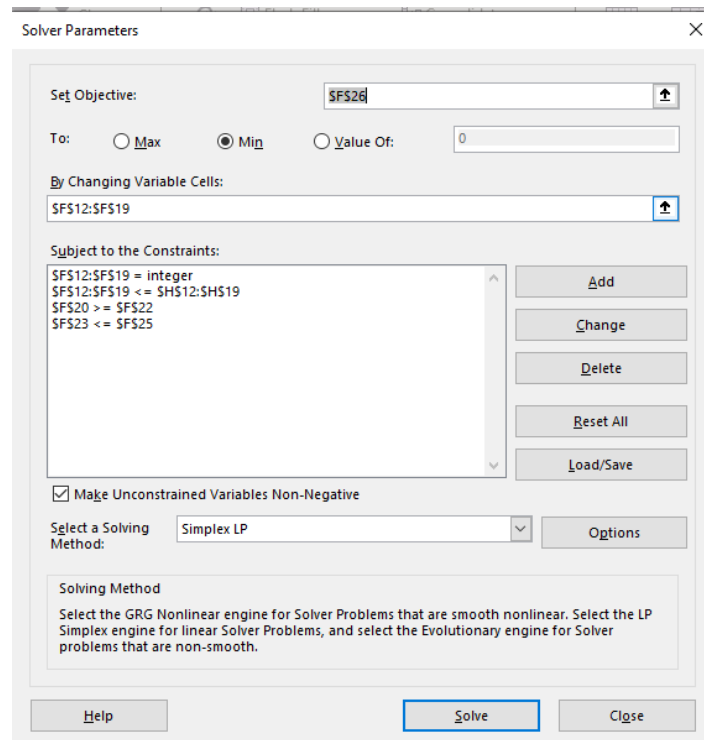
=SUM(F27:K27)

	F	G	H	I	J	K
27	Rp0,00			Rp0,00		

Gambar 4. Rumus Untuk Menghitung Seluruh Total Biaya *Dump Truck*

Analisis penyelesaian menggunakan *solver*

Setelah memasukkan rumus yang diperlukan, selanjutnya adalah menyelesaikannya menggunakan *solver*. Gambar 5 di bawah ini terdapat penyelesaian menggunakan *solver*.



Gambar 5. *Solver Parameters* Untuk Menyelesaikan

Langkah-langkah dalam melakukan penyelesaian menggunakan *solver* adalah sebagai berikut:

1. Pertama, pada bagian *Set Objective*, masukkan variabel yang ingin dicari yaitu total biaya *dump truck*/minggu
2. Kedua, pada bagian *To*: pilih min, karena untuk mencari biaya minimum
3. Ketiga, pada bagian *By Changing Variable Cells*, masukkan berapa banyak *dump truck* tiap minggunya yang ingin dicari
4. Keempat, pada bagian *Subject to the constraints*, masukkan batasan-batasan yang ada seperti:
 - Banyak *dump truck* yang ingin dicari harus \leq *dump truck* yang tersedia
 - Banyak *dump truck* yang ingin dicari harus *integer* (bilangan bulat)
 - Kapasitas *dump truck* \geq volume tanah yang harus diangkut
 - Waktu kerja untuk memuat tanah harus \leq waktu kerja maksimum untuk memuat tanah
5. Kelima, tekan tombol *Solve*

Hasil analisis penyelesaian menggunakan *solver*

Tabel 10 berikut ini merupakan hasil analisis *dump truck* yang dibutuhkan untuk mengangkut tanah menggunakan program *solver* jika bergantung pada volume tanah yang harus diangkut untuk minggu ke-1 sampai minggu ke-16.

