

OPTIMASI BIAYA PENGGUNAAN ALAT BERAT TERHADAP PEKERJAAN CUT DAN FILL DENGAN METODE INTEGER LINEAR PROGRAMMING

Merdy Evalina Silaban, Ida Ayu Ari Angreni

Universitas Gunadarma, Jakarta, Indonesia

Email: merdyevalina02@gmail.com, idaayu@staff.gunadarma.ac.id

Abstrak

Permasalahan integer programming dalam optimasi jumlah alat berat pada Proyek Jalan Tol Gempol Pandaan Tahap II akan diselesaikan dengan metode branch and bound yang terlebih dahulu menghitung nilai variabel keputusan menggunakan metode simpleks. Hasil akhir jumlah alat optimum yang digunakan untuk pekerjaan galian dan timbunan adalah 1 unit excavator, 1 unit dump truck 15 unit dump truck, 2 unit bulldozer, 1 unit sheep foot roller dan 1 unit vibro roller. Biaya pekerjaan galian sebelum dan sesudah optimasi terdapat selisih sebesar Rp. 125.436.327 dan pekerjaan tanggul sebesar Rp. 17.923.332.663. Ada perbedaan 2 hari untuk pekerjaan galian dan 34 hari untuk timbunan.

Kata Kunci: Optimasi, Pemrograman Linier Integer, Metode Simpleks, Metode Cabang dan Terikat

Abstract

The integer programming problem in optimizing the number of heavy equipment in the Gempol Pandaan Phase II Toll Road Project will be solved by the branch and bound method which first calculates the value of the decision variable using the simplex method. Final results the optimum number of tools used for excavation and embankment work is 1 excavator unit, 1 dump truck unit 15 units of dump trucks, 2 units of bulldozers, 1 unit of sheep foot roller and 1 unit of vibro roller. Excavation work costs before and after optimization there is a difference of Rp. 125,436,327 and embankment work is Rp. 17,923,332,663. There is a difference of 2 days for excavation work and 34 days for embankment

Keywords: *Optimizing, Integer Linear Programming, Simplex Method, Branch and Bound Method*

Pendahuluan

Masalah optimasi berkaitan dengan meminimumkan biaya atau memaksimalkan keuntungan dengan kapasitas sumber daya yang ada agar mampu mendapatkan hasil yang optimal. Penyelesaian optimal dari masalah tersebut dapat diselesaikan dengan program linear. Ada beberapa metode untuk mencari solusi optimal pada *linear programming problem* antara lain; metode grafik dan metode simpleks. Metode tersebut

How to cite:	Merdy Evalina Silaban, Ida Ayu Ari Angreni (2022) Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat terhadap Pekerjaan Cut dan Fill dengan Metode Integer Linear Programming, <i>Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia</i> , 7(5).
E-ISSN:	2548-1398
Published by:	Ridwan Institute

digunakan untuk mendapatkan penyelesaian optimal yang hasilnya bilangan *real* yaitu bisa berupa bilangan bulat maupun bilangan pecahan. Namun kenyataannya dalam dunia usaha sering dijumpai adanya ketentuan bahwa, nilai variabel keputusan tertentu yang diperoleh harus berupa bilangan bulat atau tidak boleh pecahan. Misalnya banyaknya jumlah alat berat yang digunakan dalam pekerjaan tanah, tidak mungkin jumlah alat berat yang digunakan 4,5 unit. Oleh karena itu, adanya *integer linear programming* yang merupakan masalah khusus dari linear programming.

Model matematis dari integer linear programming sebenarnya hampir sama dengan model *linear programming*, hanya saja terdapat tambahan batasan bahwa variabel keputusannya harus berupa bilangan bulat atau integer (Basriati Sri, 2018). Tujuan dari penelitian ini, yaitu menentukan kombinasi jumlah alat berat yang optimal dan membandingkan biaya pekerjaan tanah untuk pekerjaan galian dan timbunan sebelum dan sesudah dilakukannya optimasi pada Proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II Sta. 11+500 s.d. Sta. 13+060. Latar belakang dilakukannya penelitian ini pada proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II dikarenakan tidak optimalnya penggunaan alat berat pada proyek, hal ini ditandai dengan adanya keterlambatan waktu pengerjaan yang dapat dilihat pada kurva S proyek. Selain itu, pekerjaan tanah berdasarkan penjadwalan proyek termasuk pada lintasan kritis, yang dimana akan berpengaruh terhadap umur proyek jikalau waktu pekerjaannya mengalami keterlambatan.

Tinjauan Pustaka

1 Alat Berat

Menurut (Rohman, 2003) melaksanakan suatu proyek konstruksi berarti menggabungkan berbagai sumber daya untuk menghasilkan produk akhir yang diinginkan, pada proyek konstruksi kebutuhan untuk peralatan antara 7 – 15% dari biaya proyek, peralatan konstruksi yang dimaksud adalah alat/ peralatan yang diperlukan untuk melakukan pekerjaan konstruksi secara mekanis. Artinya pemanfaatan alat berat pada suatu proyek konstruksi dapat memberikan insentif pada efisiensi dan efektivitas pada tahap pelaksanaan maupun hasil yang dicapai. Beberapa alat berat yang sering digunakan diantaranya *excavator*, *dump truck*, *bulldozer*, dan *compactor*.

2 Biaya Operasional Alat Berat

Biaya operasional peralatan adalah biaya yang dikeluarkan hanya apabila alat tersebut dioperasikan (Tenriajeng, 2002). Perhitungan biaya kebutuhan alat berat didapatkan dari perkalian antara volume masing-masing pekerjaan, jumlah alat yang digunakan serta harga satuan pekerjaan.

3 Produktivitas Alat Berat

Produktivitas dapat diartikan sebagai perbandingan antara *output* (hasil produksi) terhadap *input* (komponen produksi seperti tenaga kerja, bahan, peralatan dan waktu). Jadi dalam analisis produktivitas dapat dinyatakan sebagai rasio antara *output* terhadap *input*.

4 Analisis Program Linier

Linear Programming (LP) digunakan untuk memecahkan masalah-masalah yang memerlukan pemecahan dalam proses maksimasi atau minimasi dengan menggunakan teknik matematik dalam bentuk ketidaksamaan linear. Pemecahan masalah dengan menggunakan *linear programming* akan memperhatikan kendala-kendala tersebut dalam bentuk ketidaksamaan linear dalam bentuk variabel-variabel tertentu. *Linear programming* dapat didefinisikan sebagai metode yang digunakan untuk mengkombinasikan faktor-faktor produksi yang bertujuan untuk mengoptimalkan suatu tujuan dengan rencana produksi dan peralatan tertentu.

Permasalahan *linear programming* standar. Maksimumkan atau minimumkan. Sumber daya yang membatasi (kendala):

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_nx_n$$

Sumber daya yang membatasi (kendala):

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + a_{13}x_3 + \dots + a_{1n}x_n = / \leq / \geq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + a_{23}x_3 + \dots + a_{2n}x_n = / \leq / \geq b_2$$

.....