Tabel 10. Hasil Analisis jika Bergantung pada Volume Tanah

Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5
PA1C = 0	PA2C = 0	PA3C = 0	PA4C \leq 15	PA5C \leq 14
PA1D \leq 20	PA2D \leq 20	PA3D \leq 27	PA4D = 0	PA5D = 0
PB1B = 0	PB2B = 0	PB3B = 0	PB4B \leq 15	PB5B = 0
PB1C = 0	PB2C \leq 10	PB3C = 0	PB4C \leq 8	PB5C \leq 10
PB1D \leq 25	PB2D \leq 16	PB3D \leq 19	PB4D \leq 20	PB5D \leq 25
PC1A = 0	PC2A = 0	PC3A = 0	PC4A = 0	PC5A = 0
PC1C \leq 8	PC2C \leq 5	PC3C = 0	PC4C \leq 6	PC5C \leq 8
PC1D \leq 15	PC2D \leq 26	PC3D \leq 25	PC4D \leq 20	PC5D \leq 13

Tabel 10 (Lanjutan) Hasil Analisis jika Bergantung pada Volume Tanah

Minggu ke-6	Minggu ke-7	Minggu ke-8	Minggu ke-9	Minggu ke-10
PA6C \leq 10	PA7C = 0	PA8C = 0	PA9C = 0	PA10C = 0
PA6D = 0	PA7D = 0	PA8D = 0	PA9D \leq 26	PA10D \leq 25
PB6B = 0	PB7B \leq 15	PB8B \leq 15	PB9B = 0	PB10B = 0
PB6C \leq 10	PB7C \leq 10	PB8C \leq 8	PB9C \leq 12	PB10C \leq 15
PB6D \leq 24	PB7D = 27	PB8D \leq 26	PB9D \leq 25	PB10D \leq 0
PC6A = 0	PC7A \leq 0	PC8A \leq 0	PC9A = 0	PC10A = 0
PC6C \leq 5	PC7C \leq 7	PC8C = 0	PC9C \leq 8	PC10C = 0
PC6D \leq 25	PC7D \leq 25	PC8D \leq 24	PC9D \leq 0	PC10D \leq 25

Tabel 10 (Lanjutan). Hasil Analisis jika Bergantung pada Volume Tanah

Minggu ke-11	Minggu ke-12	Minggu ke-13	Minggu ke-14	Minggu ke-15
PA11C \leq 15	PA12C \leq 15	PA13C = 0	PA14C = 0	PA15C = 0
PA11D \leq 23	PA12D \leq 24	PA13D = 0	PA14D \leq 24	PA15D \leq 20
PB11B = 0	PB12B = 0	PB13B = 0	PB14B \leq 12	PB15B \leq 15
PB11C = 0	PB12C = 0	PB13C \leq 15	PB14C \leq 15	PB15C \leq 13
PB11D = 0	PB12D = 0	PB13D \leq 19	PB14D \leq 25	PB15D = 0
PC11A = 0	PC12A = 0	PC13A = 0	PC14A = 0	PC15A = 0
PC11C \leq 9	PC12C \leq 12	PC13C \leq 8	PC14C = 0	PC15C \leq 5
PC11D \leq 20	PC12D \leq 25	PC13D \leq 25	PC14D = 0	PC15D \leq 25

Tabel 10 (Lanjutan). Hasil Analisis jika Bergantung pada Volume Tanah

Minggu ke-16	
PA16C	= 0
PA16D	≤ 25
PB16B	≤ 15
PB16C	= 0
PB16D	≤ 20
PC16A	= 0
PC16C	≤ 10
PC16D	= 0

Jadi total *dump truck* dari minggu ke-1 sampai minggu ke-16 sebanyak 957 *dump truck*

Tabel 11 berikut ini merupakan hasil analisis *dump truck* yang dibutuhkan untuk mengangkut tanah menggunakan program *solver* jika menyewa seluruh ketersediaan *dump truck* dari tiap perusahaan penyewa.