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + a_{m3}x_3 + \dots + a_{mn}x_n = / \leq / \geq b_m \quad x_1, x_2, x_3, \dots, x_n \geq 0$$

Berikut merupakan penjelasan dari simbol-simbol yang terdapat dalam programasi linear. Simbol “ $x_1, x_2, x_3, \dots, x_n$ (x_i)” menunjukkan variabel keputusan. Simbol “(x_i)” merupakan jumlah dari variabel keputusan. Oleh karena itu tergantung dengan banyaknya jumlah kegiatan atau aktivitas yang sedang dilakukan untuk mencapai tujuan yang akan dicapai. Sedangkan untuk symbol “ $c_1, c_2, c_3, \dots, c_n$ ” merupakan nilai dari masing-masing variabel keputusan, atau nilai koefisien dari fungsi tujuan yang akan dicapai. Simbol “ $a_{11}, \dots, a_{1n}, \dots a_{mn}$ ” merupakan koefisien fungsi kendala atau nilai dari sumber daya yang membatasi dari masing-masing variabel keputusan per unit. Simbol “ $b_1, \dots, b_2, \dots b_m$ ” merupakan jumlah dari keseluruhan masing-masing sumber daya yang ada. Pada fungsi kendala, jumlah yang ada tergantung dengan sumber daya yang membatasi dari persoalan program linear. Sedangkan untuk batasan non negatif ditunjukkan dengan pertidaksamaan.

5 Integer Programming

Model dalam masalah program linier salah satunya membolehkan variabel keputusannya berupa bilangan pecahan, jadi solusinya merupakan solusi yang kontinu dengan menggunakan asumsi divisibilitas. Dalam beberapa kasus, asumsi divisibilitas tidak dapat diterapkan dan tidak dapat diterima. Misalnya suatu solusi menghasilkan 4,23 buah pesawat terbang yang akan diproduksi agar keuntungan maksimum. Hal ini tidak dapat diterima karena pesawat yang dibuat seharusnya 4 atau 5 buah. Masalah solusi yang tidak bulat ini dapat diatasi dengan menggunakan optimisasi dengan solusi bulat yang disebut dengan integer programming. Model dari

integer programming sebagai berikut:

$$\text{Maksimumkan } \sum_{j=1}^n c_j x_j$$

$$\text{Dengan kendala } \sum_{j=1}^n a_{ij} x_j = b_i, i = 1, 2, 3, \dots, m \quad x_j \geq 0$$

Terdapat *mixed integer programming* dan *pure integer programming* dan 0–1 *integer programming*. Dikatakan *mixed integer programming* jika tidak semua variabel keputusannya integer, sedangkan dikatakan *pure integer programming* jika semua variabel keputusannya bertipe integer, dan dikatakan 0–1 *integer programming* jika solusi yang diharapkan adalah hanya bertipe 0 atau 1.

6 Optimasi

Optimasi merupakan suatu pencapaian keadaan atau tindakan terbaik yang mampu dicapai dari suatu masalah pengambilan keputusan dengan berbagai macam sumber daya yang membatasinya. Menurut soekarwati (2005), optimasi merupakan suatu pencapaian terbaik dari usaha yang telah dilakukan. Optimasi linear erat kaitannya dengan bagaimana menentukan nilai-nilai ekstrim pada fungsi linear maksimasi atau minimasi. Persoalan optimasi secara umum terbagi menjadi dua yaitu optimasi tanpa kendala dan optimasi dengan kendala. Pada dasarnya optimasi dengan kendala adalah penentuan dari persoalan berbagai nilai variabel suatu fungsi untuk mendapatkan hasil yang maksimum atau minimum dengan memperhatikan batasan-batasan yang ada.

7 Software POM/ QM For Windows

Software POM/ QM for Windows adalah sebuah software yang dirancang untuk melakukan perhitungan yang diperlukan pihak manajemen untuk mengambil keputusan di bidang produksi dan pemasaran. Software ini dirancang hanya untuk membantu perhitungannya saja jadi terlebih dahulu harus dapat menginterpretasikan masalah dan teori programasi linier. Software ini dirancang oleh Howard J. Weiss tahun 1996 untuk membantu manejer produksi khususnya dalam menyusun prakiraan dan anggaran untuk produksi bahan baku menjadi produk jadi atau setengah jadi dalam proses pabrikasi.

Metode Penelitian

Integer Linear Programming atau program linear bilangan bulat merupakan suatu *linear programming* dengan variabel keputusannya merupakan bilangan bulat (integer), sehingga pada bentuk umum *linear programming* terdapat tambahan syarat bahwa variabel keputusannya harus bilangan bulat. Pada *linear programming problem* untuk kasus memaksimumkan, nilai tujuan dari *integer linear programming* tidak akan pernah melebihi nilai tujuan dari *linear programming*.

Bentuk umum dari *integer liner programming problem* dengan fungsi tujuan memaksimumkan adalah sebagai berikut:

Maksimumkan $z = \sum_{j=1}^n c_j \cdot x_j$

dengan kendala:

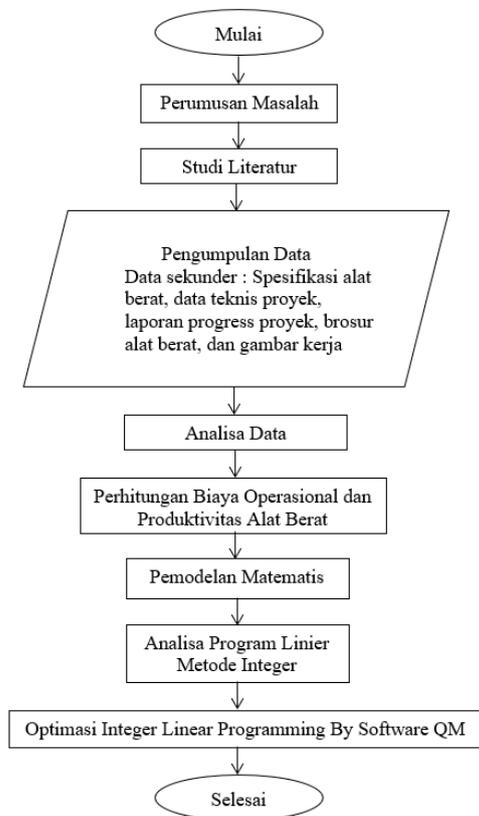
$$z = \sum_{j=1}^n a_{ij} \cdot x_j \leq b_i$$

$x_j \geq 0$, integer untuk setiap x_j .

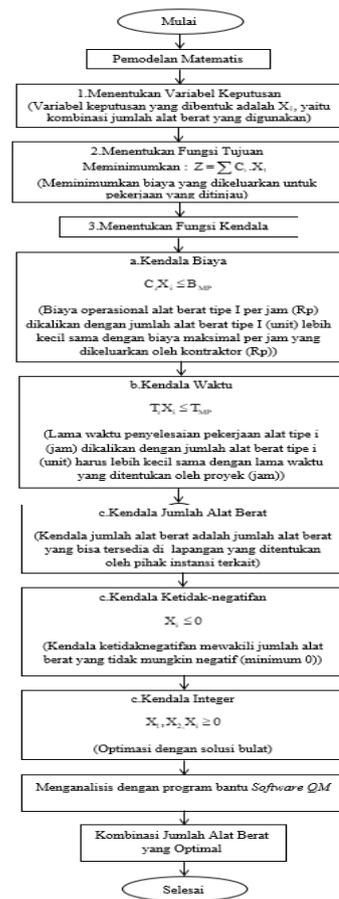
Untuk $i= 1,2,\dots,m$.

3.1 Diagram Alir Penelitian

Diagram lir pada penelitian dapat dilihat pada Gambar 1 dan diagram alir pemodelan matematis dapat dilihat pada Gambar 2.



Gambar 1
Diagram alir penelitian matematis



Gambar 2 Diagram alir pemodelan

Hasil dan Pembahasan

1. Data Pekerjaan Proyek

Berikut merupakan data pekerjaan proyek yang digunakan untuk mendapatkan produktivitas dari alat yang telah dikerjakan pada Proyek Jalan Tol Gempol Pandaan Tahap II Sta. 11+500 s.d. Sta. 13+060.

Lama pekerjaan galian = 60 hari

Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat terhadap Pekerjaan Cut dan Fill dengan Metode Integer Linear Programming

- Lama pekerjaan timbunan = 367 hari
- Biaya pekerjaan galian = Rp. 361.149.144,00
- Biaya pekerjaan timbunan = Rp. 21.205.897.551,00
- Jarak *quari* ke lokasi = 30 km
- Jam kerja/ hari = 8 jam
- Faktor konversi tanah
 - Kondisi asli = 1,10
 - Kondisi lepas = 1,25
 - Kondisi padat = 0,9

2. Analisis Data

Alat berat yang digunakan pada proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II untuk pekerjaan galian dan timbunan tanah adalah sebagai berikut:

Galian Tanah : *Excavator dan Dump Truck*

Timbunan Tanah: *Dump Truck, Bulldozer, Sheep Foot Roller dan Vibro Roller*

a. Spesifikasi, Biaya Produktivitas dan Produktivitas Tiap Alat Berat

1) *Excavator*

- Spesifikasi *Excavator*
Tipe : Komatsu C 200-8MO
- Biaya Operasional *Excavator*

Tabel 1
Biaya Operasional Excavator

No.	Uraian	Kode	Satuan	Perhitungan Biaya Operasional Peralatan
A URAIAN PERALATAN				
1	Jenis Peralatan			Excavator
2	Merk/Tipe			Komatsu PC 200-8MO
3	Tenaga	Pw	HP	138
4	Kapasitas	Cp	m ³	0,93
5	Umur Ekonomis	A	Tahun	5
6	Jam Operasional Dalam 1 Tahun	W	Jam	2520
7	Harga Alat	B	Rp.	1133465014
B BIAYA PASTI PER JAM KERJA				
1	Nilai Sisa Alat = 10% x B	C	Rp	113346501
	Faktor Angsuran Modal =	D		0,1
				$\frac{1 \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$
2	Biaya pasti per jam =			
	A. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp/jam	40480,89336
				$= \frac{(B - C) \times E}{W}$
	B. Asuransi, dll	F	Rp/jam	899,5754079
				$= P \times \frac{B}{W}$
	Biaya Pasti per Jam G=(E+F)	G		41380,46877
C BIAYA OPERASI PER JAM KERJA				
1	Bahan Bakar = (12%-15%) x PW x Ms	H	Rp/jam	129168
2	Pelumas = (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp/jam	90045
3	Biaya Bengkel = (6,25%-8,75%) x B/W	J	Rp/jam	28111,7315
4	Perawatan dan Perbaikan = (12%-17%) x B/W	K	Rp/jam	53974,52448
5	Operator	L	Rp/jam	19750
6	Biaya Operasi (per Jam) (H+I+J+K+L)	P	Rp/jam	321049,256
	BIAYA TOTAL ALAT/JAM = (G+P)	S	Rp/jam	362429,7247
			Rp/hari	2899437,798
KETERANGAN				
1	Bahan Bakar Solar (non subsidi)	Ms	Liter	7800
2	Minyak Pelumas	Mp	Liter	26100
3	Operator		Rp/jam	19750
4	Suku Bunga	i	10%	

- Produktivitas *Excavator*
 Kapasitas bucket (q1) = 0,93 m³ (dari spesifikasi alat)
 Faktor bucket (K) = 1,00
 Faktor efisiensi alat (E) = 0,75
 Waktu siklus (Cms) = 21,5 detik (hasil *survey*)

Tabel 2
Data Waktu Siklus *Excavator*

Siklus	Pengamatan				
	Waktu (detik)				
	Gali	Putar (Isi)	Buang	Putar (Kosong)	Total
1.	5	7	5	5,5	22,5
2.	5	6	4	5	19,5
3.	5	6	5	6	22
Rata-rata	5	6,33	4,67	5,5	21,5

$$\begin{aligned} \text{Produksi per siklus (q)} &= q_1 \times K \\ &= 0,93 \times 1,00 \\ &= 0,93 \text{ m}^3 \end{aligned}$$

Kapasitas produksi (Q)

$$\begin{aligned} Q &= \frac{q \times 3600 \times E}{C_{ms}} \\ &= \frac{0,93 \times 3600 \times 0,75}{21,5} \\ &= 116,790 \text{ m}^3/\text{jam} \end{aligned}$$

2) *Dump Truck*

- Spesifikasi *Dump Truck*
Tipe: FM 260 - JD
- Biaya Operasional *Dump Truck*

Tabel 3
Biaya Operasional *Dump Truck*

A. URAIAN PERALATAN				
1	Jenis Peralatan			Dump Truck
2	Merk/Tipe			Dump Truck 20 m ³
3	Tenaga	Pw	HP	231
4	Kapasitas	Cp	m ³	20
5	Umur Ekonomis	A	Tahun	5
6	Jam Operasional Dalam 1 Tahun	W	Jam	2320
7	Harga Alat	B	Rp.	50500000
B. BIAYA PASTI PER JAM KERJA				
1	Nilai Sisa Alat = 10% x B	C	Rp	50500000
	Faktor Angsuran Modal =	D		0,1
				$\frac{1 \times (1+i)^n}{(1+i)^n - 1}$
2	Biaya pasti per jam =			
	A. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp/jam	19990,51724
				$\frac{(B-C) \times E}{W}$
	B. Asuransi, dll	F	Rp/jam	435,3448276
				$= P \times \frac{B}{W}$
	Biaya Pasti per Jam G=(E+F)	G		20025,86207
C. BIAYA OPERASIPER JAM KERJA				
1	Bahan Bakar = (12%-15%) x PW x Ms	H	Rp/jam	216216
2	Pelumas = (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp/jam	150727,5
3	Biaya Bengkel = (6,25%-8,75%) x B/W	J	Rp/jam	13004,52586
4	Perawatan dan Perbaikan = (12%-17%) x B/W	K	Rp/jam	26120,68966
5	Operator	L	Rp/jam	19750
6	Biaya Operasi (per Jam) (H+J+K+L)	P	Rp/jam	426418,7155
	BIAYA TOTAL ALAT/JAM = (G+P)	S	Rp/jam	44644,5776
			Rp/hari	3571556,621
KETERANGAN				
1	Bahan Bakar Solar (non subsidi)	Ms	Liter	7800
2	Mayak Pelumas	Mp	Liter	26100
3	Operator		Rp/jam	19750
4	Suku Bunga	i	10%	

- Produktivitas *Dump Truck*
Jarak angkut *dump truck* = 30 km
Kapasitas bak *excavator* = 0,9 m³

Faktor bucket *excavator* (K) = 1,00
 Faktor efisiensi alat (Et) = 0,80
 Cycle time *excavator* (Cm) = 21,5 detik

Tabel 4
Data Waktu Siklus *Dump Truck*

Lokasi	Pengamatan				
	Waktu (menit)				
	Waktu Muat	Waktu Angkut (16 km/jam)	Waktu Bongkar Muatan	Waktu Kembali (30 km/jam)	Waktu Posisi Muat
Quary	8,014	76	3	58,285	1

a. Waktu muat (TL)

$$\begin{aligned} \text{Waktu muat} &= \frac{c_d}{q_1} \times K \times c_m \\ &= \frac{20,8}{0,93} \times 1,00 \times 21,5 \\ &= 8,014 \text{ menit} \end{aligned}$$

b. Waktu Angkut

Total waktu angkut = 76 menit = 1 jam 16 menit dari Tabel 4.