Tabel 11. Hasil Analisis jika Menyewa Seluruh Ketersediaan *Dump Truck*

Minggu ke-1	Minggu ke-2	Minggu ke-3	Minggu ke-4	Minggu ke-5
PA1C = 0	PA2C = 0	PA3C = 0	PA4C ≤ 15	PA5C ≤ 14
PA1D ≤ 20	PA2D ≤ 20	PA3D ≤ 27	PA4D = 0	PA5D = 0
PB1B = 0	PB2B = 0	PB3B = 0	PB4B ≤ 15	PB5B = 0
PB1C = 0	PB2C ≤ 10	PB3C = 0	PB4C ≤ 8	PB5C ≤ 10
PB1D ≤ 25	PB2D ≤ 16	PB3D ≤ 19	PB4D ≤ 20	PB5D ≤ 25
PC1A = 0	PC2A = 0	PC3A = 0	PC4A = 0	PC5A = 0
PC1C ≤ 8	PC2C ≤ 5	PC3C = 0	PC4C ≤ 6	PC5C ≤ 8
PC1D ≤ 15	PC2D ≤ 26	PC3D ≤ 25	PC4D ≤ 20	PC5D ≤ 13

Tabel 11 (Lanjutan). Hasil Analisis jika Menyewa Seluruh Ketersediaan *Dump Truck*

Minggu ke-6	Minggu ke-7	Minggu ke-8	Minggu ke-9	Minggu ke-10
PA6C ≤ 10	PA7C = 0	PA8C = 0	PA9C = 0	PA10C = 0
PA6D = 0	PA7D = 0	PA8D = 0	PA9D ≤ 26	PA10D ≤ 25
PB6B = 0	PB7B ≤ 15	PB8B ≤ 15	PB9B = 0	PB10B = 0
PB6C ≤ 10	PB7C ≤ 10	PB8C ≤ 8	PB9C ≤ 12	PB10C ≤ 15
PB6D ≤ 24	PB7D = 27	PB8D ≤ 26	PB9D ≤ 25	PB10D ≤ 0
PC6A = 0	PC7A ≤ 0	PC8A ≤ 0	PC9A = 0	PC10A = 0
PC6C ≤ 5	PC7C ≤ 7	PC8C = 0	PC9C ≤ 8	PC10C = 0
PC6D ≤ 25	PC7D ≤ 25	PC8D ≤ 24	PC9D ≤ 0	PC10D ≤ 25

Tabel 11 (Lanjutan). Hasil Analisis jika Menyewa Seluruh Ketersediaan *Dump Truck*

Minggu ke-11	Minggu ke-12	Minggu ke-13	Minggu ke-14
PA11C ≤ 15	PA12C ≤ 15	PA13C = 0	PA14C = 0
PA11D ≤ 23	PA12D ≤ 24	PA13D = 0	PA14D ≤ 24
PB11B = 0	PB12B = 0	PB13B = 0	PB14B ≤ 12
PB11C = 0	PB12C = 0	PB13C ≤ 15	PB14C ≤ 15
PB11D = 0	PB12D = 0	PB13D ≤ 19	PB14D ≤ 25
PC11A = 0	PC12A = 0	PC13A = 0	PC14A = 0
PC11C ≤ 9	PC12C ≤ 12	PC13C ≤ 8	PC14C = 0
PC11D ≤ 20	PC12D ≤ 25	PC13D ≤ 25	PC14D = 0

Jadi total *dump truck* dari minggu ke-1 sampai minggu ke-14 sebanyak 1023 *dump truck*

Tabel 12 berikut ini merupakan volume total tanah yang diangkut setiap minggu. Hasil analisis jika bergantung pada ketersediaan *dump truck*, waktu pekerjaan galian tanah hanya sampai 14 minggu. Hal ini karena volume total tanah yang diangkut sudah lebih banyak, jika dibandingkan dengan hasil analisis bergantung pada volume tanah yang diangkut yang dimana waktu pekerjaan galian tanah mencapai 16 minggu.