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan rata-rata} &= \frac{30 \text{ km}}{76 \text{ menit}} \times 60 \\ &= 23,684 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

c. Waktu Kembali

Total waktu kembali = 58,285 menit

$$\begin{aligned} \text{Kecepatan rata-rata} &= \frac{30 \text{ km}}{58,285 \text{ menit}} \times 60 \\ &= 30,882 \text{ km/jam} \end{aligned}$$

d. Waktu bongkar muatan = 3 menit

e. Waktu *dump truck* mengambil posisi muat = 1 menit

f. Waktu siklus *dump truck*

$$\begin{aligned} C_{mt} &= 8,014 + 76 + 58,285 + 3 + 1 \\ &= 146,299 \text{ menit} \\ &= 2,438 \text{ jam} \end{aligned}$$

g. Produksi per siklus (q)

$$\begin{aligned} &= q_1 \times K \\ &= 20,8 \times 1,00 \\ &= 20,800 \end{aligned}$$

h. Total ritt = $\frac{\text{Jam kerja}}{c_{mt}}$

$$\begin{aligned} &= \frac{8 \text{ jam}}{2,438 \text{ jam}} \\ &= 2,281 \text{ ritt} = 3 \text{ ritt} \end{aligned}$$

i. Kapasitas produksi (Q)

$$= \frac{q \times 60 \times E_t}{C_{mt}} \times \text{jumlah riit}$$

$$= \frac{20,8 \times 60 \times 0,8}{146,299} \times 3$$

$$= 20,729 \text{ m}^3/\text{jam}$$

3) *Bulldozer*

➤ Spesifikasi *Bulldozer*

Tipe : Komatsu D68ESS

Kecepatan Maju : 5 km/jam

Kecepatan Mundur : 8,4 km/jam

Lebar *Blade* : 3,97 m

Tinggi *Blade* : 0,95 m

Lebar Alat : 6,280 m

Waktu Tetap : 0,1 menit

➤ Biaya Operasional *Bulldozer*

Tabel 5
Biaya Operasional *Bulldozer*

No.	Uraian	Kode	Satuan	Perhitungan Biaya Operasional Peralatan
A	URAIAN PERALATAN			
1	Jenis Peralatan			Bulldozer
2	Merik/Tipe			Komatsu D68ESS
3	Tenaga	Pw	HP	150
4	Kapasitas	Cp	m ³	0
5	Umur Ekonomis	A	Tahun	5
6	Jam Operasional Dalam 1 Tahun	W	Jam	2000
7	Harga Alat	B	Rp.	2875000000
B	BIAYA PASTI PER JAM KERJA			
1	Nilai Sisa Alat = 10% x B	C	Rp	287500000
	Faktor Angsuran Modal =	D		0,1
	$= \frac{1 \times (1 + i)^n}{(1 + i)^n - 1}$			
2	Biaya pasti per jam =			
	A. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp/jam	129575
	$= \frac{(B - C) \times E}{W}$			
	B. Asuransi, dll	F	Rp/jam	2875
	$= P \times \frac{B}{W}$			
	Biaya Pasti per Jam G=(E+F)	G		132250
C	BIAYA OPERASI PER JAM KERJA			
1	Bahan Bakar = (12%-15%) x Pw x Ms	H	Rp/jam	140400
2	Pelumas = (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp/jam	97875
3	Biaya Bengkel = (6,25%-8,75%) x B/W	J	Rp/jam	89843,75
4	Perawatan dan Perbaikan = (12%-17%) x B/W	K	Rp/jam	172500
5	Operator	L	Rp/jam	19750
6	Biaya Operasi (per Jam) (H+I+J+K+L)	P	Rp/jam	520368,75
	BIAYA TOTAL ALAT/JAM = (G+P)	S	Rp/jam	652618,75
			Rp/hari	5220950
	KETERANGAN			
1	Bahan Bakar Solar (non subsidi)	Ms	Liter	7800
2	Minyak Pelumas	Mp	Liter	26100
3	Operator		Rp/jam	19750
4	Suku Bunga	i	10%	

➤ Produktivitas *Bulldozer*

a. Kapasitas *blade* (V)

$$= \text{Lebar blade} \times (\text{tinggi blade})^2$$

$$= 3,97 \times (0,95)^2$$

$$= 3,582 \text{ m}^3$$

b. Faktor *blade* (F_b) = 0,80

- c. Faktor efisiensi alat (F_a) = 0,75
 - d. Jarak dorong (J) = 30 m (dari hasil wawancara)
 - e. Kecepatan maju (v_1) = 5 km/jam = 83,33 m/menit (dari spesifikasi alat)
 - f. Kecepatan mundur (v_2) = 8 km/jam = 133,33 m/menit (dari spesifikasi alat)
 - g. Waktu tetap (Z) = 0,10 menit (dari spesifikasi alat)
 - h. Kapasitas produksi (Q)
- $$= \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{\frac{J}{v_1} + \frac{J}{v_2} + Z} = \frac{3,582 \times 0,80 \times 0,75 \times 60}{\frac{30}{83,33} + \frac{30}{133,33} + 0,1}$$
- $$= 188,298 \text{ m}^3/\text{jam}$$

4) Compactor

Terdapat dua alat pemadat yang digunakan pada proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II yaitu *sheepfoot roller* dan *vibro roller*

A. Sheepfoot Roller

- Spesifikasi *Sheep Foot Roller*
Horse Power : SAKAI SV515TF
Lebar Pemadatan : 1,9 m
Kecepatan : 2 km/jam
- Biaya Operasional *Sheepfoot Roller*

Tabel 6
Biaya Operasional *Sheepfoot Roller*

No.	Uraian	Kode	Satuan	Perhitungan Biaya Operasional Peralatan
A	URAIAN PERALATAN			
1	Jenis Peralatan			Sheepfoot Roller
2	Merk/Tipe			SAKAI SV515TF
3	Tenaga	Pw	HP	110
4	Kapasitas	Cp	m ³	0
5	Umur Ekonomis	A	Tahun	5
6	Jam Operasional Dalam 1 Tahun	W	Jam	2000
7	Harga Alat	B	Rp.	149500000
B	BIAYA PASTI PER JAM KERJA			
1	Nilai Sisa Alat = 10% x B	C	Rp	14950000
	Faktor Angsuran Modal =	D		0,2638
	$= \frac{1 \times (1 + D)^A}{(1 + D)^A - 1}$			
2	Biaya pasti per jam =			
	A. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp/jam	177471,45
	$= \frac{(B - C) \times E}{W}$			
	B. Asuransi, dll	F	Rp/jam	1495
	$= P \times \frac{B}{W}$			
	Biaya Pasti per Jam G=(E+F)	G		178966,45
C	BIAYA OPERASI PER JAM KERJA			
1	Bahan Bakar = (12%-15%) x PW x Ms	H	Rp/jam	102960
2	Pelumas = (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp/jam	71775
3	Biaya Bengkel = (6,25%-8,75%) x B/W	J	Rp/jam	46718,75
4	Perawatan dan Perbaikan = (12%-17%) x B/W	K	Rp/jam	89700
5	Operator	L	Rp/jam	19750
6	Biaya Operasi (per Jam) (H+I+J+K+L)	P	Rp/jam	330903,75
	BIAYA TOTAL ALAT/JAM = (G+P)	S	Rp/jam	509870,2
			Rp/hari	4078961,6
	KETERANGAN			
1	Bahan Bakar Solar (non subsidi)	Ms	Liter	7800
2	Minyak Pelumas	Mp	Liter	26100
3	Operator		Rp/jam	19750
4	Suku Bunga	i	10%	

- Produktivitas *Compactor (SheepFoot Roller)*
 - a. Lebar *overlap* (bo) = 0,2 m (PerMen PU, 2013)
 - b. Lebar efektif pemadatan (bc)
= $b - bo = 1,9 - 0,2 = 1,7$ m
 - c. Tebal pemadatan (t)

= 0,50 (dari hasil wawancara)

- d. Kecepatan rerata (v)
= 2 km/jam (dari spesifikasi alat)

- e. Jumlah lintasan (n)
= 4 lintasan

- f. Faktor efisiensi alat (F_a)
= 0,80

- g. Kapasitas produksi (Q)

$$Q = \frac{(b_e \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n}$$

$$= \frac{(1,7 \times 2 \times 1000) \times 0,50 \times 0,80}{4}$$

$$= 340,000 \text{ m}^3/\text{jam}$$

B. Vibro Roller

- Spesifikasi *Vibro Roller*
Tipe : BOMAG BW 211D-3
Horse Power : 112
Berat Alat : 12,015 ton
Lebar Pemadatan : 2,13 m
Kecepatan : 2 km/jam

- Biaya Operasional *Vibro Roller*

Tabel 7
Biaya Operasional *Vibro Roller*

No.	Uraian	Kode	Satuan	Perhitungan Biaya Operasional Peralatan
A URAIAN PERALATAN				
1	Jenis Peralatan			Vibro Roller
2	Merk/Tipe			Bomag BW 211D-3
3	Tenaga	Pw	HP	82
4	Kapasitas	Cp	m ³	7,1
5	Umar Ekonomis	A	Tahun	5
6	Jam Operasional Dalam 1 Tahun	W	Jam	2000
7	Harga Alat	B	Rp.	149500000
B BIAYA PASTI PER JAM KERJA				
1	Nilai Sisa Alat = 10% x B	C	Rp	149500000
	Faktor Angsuran Modal =	D		0,2638
	$= \frac{1 \times (1 + D)^A}{(1 + D)^A - 1}$			
2	Biaya pasti per jam =			
	A. Biaya Pengembalian Modal	E	Rp/jam	17471,45
	$= \frac{(B - C) \times E}{W}$			
	B. Asuransi, dll	F	Rp/jam	1495
	$= P \times \frac{B}{W}$			
	Biaya Pasti per Jam G=(E+F)	G		17866,45
C BIAYA OPERASI PER JAM KERJA				
1	Bahan Bakar = (12%-15%) x PW x Ms	H	Rp/jam	76752
2	Pelumas = (2,5%-3%) x Pw x Mp	I	Rp/jam	53505
3	Biaya Bengkel = (6,25%-8,75%) x B/W	J	Rp/jam	46718,75
4	Perawatan dan Perbaikan = (12%-17%) x B/W	K	Rp/jam	89700
5	Operator	L	Rp/jam	19750
6	Biaya Operasi (per Jam) (H+I+J+K+L)	P	Rp/jam	286425,75
	BIAYA TOTAL ALAT/JAM = (G+P)	S	Rp/jam	465392,2
			Rp/hari	3723137,6
KETERANGAN				
1	Bahan Bakar Solar (non subsidi)	Ms	Liter	7800
2	Minyak Pelumas	Mp	Liter	26100
3	Operator		Rp/jam	19750
4	Suku Bunga	i	10%	

- Produktivitas *Vibro Roller*
 - a. Lebar *overlap* (bo) = 0,2 m (PerMen PU, 2013)
 - b. Lebar efektif pemadatan (bc)
= b – bo = 2,13 – 0,2 = 1,93 m
 - c. Tebal pemadatan (t)

= 0,20 (dari hasil wawancara)

d. Kecepatan rerata (v)

= 2 km/jam (dari spesifikasi alat)

e. Jumlah lintasan (n) = 4 lintasan

f. Faktor efisiensi alat (F_a) = 0,75

g. Kapasitas produksi (Q)

$$= \frac{(b_e \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n}$$

$$= \frac{(1,93 \times 2 \times 1000) \times 0,20 \times 0,75}{4}$$

$$= 144,750 \text{ m}^3/\text{jam}$$

1. Pembuatan Pemodelan Matematis

a. Penentuan Fungsi Variabel

Jumlah alat berat untuk masing-masing alat berat merupakan variabel-variabel yang akan dilakukan optimasi.

b. Penentuan Fungsi Tujuan

$$Z = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6$$

Dimana:

Z : Biaya penggunaan alat berat (Rp/jam)

C_1 : Biaya operasional *excavator* (Rp/jam)

X_1 : Jumlah *excavator* (unit)

C_2 : Biaya operasional *dump truck* (Rp/jam)

X_2 : Jumlah *dump truck* (unit)

C_3 : Biaya operasional *dump truck* untuk timbunan (Rp/jam)

X_3 : Jumlah *dump truck* untuk timbunan (unit)

C_4 : Biaya operasional *bulldozer* (Rp/jam)

X_4 : Jumlah *bulldozer* (unit)

C_5 : Biaya operasional *sheep foot roller* (Rp/jam)

X_5 : Jumlah *sheep foot roller* (unit)

C_6 : Biaya operasional *vibro roller* (Rp/jam)

X_6 : Jumlah *vibro roller* (unit)

Sehingga,

$$Z = 362.430X_1 + 446.445X_2 + 446.445X_3 + 652.619X_4 + 509.870X_5 + 465.392X_6$$

i. Penentuan Fungsi Kendala

1. Kendala Biaya

Biaya Galian

$$= \frac{\text{Biaya galian}}{\text{Waktu galian} \times 8} = \frac{361.149.144}{60 \times 8} = \text{Rp. } 752.394,05/\text{jam}$$