Tabel 12. Volume Tanah Total yang Diangkut setiap Minggu

Minggu ke-	Bergantung volume tanah yang diangkut (m ³)	Bergantung pada ketersediaan <i>dump truck</i> (m ³)
Minggu ke-1	1388	1600
Minggu ke-2	1388	1788
Minggu ke-3	1392	1704
Minggu ke-4	1500	1765
Minggu ke-5	1388	1552
Minggu ke-6	1212	1676
Minggu ke-7	1508	1813
Minggu ke-8	1300	1585
Minggu ke-9	1300	1624
Minggu ke-10	1300	1500
Minggu ke-11	1312	1512
Minggu ke-12	1516	1716
Minggu ke-13	1416	1516
Minggu ke-14	1506	1656
Minggu ke-15	1375	-
Minggu ke-16	1385	-
Total	22186	23007

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang dilakukan, maka dapat ditarik kesimpulan sebagai berikut:

1. Waktu untuk penggalian tanah
Berdasarkan hasil penelitian menggunakan *software solver* waktu untuk pekerjaan galian tanah terdapat perbedaan antara jika bergantung pada volume tanah yang harus diangkut waktu pengerjaannya adalah 16 minggu. Sedangkan jika bergantung pada ketersediaan *dump truck* waktu pengerjaannya adalah 14 minggu. Hal ini dikarenakan terdapat perbedaan jumlah *dump truck* pada masing-masing sudut pandang.
2. Biaya total keseluruhan
Berdasarkan hasil penelitian menggunakan *software solver* biaya total keseluruhan untuk menyewa *dump truck* terdapat perbedaan antara jika bergantung pada volume tanah yang harus diangkut lebih murah yaitu sebesar Rp9.723.482.300,00 dibandingkan dengan jika bergantung pada ketersediaan *dump truck* yaitu sebesar Rp10.187.907.100,00
3. Total *dump truck* yang digunakan
Berdasarkan hasil penelitian menggunakan *software solver* total *dump truck* yang digunakan tiap minggu berbeda antara jika bergantung pada volume tanah yang harus diangkut, *dump truck* yang dibutuhkan selama 16 minggu adalah 957 *dump truck*. Sedangkan jika bergantung pada ketersediaan *dump truck*, *dump truck* yang dibutuhkan selama 14 minggu adalah 1023 *dump truck*.
4. Berdasarkan kesimpulan di atas, maka kesimpulan akhir penelitian ini adalah penggunaan *dump truck* untuk mengangkut tanah pada suatu proyek konstruksi dipengaruhi oleh beberapa variabel seperti volume tanah yang harus diangkut, ketersediaan *dump truck*, dan waktu kerja untuk memuat tanah. Kemudian hasil menggunakan program *solver* jika bergantung pada volume tanah yang harus diangkut lebih murah, dibandingkan jika bergantung pada ketersediaan *dump truck*. Namun, dengan harga yang lebih murah harus diperhatikan juga biaya-biaya lain selama 2 minggu pekerjaan galian tanah.

DAFTAR PUSTAKA

- Bajany, D. M., Xia, X., & Zhang, L. (2017). *A MILP Model for Truck-shovel Scheduling to Minimize Fuel Consumption*. *Energy Procedia*, 105, 2739–2745. <https://doi.org/10.1016/j.egypro.2017.03.925>
- Dantzig, G. B., & Thapa, M. N. (1997). *Linear Programming I*. Springer.
- Djamaris, A. R. (2018). *Pemanfaatan Excel-Solver Untuk Pengambilan Keputusan*. Jakarta: Program Studi Manajemen Fakultas Ekonomi Dan Ilmu Sosial Universitas Bakrie.
- Handokoe, S., & Santoso, I. B. (2018). Optimasi Penyewaan Dump Truck Pada Proyek X Di Wilayah Jakarta Dengan Metode Linear Programming. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*, 1(1), 72-74.
- Sriwidadi, T., & Agustina, E. (2013). Analisis Optimasi Produksi Dengan Linear Programming Melalui Metode Simpleks. *Jurnal Binus*, 4(2), 725-741.
- Topal, E., & Ramazan, S. (2012). Mining Truck Scheduling With Stochastic Maintenance Cost. *Journal of Coal Science and engineering (China)*, 18, 313-319.
- Upadhyay, S. P., & Askari-Nasab, H. (2016). Truck-shovel allocation optimisation: a goal programming approach. *Transactions of the Institutions of Mining and Metallurgy: Section A*, 82-92.
- Yamit, Z. (1991). *Linear programming*. Yogyakarta: Bagian Penerbitan Kebudayaan Direktorat Universitas Islam Indonesia.