Biaya Timbunan

$$= \frac{\text{Biaya timbunan}}{\text{Waktu timbunan} \times 8} = \frac{21.205.897.551}{367 \times 8}$$

$$\frac{(1,7 \times 2 \times 1000) \times 0,30 \times 0,75}{4}$$

$$= \text{Rp.}7.222.717,147/\text{jam}$$

Alat-alat yang digunakan untuk pekerjaan galian terdiri dari *excavator* dan *dump truck* sehingga didapatkan fungsi kendala biaya untuk pekerjaan galian yaitu:

$$362.430X_1 + 446.445X_2 \leq 752.394,05$$

Sedangkan alat berat untuk pekerjaan timbunan terdiri dari *dump truck*, *bulldozer*, *sheep foot roller* dan *vibro roller*, sehingga didapatkan fungsi kendala biaya untuk pekerjaan timbunan tanah yaitu:

$$446.445X_3 + 652.619X_4 + 509.870X_5 + 465.392X_6 \leq 7.222.717,149/\text{jam}$$

2. Kendala Waktu

Volume pekerjaan yang dikerjakan *excavator* berdasarkan gambar kerja adalah $7.652,870 \times 1,25$ (faktor kembang tanah asli ke gembur), sehingga volume pekerjaan menjadi $9.566,087 \text{ m}^3$ (kondisi tanah gembur), dan waktu yang diperlukan *excavator* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas.}X_1} = \frac{9.566,0877}{116,790 \times X_1} = \frac{81,908}{X_1} \text{ jam}$$

Volume pekerjaan yang dikerjakan *dump truck* berdasarkan gambar kerja adalah $7.652,870 \times 1,25$ (faktor kembang tanah asli ke gembur), sehingga volume pekerjaan menjadi $9.566,087 \text{ m}^3$ (kondisi tanah gembur), dan waktu yang diperlukan *dump truck* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas.}X_2} = \frac{9566,087}{20,729 \times X_2} = \frac{461,483}{X_2} \text{ jam}$$

Volume pekerjaan yang dikerjakan *dump truck* berdasarkan gambar kerja adalah $510.188,375 \times 1,25$ (faktor kembang tanah asli ke gembur), sehingga volume pekerjaan menjadi 637.735 m^3 (kondisi tanah gembur), dan waktu yang diperlukan *dump truck* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas.}X_2} = \frac{637.735}{20,729 \times X_2} = \frac{30765,365}{X_2} \text{ jam}$$

Volume pekerjaan yang dikerjakan *bulldozer* berdasarkan gambar kerja, dimana dalam kondisi padat besarnya penyusutan adalah 20% sehingga volume pekerjaan timbunan dalam kondisi padat adalah $510.188,375 \text{ m}^3 + (20\% \times 510.188,375 \text{ m}^3) = 612.226 \text{ m}^3$ dikalikan dengan 1,11 (faktor kembang tanah padat ke asli, lihat Tabel 2.1), sehingga volume pekerjaan menjadi 679.571 m^3 (kondisi tanah asli), dan waktu yang diperlukan *bulldozer* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \cdot X_3} = \frac{612.226}{188,298 \times X_3} = \frac{3251,365}{X_3} \text{ jam}$$

Volume pekerjaan yang dikerjakan *sheep foot roller* adalah volume pekerjaan tanah berdasarkan gambar kerja, dimana dalam kondisi padat besarnya penyusutan adalah sebesar 20% sehingga volume pekerjaan tanah dalam kondisi padat adalah $510.188,375 \text{ m}^3 + (20\% \times 510.188,375 \text{ m}^3) = 612.226 \text{ m}^3$ dikalikan dengan 0,90 (faktor kembang tanah asli ke padat), sehingga volume pekerjaan menjadi 551.003 m^3 (kondisi tanah padat), dan waktu yang diperlukan *sheep foot roller* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \cdot X_4} = \frac{551.003}{340,000 \times X_4} = \frac{2881,064}{X_4} \text{ jam}$$

Volume pekerjaan yang dikerjakan *vibro roller* adalah volume pekerjaan tanah berdasarkan gambar kerja, dimana dalam kondisi padat besarnya penyusutan adalah sebesar 20% sehingga volume pekerjaan tanah dalam kondisi padat adalah $510.188,375 \text{ m}^3 + (20\% \times 510.188,375 \text{ m}^3) = 612.226 \text{ m}^3$ dikalikan dengan 0,90 (faktor kembang tanah asli ke padat), sehingga volume pekerjaan menjadi 551.003 m^3 (kondisi tanah padat), dan waktu yang diperlukan *vibro roller* untuk menyelesaikan volume pekerjaannya yaitu:

$$= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \cdot X_5} = \frac{385702,10}{144,75 \times X_5} = \frac{2664,609}{X_5} \text{ jam}$$

Dari perhitungan waktu yang dibutuhkan masing-masing alat berat untuk menyelesaikan volume pekerjaannya diatas, didapatkan fungsi kendala waktu per setiap alat berat sebagai berikut:

$$\begin{aligned} \frac{81,908}{X_1} &\leq 400 = 400X_1 \geq 81,908 \\ \frac{461,483}{X_2} &\leq 400 = 400 \cdot X_2 \geq 461,483 \\ \frac{30765,365}{X_3} &\leq 2016 = 2016 \cdot X_3 \geq 30765,365 \\ \frac{3251,365}{X_4} &\leq 2016 = 2016 \cdot X_4 \geq 3251,365 \\ \frac{1620,598}{X_5} &\leq 2016 = 2016 \cdot X_5 \geq 1620,598 \\ \frac{2664,609}{X_6} &\leq 2016 = 2016 \cdot X_6 \geq 2664,609 \end{aligned}$$

3. Kendala Jumlah Alat Berat

Fungsi kendala jumlah alat berat yang tersedia, yaitu:

- $X_1 \leq 2$ (Excavator)
- $X_2 \leq 3$ (Dump Truck Untuk Galian)
- $X_3 \leq 18$ (Dump Truck Untuk Timbunan)
- $X_4 \leq 4$ (Bulldozer)
- $X_5 \leq 3$ (Sheepfoot Roller)

$$X_6 \leq 2 \text{ (Vibro Roller)}$$

4. Kendala Ketidaknegatifan

Kendala ketidaknegatifan mewakili jumlah alat berat yang tidak mungkin negatif atau setidaknya nol. Sehingga fungsi kendala ketidaknegatifan adalah sebagai berikut.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 \geq 0$$

5. Kendala Integer

Optimasi dengan solusi bulat.

$$X_1, X_2, X_3, X_4, X_5, X_6 = \text{Integer}$$

b. Hasil Optimasi dan Analisis

Fungsi Tujuan (Persamaan 4.1)

Minimumkan:

$$Z = 362430x_1 + 446445x_2 + 446445x_3 + 652619x_4 + 509870x_5 + 465392x_6$$

Fungsi Kendala (Persamaan 4.2)

$$362430x_1 + 446445x_2 \leq 2064195$$

$$446445x_3 + 652619x_4 + 509870x_5 + 465392x_6 \leq 13572272$$

$$400x_1 \geq 81.908$$

$$400x_2 \geq 461.483$$

$$2016x_3 \geq 30765.376$$

$$2016x_4 \geq 3251.365$$

$$2016x_5 \geq 1620,598$$

$$2016x_6 \geq 2664,609$$

$$x_1 \leq 2$$

$$x_2 \leq 3$$

$$x_3 \leq 18$$

$$x_4 \leq 4$$

$$x_5 \leq 3$$

$$x_6 \leq 3$$

Kendala Variabel:

$$x_1 \geq 0$$

$$x_2 \geq 0$$

$$x_3 \geq 0$$

$$x_4 \geq 0$$

$$x_5 \geq 0$$

$$x_6 \geq 0$$

Dimana:

x_1 : Jumlah *Excavator*

Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat terhadap Pekerjaan Cut dan Fill dengan Metode Integer Linear Programming

- x_2 : Jumlah *Dump Truck* untuk galian
- x_3 : Jumlah *Dump Truck* untuk timbunan
- x_4 : Jumlah *Bulldozer*
- x_5 : Jumlah *Sheep Foot Roller*
- x_6 : Jumlah *Vibro Roller*
- Z : Total Biaya (Rp/ jam)

Persamaan-persamaan yang telah ada, kemudian dimasukkan ke dalam program *Software QM* untuk dicari solusi optimumnya. Adapun hasil optimasi dari program *Software QM* adalah sebagai berikut.

Tabel Iterasi 1 Metode Simpleks dengan *Software QM*

Q	Basic	Quantity	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	art1	art2	art3	art4	art5	art6
1	art1	2000.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	art2	1000.00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	art3	2000.00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	art4	1000.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	art5	1000.00	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	art6	1000.00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabel Iterasi 2 Metode Simpleks dengan *Software QM*

Q	Basic	Quantity	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	art1	art2	art3	art4	art5	art6
1	art1	2000.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	art2	1000.00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	art3	2000.00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	art4	1000.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	art5	1000.00	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	art6	1000.00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabel Iterasi 3 Metode Simpleks dengan *Software QM*

Q	Basic	Quantity	x_1	x_2	x_3	x_4	x_5	x_6	art1	art2	art3	art4	art5	art6
1	art1	2000.00	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
2	art2	1000.00	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
3	art3	2000.00	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0	0
4	art4	1000.00	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0	0
5	art5	1000.00	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0	0
6	art6	1000.00	0	0	0	0	0	1	0	0	0	0	0	0

Tabel Iterasi 4 Metode Simpleks dengan Software QM

Tabel Iterasi 5 Metode Simpleks dengan Software QM

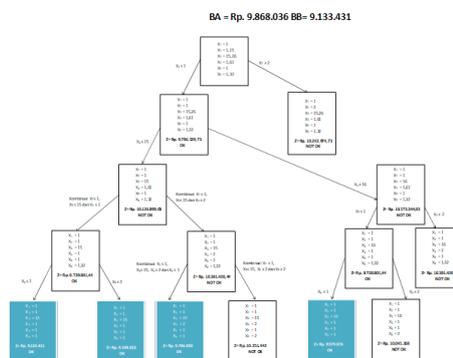
Tabel Iterasi 6 Metode Simpleks dengan Software QM

Tabel Iterasi 7 Metode Simpleks dengan Software QM

Analisis Metode *Branch and Bound*

Langkah pertama yang dilakukan adalah menentukan batas atas (BA) dan batas bawah (BB). Hasil yang diperoleh sebelumnya yaitu $x_1 = 1$ $x_2 = 1,15$ $x_3 = 15,26$ $x_4 = 1,61$ $x_5 = 1$ $x_6 = 1,32$ dengan keuntungan sebesar Rp. 9.868.036,00 (per satuan jam) belum menjadi solusi yang valid karena x_2 , x_3 , x_4 dan x_6 bukan bilangan integer. Dengan metode pembulatan ke bawah, diperoleh : $x_1 = 1$ $x_2 = 1$ $x_3 = 15$ $x_4 = 1$ $x_5 = 1$ $x_6 = 1$ dengan keuntungan Rp. 9.133.431,00. Nilai keuntungan dengan pembulatan ke bawah dijadikan sebagai batas bawah (BB).

Setelah batas atas dan batas bawah ditentukan, maka selanjutnya memilih variabel keputusan untuk melakukan pencabangan (*branching*). Dipilih salah satu variabel yang belum bulat.



Berdasarkan metode *branch and bound* diatas, didapatkan jumlah alat berat yang optimal untuk pekerjaan galian dan timbunan pada Proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II Sta. 11+500 s.d. Sta. 13+060 yang paling optimal dapat dilihat pada Tabel 4.4.

Tabel Hasil Akhir Metode *Branch and Bound*

Jumlah Alat Berat	Tipe Alat Berat
1 Unit <i>Excavator</i>	Komatsu PC 200-8MO
1 Unit <i>Dump Truck</i> untuk galian	FM 260-JD
15 Unit <i>Dump Truck</i> untuk timbunan	FM 260-JD
2 Unit <i>Bulldozer</i>	Komatsu D85ESS-2
1 Unit <i>Sheep Foot Roller</i>	SAKAI SV515TF
1 Unit <i>Vibro Roller</i>	Bomag BW 211D-3

Sumber: Hasil Metode *Branch and Bound*, 2021

c. Penjadwalan Penggunaan Alat

1) *Excavator* Komatsu PC 200-8MO

Jumlah *excavator* dari analisa = 1 unit

Volume pekerjaan = 9566,09 m³

Produktivitas alat = 116,790 m³/jam

Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat terhadap Pekerjaan Cut dan Fill dengan Metode Integer Linear Programming

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas } X_1} \\ &= \frac{9566,09}{20,729} \\ &= 461,484 \text{ jam} \\ &= 19,227 \approx 19 \text{ hari} \end{aligned}$$

2) *Dump Truck* FM 260-JD Untuk Galian

Jumlah *dump truck* dari analisa = 1 unit

Volume pekerjaan = 9566,09 m³

Produktivitas alat = 20,729 m³/jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas } X_1} \\ &= \frac{9566,09}{20,729} \\ &= 461,484 \text{ jam} \\ &= 19,227 \approx 19 \text{ hari} \end{aligned}$$

3) *Dump Truck* FM 260-JD Untuk Timbunan

Jumlah *dump truck* dari analisa = 15 unit

Volume pekerjaan = 637.735 m³

Produktivitas alat = 20,729 m³/jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas } X_1} \\ &= \frac{637.735}{20,729} \\ &= 30762,023 \text{ jam} = 1281,751 \approx 1282 \text{ hari} \end{aligned}$$

4) *Bulldozer* Komatsu D85ESS-2

Jumlah *bulldozer* dari analisa = 2 unit

Volume pekerjaan = 612.226 m³

Produktivitas alat = 188,298 m³/jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas } X_1} \\ &= \frac{612.226}{188,298} \\ &= 3251,682 \text{ jam} \\ &= 135,487 \approx 136 \text{ hari} \end{aligned}$$

5) *Sheep foot roller* SAKAI SV515TF

Jumlah *sheep foot* dari analisa = 1 unit

Volume pekerjaan = 551.003 m³

Produktivitas alat = 340,000 m³/jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \cdot X_1} \\ &= \frac{551.003}{340.000,1} \\ &= 1620,598 \text{ jam} \\ &= 202,574 \approx 203 \text{ hari} \end{aligned}$$

6) Vibro roller BOMAG BW 211D-3

Jumlah *sheep foot* dari analisa = 1 unit

Volume pekerjaan = 385.702,1 m³

Produktivitas alat = 144,750 m³/jam

$$\begin{aligned} \text{Waktu yang diperlukan} &= \frac{\text{Volume pekerjaan}}{\text{Produktivitas} \cdot X_1} \\ &= \frac{385702,1}{144,750,2} \\ &= 2664,608 \text{ jam} \\ &= 333,076 \approx 333 \text{ hari} \end{aligned}$$

Sesuai perhitungan penjadwalan penggunaan alat berat di atas, didapatkan waktu dari perhitungan di atas untuk pekerjaan tanah (galian dan timbunan) yaitu:

Pekerjaan galian tanah = 58 hari = 461 jam (dipilih waktu alat berat *dump truck*)

Pekerjaan penghamparan tanah = 256 = 2051 jam

Pekerjaan pemadatan tanah = 203 hari = 1626 jam

d. Metode Pelaksanaan Dari Hasil Optimum

1. Menghitung Biaya Alat Berat Dari Hasil Optimum

Biaya yang dikeluarkan untuk operasional alat berat per jamnya, yaitu:

1) Pekerjaan Galian

$$= 362.430 \times 1 \text{ unit} + 446.445 \times 1 \text{ unit} = 808.875/ \text{ jam}$$

2) Pekerjaan Timbunan

$$= 446.445 \times 15 \text{ unit} + 652.619 \times 2 \text{ unit} + 509.870 \times 1 \text{ unit} + 465.392 \times 1 \text{ unit} = 8.977.175/\text{jam}$$

Adapun biaya total yang dikeluarkan untuk pekerjaan galian dan timbunan didapatkan dengan menjumlahkan perkalian antara biaya operasional alat berat dan durasi pekerjaan yang diperoleh dari hasil solusi optimum, dengan rincian sebagai berikut:

3) Pekerjaan Galian

$$= (362.430 \times 1 \text{ unit} \times 82) + (446.445 \times 1 \text{ unit} \times 461) = 235.712.817/ \text{ jam}$$

4) Pekerjaan Timbunan

$$\begin{aligned} &= (446.445 \times 15 \text{ unit} \times 2051) + (652.619 \times 2 \text{ unit} \times \\ &1626) + (509.870 \times 1 \text{ unit} \times 1620) + (465.392 \\ &\times 1 \text{ unit} \times 2664) \\ &= 17.923.332.663 \end{aligned}$$

Tabel 9
Waktu dan Biaya Pekerjaan Tanah Setelah Optimasi

Jenis Pekerjaan Tanah	Alat yang Digunakan	Waktu Pekerjaan (hari)	Total Biaya (Rp)
Pekerjaan Galian	1 Unit <i>Excavator</i>	10 hari	Rp. 235.712.817
	1 Unit <i>Dump Truck</i>	58 hari	
Pekerjaan Timbunan	15 Unit <i>Dump Truck</i>	256 hari	Rp. 17.923.332.663
	2 Unit <i>Bulldozer</i>	203 hari	
	1 Unit <i>Sheep Foot Roller</i>	202 hari	
	1 Unit <i>Vibro Roller</i>	333 hari	

Tabel 10
Perbandingan Biaya dan Waktu Pekerjaan Tanah Sebelum dan Setelah Dilakukan Optimasi

Jenis Pekerjaan Tanah	Sebelum Dilakukan Optimasi		Setelah Dilakukan Optimasi	
	Biaya (Rp)	Waktu (hari)	Biaya (Rp)	Waktu (hari)
Pekerjaan Galian	361.149.144,00	60	235.712.817,00	58 hari
Pekerjaan Timbunan	21.205.897.551,00	367	17.923.332.663,00	333 hari

Kesimpulan

Berdasarkan analisa dan hasil penelitian pada pekerjaan galian dan timbunan Proyek Jalan Tol Gempol – Pandaan Tahap II Sta. 11+500 s.d. Sta. 13+060 dapat disimpulkan sebagai berikut:

Hasil akhir dengan Metode Branch and Bound diantaranya sebagai berikut, jumlah alat yang optimum digunakan untuk pekerjaan galian, yaitu 1 unit excavator Komatsu PC 200-8 MO, 1 unit dump truck FM 260-JD. Sedangkan jumlah alat yang optimum digunakan untuk pekerjaan timbunan 15 unit dump truck FM 260-JD, 2 unit bulldozer Komatsu D85ESS-2, 1 unit sheep foot roller SAKAI SV515TF dan 1 unit vibro roller Bomag BW 211D-3. Biaya pekerjaan galian sebelum optimasi adalah Rp. 361.149.144,00 dan biaya pekerjaan timbunan sebelum optimasi adalah Rp. 21.205.897.551,00. Sedangkan biaya pekerjaan galian setelah optimasi adalah Rp. 235.712.817,00, dan biaya pekerjaan timbunan sesudah optimasi adalah Rp. 17.923.332,663. Terdapat selisih sebesar Rp. 125.436.327 pada pekerjaan galian sebelum dan setelah optimasi, dan terdapat selisih sebesar Rp. 3.182.564.888 pada pekerjaan timbunan sebelum dan setelah optimasi. Waktu penyelesaian pekerjaan galian sebelum dilakukan optimasi adalah 60 hari dan 367 hari untuk pekerjaan timbunan. Sedangkan setelah dilakukannya optimasi waktu penyelesaian untuk pekerjaan galian adalah 58 hari dan 333 hari untuk pekerjaan timbunan. Terdapat selisih waktu 2 hari pada pekerjaan galian dan 34 hari untuk pekerjaan timbunan.

BIBLIOGRAFI

- Fatena Rostiyanti, Susy, 2008, *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*, Cetakan I, Edisi 2, Rineka Cipta, Jakarta. [Google Scholar](#)
- Eduardus Albert Winarto, 2017, “Optimasi Biaya dan Waktu Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Penggalian Tanah Menggunakan Metode Program Linear Integer”. Skripsi. Teknik Program Studi Teknik Sipil. Universitas Katolik Parahyangan. Bandung. [Google Scholar](#)
- Joern Meisser and Thanh-Ha Nguyen, “An Introduction to Spreadsheet Optimization Using Excel Solver”, Lancaster University. Bailrigg, England.
- Markiz, Nizar and Ahmad Jade, “An Integrated Expert System for Linear Scheduling Heavy Earthmoving Operations”, *Journal of Construction Engineering*, Vol. 2016, pp. 1 – 16.
- Qariatullalayah dan Retno Indryani, “Optimasi Biaya Penggunaan Alat Berat untuk Pekerjaan Pengangkutan dan Penimbunan pada Proyek Grand Island Surabaya dengan Program Linier”, *Jurnal Teknik Pomits*, Vol. 2 No. 1, C1 – C5, 2013. [Google Scholar](#)
- Tenrisukki T., Andi, 2003, *Pemindahan Tanah Mekanis : Seri Diklat Kuliah*, Gunadarma, Jakarta. [Google Scholar](#)
- Widi Hertono, dkk. 2014. “Integer Programming dengan Pendekatan Metode Branch And Bound Untuk Optimasi Sisa Material Besi (Waste) Pada Plat Lantai”. *Jurnal Matriks Teknik Sipil*, Vol. 2 No. 2, 2014. [Google Scholar](#)

Copyright holder:

Merdy Evalina Silaban, Ida Ayu Ari Angreni (2022)

First publication right:

Syntax Literate: Jurnal Ilmiah Indonesia

This article is licensed under:

