

Journal homepage: <http://jos-mrk.polinema.ac.id/> ISSN: 2722-9203 (media online/daring)

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PROYEK PEMBANGUNAN JALAN BARU PLANJAN BARON TEPUS KABUPATEN GUNUNG KIDUL STA. 0+000 – STA. 4+325

Andini Indah Permadani¹, Susapto², Sitti Safiatus Riskijah³

Mahasiswa Manajemen Rekayasa Konstruksi, Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang¹, Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang², Dosen Jurusan Teknik Sipil, Politeknik Negeri Malang³

Email: Andiniipr3@gmail.com¹, otpasus@yahoo.com², sitti.safiatus@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Dalam penggunaan alat berat harus dianalisa agar optimal dan mencapai biaya yang paling minimum tanpa mengabaikan target waktu. Metode yang digunakan untuk mendapatkan hasil optimum menggunakan metode program linear. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah siteplan, gambar cross section, master schedule, spesifikasi jenis alat berat dan harga. Semua data diproses untuk mendapatkan solusi optimum menggunakan metode simpleks program linear. Hasil optimasi kombinasi alat berat yang termurah pada pekerjaan galian di pilih alternatif 5 dengan biaya total Rp 25.193.453.479,- dengan komposisi 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1. Pada pekerjaan timbunan dipilih alternatif 5 dengan biaya total Rp 13.736.645.644,- dengan komposisi 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1. Pada pekerjaan lapis pondasi agregat di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 5.149.976.155,- dengan komposisi 6 unit DT1, 1 unit MG2, 1 unit VR1, 1 unit WT1. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-Base di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 4.811.320.796,- dengan komposisi 3 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-BC di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 4.442.805.938,- dengan komposisi 2 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 4.442.805.938,- dengan komposisi 2 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1.

Kata kunci : Alat berat, Optimasi, Kombinasi, Jalan

ABSTRACT

The use of heavy equipment must be analyzed so that it is optimal and achieves the minimum cost without neglecting the target time. The method used to obtain optimum results using linear programming method. The data needed in this study are siteplan, drawings cross sections, master schedule, specifications for types of heavy equipment and prices. All data is processed to obtain the optimum solution using the Simplex method of the Linear program. The results of the optimization of the cheapest combination of heavy equipment in the excavation work were chosen alternatif 5 with a total cost of Rp 25.193.453.479,- with a composition of 10 EXB1 units; 8 units of BD2, 7 units of EXC1, 6 units of DT1. In the embankment work, alternatif 5 was chosen with a total cost of Rp. 13.736.645.644,- with the composition of 4 units of EXC2, 10 units of DT1, 6 units of MG2, 1 unit of SFR1, 5 units of WT1. In the aggregate foundation layer work, alternatif 1 was chosen with a total cost of Rp. 5.149.976.155,- with a composition of 6 units of DT1, 1 unit of MG1, 1 unit of SFR1, 1 unit of WT1. In the AC-Base flexible pavement work, alternatif 1 is chosen with a total cost of Rp. 4.811.320.796,- with a composition of 3 units of DT1, 1 units of CO1, 1 unit of AD1, 1 unit of AP1, 1 unit of VR1, 1 unit of PTR1. In the AC-BC flexible pavement work, alternatif 1 is chosen with a total cost of Rp. 4.442.805.938,- with a composition of 2 units of DT1, 1 units of CO1, 1 unit of AD1, 1 unit of AP1, 1 unit of VR1, 1 unit of PTR1. In the AC-WC flexible pavement work, alternatif 1 is chosen with a total cost of Rp. 4.442.805.938,- with a composition of 2 units of DT1, 1 unit of CO1, 1 unit of AD1, 1 unit of AP1, 1 unit of VR1, 1 unit of PTR1.

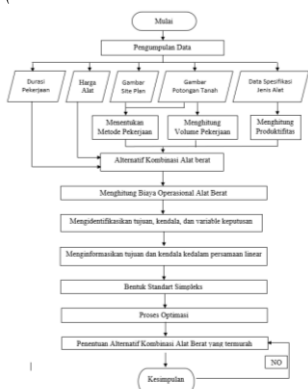
Keywords : Heavy Equipment, Optimization, Combination, Roa[d

1. PENDAHULUAN

Pada dasarnya semua proyek memiliki tujuan yang sama, yaitu menghasilkan keuntungan yang maksimal, mengeluarkan biaya yang seminimal mungkin, namun sesuai dengan kualitas yang direncanakan, dan proyek tersebut dapat diselesaikan tepat waktu dengan metode pelaksanaan yang efisien dan efektif. Penggunaan peralatan yang kurang optimal hanya akan membuat biaya dari pekerjaan bertambah besar dan juga keterlambatan penyelesaian proyek dapat terjadi, sehingga membuat pekerjaan konstruksi mengeluarkan biaya yang tidak seharusnya dikeluarkan. Untuk itu perlu adanya pengoptimasian alat berat pada Proyek Pembangunan Jalan Baru Planjan Baron Tepus untuk membantu mengatur dan merencanakan sistem pengoperasian alat berat yang akan digunakan pada lapangan secara optimal, agar prinsip-prinsip pada proyek yang meliputi biaya, mutu, dan waktu dapat terwujud sesuai dengan apa yang diinginkan.

2. METODE.

Diagram alir dalam tahapan menghitung optimasi alat berat pekerjaan Pembangunan Jalan Baru Palnjan Baron Tepus Kabupaten Gunung Kidul, terdapat di **gambar 1**. Di dalam proses analisis, diperlukan data-data sekunder sebagai penunjang yang meliputi data site plan, data cross section pada proyek ini, harga sewa alat berat, harga bahan bakar dan upah, jenis dan spesifikasi alat berat. Setelah data diperoleh, selanjutnya membentuk Work Breakdown Structure (WBS), lalu menyusun metode kerja pada masing-masing jenis pekerjaan, menghitung volume pekerjaan berdasarkan data cross section, menentukan jenis alat berat yang dibutuhkan pada masing-masing jenis pekerjaan serta perhitungan dari produktivitas, menentukan alternatif kombinasi alat berat, menghitung biaya sewa operasional pada masing-masing unit, lalu dioptimasi menggunakan tabel simpkes dengan bantuan aplikasi LINDO (*Linier Interactive Descrete Optimizer*).



Gambar 1. Diagram Alir Optimasi Alat Berat
Sumber: Hasil Analisis

3. ANALISIS DAN PEMBAHASAN

PERHITUNGAN VOLUME PEKERJAAN

Dalam pelaksanaan pekerjaan Pembangunan Jalan Baru Planjan Baron Tepus, harus memperhitungkan volume pekerjaan pada setiap masing-masing item pekerjaan. Hasil dari perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat di dalam **tabel 1**.

Tabel 1. Rekap Volume Pekerjaan Galian dan Perkerasan Lentur Sta 0+000 s/d Sta 4+325

Pekerjaan	Volume Asli (m3/Ton)	Volume Lepas (m3)	Volume padat (m3)
Galian	442,616.82	752,448.59	
Timbunan	364,853.17	279,622.42	215,094.17
LPA	11,677.50		
AC- Base	5,968.50		
AC-BC	4,476.38		
AC-WC	2,984.25		

Sumber : Hasil Perhitungan

JENIS DAN TIPE ALAT BERAT YANG DIGUNAKAN

Pekerjaan Pembangunan Jalan Baru ini memerlukan alat berat yang sesuai ketentuan gambar kerja sehingga ditentukan unit alat berat seperti pada Tabel 2.

Tabel 2. Jenis dan Tipe Alat yang di gunakan pada pekerjaan Proyek Pembangunan Jalan Baru ini

Unit	Tipe Alat Berat
EXB1	Excavator Tipe Caterpillar 320D2
EXC1	Excavator Komatsu PC-200-8
EXC2	Excavator Tipe Liugong 922E
BD1	Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3
BD2	Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle Dozer
DT1	Dump Truck Tipe Hino Dutro
DT2	Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX
MG1	Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K
MG2	Motor Grader Tipe Mitsubishi MG330 Water Tank
WT1	Truck Mitsubishi 125 HD
VR1	Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200
CO1	Air Compressor Airman PDS 185 S
AD1	Asphalt Distributor Diamond
AP1	Asphalt Paver Ammann AFT350E
PTR1	Pneumatic Tire Roller Sakai TS150

Sumber : Hasil Analisa

Untuk alur pergerakan dari masing-masing alat berat tersebut adalah sebagai berikut:

1. Pekerjaan Galian

- Excavator dengan breaker sebagai alat penggali yang melonggarkan dan menghancurkan batuan dan

- *excavator* sebagai alat pengangkut sisa pekerjaan galian ke dalam *dump truck*.
 - *Bulldozer* sebagai alat untuk mengumpulkan material hasil galian.
 - *Dump truck* sebagai alat pengangkut material galian
2. Pekerjaan Timbunan
- *Excavator* sebagai alat pengangkut material di lokasi *quarry* kedalam *dump truck*.
 - *Dump truck* sebagai alat pengangkut material galian ke lokasi penimbunan
 - *Motor Grader* sebagai alat penghampar tanah timbunan
 - *Vibro Roller* sebagai alat pemadat material
 - *Water Tank Truck* sebagai alat penyiraman tanah timbunan
3. Pekerjaan Lapis Pondasi Agregat kelas A
- *Dump Truck* sebagai alat pengangkut material beton kering
 - *Motor Grader* sebagai alat menghamparkan material
 - *Vibro Roller* sebagai alat pemadat material
 - *Water Tank Truck* sebagai alat penyiraman material
4. Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-Base
- *Dump Truck* sebagai alat pengangkut material
 - *Compressor* sebagai alat untuk membersihkan lokasi dari debu
 - *Asphalt Distributor* sebagai alat untuk menyemprotkan aspal cair atau *prime coat*
 - *Asphalt Finisher* atau *Asphalt Paver* sebagai Alat menghamparkan campuran aspal
 - *Vibro Roller* sebagai alat untuk pemadatan awal
 - *Pneumatic Tire Roller* sebagai alat untuk pemadatan kedua
5. Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-BC
- *Dump Truck* sebagai alat pengangkut material
 - *Compressor* sebagai alat untuk membersihkan lokasi dari debu
 - *Asphalt Distributor* sebagai alat untuk menyemprotkan aspal cair atau *prime coat*
 - *Asphalt Finisher* atau *Asphalt Paver* sebagai Alat menghamparkan campuran aspal
 - *Vibro Roller* sebagai alat untuk pemadatan awal
 - *Pneumatic Tire Roller* sebagai alat untuk pemadatan kedua
6. Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC
- *Dump Truck* sebagai alat pengangkut material
 - *Compressor* sebagai alat untuk membersihkan lokasi dari debu
 - *Asphalt Distributor* sebagai alat untuk menyemprotkan aspal cair atau *prime coat*
 - *Asphalt Finisher* atau *Asphalt Paver* sebagai Alat menghamparkan campuran aspal

- *Vibro Roller* sebagai alat untuk pemadatan awal
- *Pneumatic Tire Roller* sebagai alat untuk pemadatan kedua

PERHITUNGAN PRODUKTIFITAS ALAT BERAT
 Sesuai dengan rumus yang mengacu pada Permen PUPR No28, Thn 2016, sehingga hasil dari perhitungan produktifitas alat berat dapat dilihat pada **Tabel 3**.

Tabel 3. Rekap Produktivitas Alat Berat

Pekerjaan	Alat Berat	kaprod (M3/Jam)
Galian	Excavator Tipe Caterpillar 320	15.00
	Excavator Komatsu PC-200-8	128.18
	Excavator Tipe Liugong 922E	169.97
	Bulldozer Tipe Zoomlion ZD	100.79
	Bulldozer Tipe Komatsu D85	100.79
	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	32.18
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	29.36
Timbunan	Excavator Komatsu PC-200-8	100.79
	Excavator Tipe Liugong 922E	100.79
	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	32.18
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	29.36
	Motor Grader Tipe Caterpillar	53.82
	Motor Grader Tipe Mitsubishi	58.12
	Vibro Roller Tipe Ammann	332.00
Lapis Pondasi Agregat Kelas A	<i>Water Tank Truck</i> Mitsubishi	71,14
	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	2.17
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	1.98
	Motor Grader Tipe Caterpillar	40.36
	Motor Grader Tipe Mitsubishi	58.12
	Roller Tipe Ammann	338.64
	<i>Water Tank Truck</i> Mitsubishi	71.14
AC-BASE	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	1.50
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	1.37
	Aspalt Paver Aman AFT350E	46.69
	Aspalt Distributor Diamond	4980
	Air Compressor AIRMAN PDS	9.96
	Vibro Roller Tipe Ammann	101.59
	Pneumatic Tire Roller Sakai	61.94
AC-BC	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	2.17
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	1.98
	Aspalt Paver Aman AFT350E	51.54
	Aspalt Distributor Diamond	4980
	Air Compressor AIRMAN PDS	9.96
	Vibro Roller Tipe Ammann	101.59
	Pneumatic Tire Roller Sakai	60.69
AC-WC	<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	2.17
	<i>Dump Truck</i> Tipe Mitsubishi	1.98
	Aspalt Paver Amman AFT350	51.54

Asphalt Distributor Diamond	4980
Air Compressor AIRMAN PDS	9.96
Vibro Roller Tipe Ammann	135.46
Pneumatic Tire Roller Sakai	60.69

Sumber : Hasil Perhitungan

Sumber : Hasil Perhitungan

PERHITUNGAN BIAYA SEWA DAN OPERASIONAL
Setiap jenis alat berat memiliki biaya sewa dan operasional serta biaya mobilisasi dalam penggunaan di lapangan sehingga perlu diperhitungkan. Hasil dari perhitungan biaya sewa dan operasional alat berat dapat dilihat di dalam **Tabel 4**.

Tabel 4. Rekap Biaya Sewa dan Operasional

Unit Alat	Harga	Biaya
	Operasional/Jam	Mobilisasi
EXB1	Rp. 891,499.59	Rp. 7,500,000
EXC1	Rp. 897,720.40	Rp. 10,000,000
EXC2	Rp. 943,178.27	Rp. 10,000,000
BD1	Rp. 523,143.45	Rp. 5,000,000
BD2	Rp. 559,375.26	Rp. 5,000,000
DT1	Rp. 771,567.61	Rp. 5,000,000
DT2	Rp. 767,997.51	Rp. 2,500,000
MG1	Rp. 518,783.84	Rp. 2,500,000
MG2	Rp. 543,442.12	Rp. 2,500,000
WT1	Rp. 550,556.53	Rp. 150,000
VR1	Rp. 473,696.73	Rp. 150,000
CO1	Rp. 434,005.94	Rp. 1,500,000
AD1	Rp. 801,910.44	Rp. 1,500,000
AP1	Rp. 322,953.12	Rp. 850,000
PTR1	Rp. 576,964.91	Rp. 2,500,000

Sumber : Hasil Perhitungan

Menentukan Alternatif Kombinasi Alat Berat

Alternatif kombinasi alat berat dipilih berdasarkan seluruh jenis alat berat dan tipe dari spesifikasi alat berat yang berbeda menurut Katalog Alat Berat 2013 Kementerian Pekerjaan Umum yang direncanakan dalam proses optimasi pemilihan alat berat yang efektif dan efisien dalam Proyek Pembangunan Jalan Baru ini. Hal ini berdasarkan volume dari pekerjaan yang besar, luas area proyek yang terbatas, dan faktor ketergantungan dari masing-masing alat berat pada setiap jenis pekerjaan. Penentuan alternatif kombinasi alat berat dapat dilihat di dalam **Tabel 5-Tabel 10**.

Tabel 5. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Exca Breaker	EXB1	EXB1	EXB1	EXB1	EXB1	EXB1	EXB1	XB1
2	Bulldozer	DB1	DB1	DB1	DB1	DB2	DB2	DB2	DB2
3	Excavator	EXC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC1	EXC1	EXC2	EXC2
4	Dumptruck	DT1	DT2	DT1	DT2	DT1	DT2	DT1	DT2

Tabel 6. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi							
		1	2	3	4	5	6	7	8
1	Excavator	EXC1	EXC1	EXC2	EXC2	EXC1	EXC1	EXC2	EXC2
2	DT	DT1	DT1	DT1	DT1	DT1	DT1	DT1	DT1
3	Grader	MG1	MG1	MG1	MG1	DT1	MG2	MG2	MG2
4	Vibro Roller	VR1	VR1	VR1	VR1	MG2	VR1	VR1	VR1
5	Water Tank	WT1	WT1	WT1	WT1	WT1	WT1	WT1	WT1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 7. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Lapis Pondasi Agregat Kelas A

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi			
		1	2	3	4
1	Dumptruck	DT1	DT2	DT1	DT2
2	Motor Grader	MG1	MG1	MG2	MG2
3	Vibro Roller	VR1	VR1	VR1	VR1
4	Water Tank	WT1	WT1	WT1	WT1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 8. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-Base

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi	
		1	2
1	Dumptruck	DT1	DT2
2	Air Compressor	CO1	CO1
3	Asphalt Distributor	AD1	AD1
4	Asphalt Paver	AP1	AP1
5	Vibro Roller	VR1	VR1
6	Pneumatic Tire Roller	PTR1	PTR1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 9. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-BC

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi	
		1	2
1	Dumptruck	DT1	DT2
2	Air Compressor	CO1	CO1
3	Asphalt Distributor	AD1	AD1
4	Asphalt Paver	AP1	AP1
5	Vibro Roller	VR1	VR1
6	Pneumatic Tire Roller	PTR1	PTR1

Sumber : Hasil Perhitungan

Tabel 10. Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC

No	Alat Berat	Alternatif Kombinasi	
		1	2
1	Dumptruck	DT1	DT2
2	Air Compressor	CO1	CO1
3	Asphalt Distributor	AD1	AD1
4	Asphalt Paver	AP1	AP1

5	Vibro Roller	VR1	VR1
6	Pneumatic Tire Roller	PTR1	PTR1

Sumber : Hasil Perhitungan

PROSES OPTIMASI MENGGUNAKAN PROGRAM LINIER METODE SIMPLEKS

Setelah terjabarkan volume pekerjaan, produktivitas alat berat, alternatif kombinasi, biaya sewa dan operasional, lalu masuk ke langkah proses optimasi yang harus menjabarkan masing-masing kendala. Setelah itu masuk ke langkah proses optimasi menggunakan aplikasi LINDO (*Linier Interactive Descrete Optimizer*). Berikut ini adalah hasil optimasi dengan alternatif penggunaan alat berat yang optimal :

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian

1. Penentuan Variabel Keputusan
 Pada pekerjaan ini telah ditentukan variabel keputusannya sebagai berikut:
 X1 = Jumlah unit Excavator Breaker (EXB1)
 X2 = Jumlah unit Bulldozer (BD1)
 X3 = Jumlah unit Excavator (EXC1)
 X4 = Jumlah unit Dump Truck (DT1)

2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z \text{ min} = C1X1 + C2X2 + C3X3 + C4X4$

Keterangan:

C1 = Biaya Operasional Exca Breaker (EXB1)
 = Rp 897.720

C2 = Biaya Operasional Bulldozer Zoomlion (BD1)
 = Rp 771.567

C3 = Biaya Operasional Excavator Liugong (EXC1)
 = Rp. 897.720

C4 = Biaya Operasional Dump Truck Hino (DT1)
 = Rp 523.143

3. Penentuan Fungsi Kendala

a. Kendala Volume

Volume Pekerjaan = 752.448,59 m³/jam, dengan durasi Pekerjaan = 1.022 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 736,25 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:

- Produktivitas alat berat Excavator Tipe Caterpillar 320D2 = 15 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 15,00 X1 ≥ 736,25
- Produktivitas alat berat Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3 = 128,12 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 128,12 X2 ≥ 736,25

- Produktivitas alat berat Excavator Tipe Liugong 922E = 100,79 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 100,79 X3 ≥ 736,25
- Produktivitas alat berat Dump Truck Tipe Hino Dutro = 32,18 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 32,18 X4 ≥ 736,2

b. Kendala Luas Area

$$590X_1 + 170X_2 + 602X_3 + 131X_4 \leq 173000$$

$$18,760 \quad X_1 \leq 40$$

$$6,630 \quad X_2 \leq 40$$

$$19,14 \quad X_3 \leq 40$$

$$4,96 \quad X_4 \leq 40$$

c. Kendala ketergantungan alat

Diketahui bahwa perbandingan dengan 6,0 EXB1; 0,30 BD1; 0,11 EXC1 ; 0,20 DT1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.

Dengan perbandingan 6 : 1 : 1 : 1, sehingga:

$$1EXB1 - 6BD1 = 0$$

$$1BD1 - 1EXC1 = 0$$

$$1EXC1 - 1DT1 = 0$$

4. Kendala Ketidaknegatifan

$$1X1 - 3X2 \geq 0$$

$$1X2 - 1X3 \geq 0$$

$$1X3 - 1X4 \geq 0$$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.2338082E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	9.656873	0.000000
X2	7.339747	0.000000
X3	6.922245	0.000000
X4	5.174292	0.000000

Gambar 2 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Galian
 Sumber: Dokumen Pribadi

- Excavator Caterpillar 320D2 : 9.65 ≈ 10 unit
 - Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3 : 7.33 ≈ 8 unit
 - Excavator Tipe Liugong 922E : 6.92 ≈ 7 unit
 - Dump Truck Tipe Hino DUTRO : 5.17 ≈ 6 unit
- Z min = 8971.500 X1 + 771.567 X2 + 897.720 X3 + 523.143X4
- Z min = 897.720 (10) + 771.567 (8) + 897.720 (7) + 523.143(6)
- = Rp. 24.510,440,-

Tabel 11. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan Galian

PEKERJAAN GALIAN				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam

Alt 1	EXB 1	891,500	10.00	24,510,440
	BD 1	771,568	8.00	
	EXC 1	897,720	7.00	
	DT 1	523,143	6.00	
Alt 2	EXB 1	891,500	10.00	24,727,831
	BD 1	771,568	8.00	
	EXC 1	897,720	7.00	
	DT 2	559,375	6.00	
Alt 3	EXB 1	891,500	10.00	24,828,645
	BD 1	771,568	8.00	
	EXC 2	943,178	7.00	
	DT 1	523,143	6.00	
Alt 4	EXB 1	891,500	10.00	25,046,036
	BD 1	771,568	8.00	
	EXC 2	943,178	7.00	
	DT 2	559,375	6.00	
Alt 5	EXB 1	891,500	10.00	24,481,880
	BD 2	767,998	8.00	
	EXC 1	897,720	7.00	
	DT 1	523,143	6.00	
Alt 6	EXB 1	891,500	10.00	24,699,270
	BD 2	767,998	8.00	
	EXC 1	897,720	7.00	
	DT 2	559,375	6.00	
Alt 7	EXB 1	891,500	10.00	24,800,085
	BD 2	767,998	8.00	
	EXC 1	897,720	7.00	
	DT 1	523,143	6.00	
Alt 8	EXB 1	891,500	10.00	25,017,475
	BD 2	767,998	8.00	
	EXC 2	943,178	7.00	
	DT 2	559,375	6.00	

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Timbunan

1. Penentuan Variabel Keputusan

- X1 = Jumlah unit Excavator Tipe Liugong 922E
- X2 = Jumlah unit Dump Truck Tipe Hino Dutro
- X3 = Jumlah unit Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K
- X4 = Jumlah unit Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200
- X5 = Jumlah unit Water Tank Truck Mitsubishi 125HD

2. Penentuan Fungsi Tujuan

$$Z \text{ min} = C1X1 + C2X2 + C3X3 + C4X4 + C5X5$$

Keterangan:

- C1 = Biaya Operasional Excavator Liugong (EXC1)
= Rp 897.720
- C2 = Biaya Operasional Dump Truck Hino Dutro (DT1)
= Rp 523.143
- C3 = Biaya Operasional Motor Grader Caterpillar (MG1)
= Rp 518.783
- C4 = Biaya Operasional Vibro Roller Ammann (VR1)
= Rp 801.910
- C5 = Biaya Operasional Water Tank Mitsubishi (WT1)
= Rp 550.556

3. Penentuan Fungsi Kendala

a. Kendala volume

Volume Pekerjaan = 279.622,42 m³/jam, dengan durasi Pekerjaan = 871,67 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 320,79 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:

- produktivitas alat berat Excavator Tipe Liugong 922E = 100,79 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 100,79 X1 ≥ 320,79
- Produktivitas alat berat Dump Truck Tipe Hino Dutro = 32,18 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 132,18 X2 ≥ 320,79
- Produktivitas alat berat Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K = 53,82 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 53,82 X3 ≥ 320,79
- Produktivitas alat berat Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 = 332 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 332 X3 ≥ 320,79
- Produktivitas alat berat Water Tank Truck Tipe Mitsubishi 125HD = 71,14 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: 71,14 X3 ≥ 320,79

b. Kendala Luas Area

$$602X1 + 132X2 + 164X3 + 129X4 + 53X5 \leq 173000$$

$$18,760 \quad X1 \quad \leq 40$$

$$6,630 \quad X2 \quad \leq 40$$

$$19,14 \quad X3 \quad \leq 40$$

$$4,96 \quad X4 \quad \leq 40$$

c. Kendala Ketergantungan alat

Diketahui bahwa perbandingan dengan 2 EXC1; 0,26 BT1; 0,25 MG1 ; 0,39 VR1 ; 0,17 WT1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.

Dengan perbandingan 2 : 1 : 1 : 1 : 1, sehingga:

$$2 \text{ EXC1} - 1 \text{ DT1} = 0$$

$$1 \text{ DT1} - 1 \text{ MG1} = 0$$

$$1 \text{ MG1} - 1 \text{ VR1} = 0$$

$$1 \text{ VR1} - 1 \text{ WT1} = 0$$

4. Kendala Ketidaknegatifan

$$2 \text{ X1} - 1 \text{ X2} = 0$$

$$1 \text{ X2} - 1 \text{ X3} = 0$$

$$1 \text{ X3} - 1 \text{ X4} = 0$$

$$1 \text{ X4} - 1 \text{ X5} = 0$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 5

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 0.1442186E+08

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	3.182756	0.000000
X2	9.968614	0.000000
X3	5.960423	0.000000
X4	0.966235	0.000000
X5	4.509277	0.000000

Gambar 3 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Timbunan
Sumber: Dokumen Pribadi

Excavator Tipe Liugong 922E : 3.182756 ≈ 4 unit
 Dump Truck Tipe Hino Dutro : 9.968614 ≈ 10 unit
 Motor Grader Tipe Caterpillar 120 : 5.960423 ≈ 6 unit
 Sheep Foot Roller Tipe Ammann : 0.966235 ≈ 1 unit
 Water Tank Truck Mitsubishi : 4.509277 ≈ 5 unit
 $Z \text{ min} = 897.720 X1 + 523.143 X2 + 518.783 X3 + 801.910 X4 + 550.556 X5$
 $Z \text{ min} = 897.720 (4) + 523.143 (10) + 518.783 (6) + 801.910 (1) + 550.556 (4)$
 = Rp. 15.489.712,-

Tabel 12. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan Timbunan

PEKERJAAN TIMBUNAN				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam
Alt 1	EXC 1	897,720	4.00	15,489,712
	DT 1	523,143	10.00	
	MG 1	518,784	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	
Alt 2	EXC 1	897,720	4.00	16,411,406
	DT 2	559,375	11.00	
	MG 2	518,784	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	
Alt 3	EXC 2	943,178	4.00	15,671,544
	DT 1	523,143	10.00	
	MG 1	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	
Alt 4	EXC 2	943,178	4.00	16,033,862
	DT 2	559,375	10.00	
	MG 1	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	
Alt 5	EXC 1	897,720	4.00	15,637,662
	DT 1	559,375	10.00	
	MG 2	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	

Alt 6	EXC 1	897,720	4.00	16,559,355
	DT 2	559,375	11.00	
	MG 2	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
Alt 7	WT 1	550,556	5.00	15,819,493
	EXC 2	943,178	4.00	
	DT 1	559,375	10.00	
	MG 2	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
Alt 8	WT 1	550,556	5.00	16,741,187
	EXC 2	943,178	4.00	
	DT 2	559,375	11.00	
	MG 2	543,442	6.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	WT 1	550,556	5.00	

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Lapis Pondasi Agregat Kelas A

- Penentuan Variabel Keputusan
 $X1$ = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Hino Dutro
 $X2$ = Jumlah unit Motor Grader Caterpillar 120 K
 $X3$ = Jumlah unit Vibro Roller Ammann ASC-200
 $X4$ = Jumlah unit *Water Tank Truck* Mitsubishi 125HD
- Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z \text{ min} = C1X1 + C2X2 + C3X3 + C4X4$
 Di mana:
 $C1$ = Biaya Operasional *Dump Truck* Hino (DT1) = Rp. 523.143
 $C2$ = Biaya Operasional Grader Caterpillar (MG1) = Rp. 518.783
 $C3$ = Biaya Operasional Vibro Roller (SFR1) = Rp. 801.910
 $C4$ = Biaya Operasional *Water Tank Truck* (WT1) = Rp. 550.556
- Penentuan Fungsi Kendala
 - Kendala volume
 $\text{Volume Pekerjaan} = 11.677,5 \text{ m}^3/\text{jam}$, dengan durasi Pekerjaan = 1.022 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 11,44 m^3/jam . Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:
 - Produktivitas alat berat *Dump Truck* Tipe Hino Dutro = 2,17 m^3/jam , maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $2,17 X1 \geq 11,44$
 - Produktivitas alat berat Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K = 40,36 m^3/jam , maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $40,36 X2 \geq 11,44$
 - Produktivitas alat berat Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 = 338,64 m^3/jam , maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $338,64 X3 \geq 11,44$

- Produktivitas alat berat Water Tank Truck Tipe Mitsubishi 125HD = 71,14 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $71,14 X_4 \geq 11,44$
- b. Kendala luas area
 $40X_1 + 50X_2 + 39X_3 + 16X_4 \leq 51900$
 $4,96 X_1 \leq 12$
 $4,95 X_2 \leq 12$
 $5,10 X_3 \leq 12$
 $4,20 X_4 \leq 12$
- c. Kendala ketergantungan alat
 Diketahui bahwa perbandingan dengan 0,24 DT1; 2 MG1; 0,24 VR1 ; 0,13 WT1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.
 Dengan perbandingan 112 : 6 : 1 : 4, sehingga:
 $6 DT1 - 112 MG1 = 0$
 $1 BD1 - 6 VR1 = 0$
 $4 VR1 - 1 WT1 = 0$
- 4. Kendala Ketidaknegatifan
 $6 X_1 - 112 X_2 \geq 0$
 $1 X_2 - 6 X_3 \geq 0$
 $4 X_3 - 1 X_4 \geq 0$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1) 3024027.

VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	5.278387	0.000000
X2	0.283449	0.000000
X3	0.033782	0.000000
X4	0.160810	0.000000

Gambar 4 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan LPA

Sumber: Dokumen Pribadi

Dump Truck Tipe Hino Dutro : 5.278387 ≈ 6 unit
 Motor Grader Tipe Caterpillar : 0.283449 ≈ 1 unit
 Vibro Roller Tipe Ammann : 0,033782 ≈ 1 unit
 Water Tank Truck Mitsubishi : 0,160810 ≈ 1 unit
 $Z_{min} = 523.143X_1 + 518.783X_2 + 801.910X_3 + 550.556X_4$
 $Z_{min} = 523.143(6) + 518.783(1) + 801.910(1) + 550.556(1)$
 $= Rp. 5.010.111,-$

Tabel 13. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan LPA

PEKERJAAN LPA				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam
Alt 1	DT 1	523,143	6,00	5,010,112
	MG 1	518,784	1,00	

Alt 2	VR 1	801,910	1,00	5,227,502
	WT 1	550,556	1,00	
	DT 2	559,375	6,00	
	MG 1	518,784	1,00	
Alt 3	VR 1	801,910	1,00	5,034,770
	WT 1	550,556	1,00	
	DT 1	523,143	6,00	
	MG 2	543,442	1,00	
Alt 4	VR 1	801,910	1,00	5,252,161
	WT 1	550,556	1,00	
	DT 2	559,375	6,00	
	MG 2	543,442	1,00	

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-Base

1. Penentuan Variabel Keputusan
 X_1 = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Hino Dutro
 X_2 = Jumlah unit Motor Grader Tipe Caterpillar
 X_3 = Jumlah unit Vibro Roller Tipe Ammann
 X_4 = Jumlah unit Water Tank *Truck* Mitsubishi
2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z_{min} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4$
 Di mana:
 C_1 = Biaya Operasional Dump Truck Hino (DT1) = Rp. 523.143
 C_2 = Biaya Operasional Grader Caterpillar (MG1) = Rp. 518.783
 C_3 = Biaya Operasional Vibro Roller Amann (SFR1) = Rp. 801.910
 C_4 = Biaya Operasional Water Tank (WT1) = Rp. 550.556
3. Penentuan Fungsi Kendala
 - a. Kendala Volume
 Volume Pekerjaan = 11.667,5 m³/jam, dengan durasi Pekerjaan = 1.022 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 11,44 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:
 - Produktivitas alat berat *Dump Truck* Tipe Hino Dutro = 2,17 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $2,17 X_1 \geq 11,44$
 - Produktivitas alat berat Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K = 40,36 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $40,36 X_2 \geq 11,44$
 - Produktivitas alat berat Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 = 338,64 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $338,64 X_3 \geq 11,44$

- Produktivitas alat berat Water Tank Truck Tipe Mitsubishi 125HD = 71,14 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $71,14 X4 \geq 11,44$
- b. Kendala Luas Area
 $40X1 + 50X2 + 39X3 + 16X4 \leq 51900$
 $4,96 X1 \leq 12$
 $4,95 X2 \leq 12$
 $5,10 X3 \leq 12$
 $4,20 X4 \leq 12$
- c. Kendala ketergantungan alat
 Diketahui bahwa perbandingan dengan 0,24 DT1; 2 MG1; 0,24 VR1 ; 0,13 WT1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.
 Dengan perbandingan 112 : 6 : 1 : 4, sehingga:
 $6 DT1 - 112 MG1 = 0$
 $1 BD1 - 6 VR1 = 0$
 $4 VR1 - 1 WT1 = 0$
- 4. Kendala Kenegatifan
 $6 X1 - 112 X2 \geq 0$
 $1 X2 - 6 X3 \geq 0$
 $4 X3 - 1 X4 \geq 0$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1)	1989632.	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	2.817367	0.000000
X2	0.108071	0.000000
X3	0.001118	0.000000
X4	0.559237	0.000000
X5	0.054828	0.000000
X6	0.091778	0.000000

Gambar 5 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan AC Base
 Sumber: Dokumen Pribadi

- Dump Truck Tipe Hino Dutro : 2.817367 ≈ 3 unit
- Air Compressor Airman PDS185S : 0.108071 ≈ 1 unit
- Asphalt Distributor Diamond : 0.001118 ≈ 1 unit
- Asphalt Paver Ammann AFT350E : 0.559237 ≈ 1 unit
- Vibro Roller Ammann ASC-200 : 0.054828 ≈ 1 unit
- Pneumatic Tire Roller Sakai : 0.091778 ≈ 1 unit

$$Z \text{ min} = 523.143 X1 + 473.696 X2 + 576.964 X3 + 473.696 X4 + 801.910 X5 + 576.964 X6$$

$$Z \text{ min} = 523.143 (3) + 473.696 (1) + 576.964 (1) + 473.696 (1) + 801.910 (1) + 576.964 (1)$$

$$= \text{Rp } 4.581.359,-$$

Tabel 14. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan AC Base

PEKERJAAN AC Base				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam
Alt 1	DT 1	523,143	3.00	4,472,664.07
	CO 1	322,953	1.00	
	AD 1	434,006	1.00	
	AP 1	473.697	1.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	PTR 1	576,965	1.00	
Alt 2	DT 2	559,375	3.00	4,581,359.51
	CO 1	322,953	6.00	
	AD 1	434,006	1.00	
	AP 1	473.697	1.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	PTR 1	576,965	1.00	

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-BC

1. Penentuan Variabel Keputusan
 Variabel yang dibentuk adalah:
 X1 = Jumlah unit Dump Truck Tipe Hino Dutro
 X2 = Jumlah unit Air Compressor AIRMAN 185
 X3 = Jumlah unit Asphalt Distributor Diamond
 X4 = Jumlah unit Asphalt Paver Ammann AFT350E
 X5 = Jumlah unit Vibro Roller Ammann ASC-200
 X6 = Jumlah unit Pneumatic Tire Roller Sakai
2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z \text{ min} = C1X1 + C2X2 + C3X3 + C4X4 + C5X5 + C6X6$
 Di mana:
 C1 = Biaya Operasional Dump Truck (DT1) = Rp. 523.143
 C2 = Biaya Operasional Air Compressor (CO1) = Rp. 473.696
 C3 = Biaya Operasional Asphalt Distributor (AD1) = Rp. 576.964
 C4 = Biaya Operasional Asphalt Paver (AP1) = Rp. 473.696
 C5 = Biaya Operasional Vibro Roller = Rp. 801.910
 C6 = Biaya Operasional Pneumatic Tire Roller (PTR1) = Rp. 576.964
3. Penentuan Fungsi Kendala
 a. Kendala volume
 Volume Pekerjaan = 4.476,38 m³/jam, dengan durasi Pekerjaan = 1.121 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 3,99 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:

- Produktivitas alat berat *Dump Truck* Tipe Hino Dutro = 7,43 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $7,43 X1 \geq 3,99$
- Produktivitas alat berat Air Compressor AIRMAN PDS 185 S = 51,54 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $51,54 X2 \geq 3,99$
- Produktivitas alat berat Asphalt Distributor Diamond = 4.980 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $4.980 X3 \geq 3,99$
- Produktivitas alat berat Asphalt Paver Ammann AFT350E = 9,96 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $9,96 X4 \geq 3,99$
- Produktivitas alat berat Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 = 101,59 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $101,59 X5 \geq 3,99$
- Produktivitas alat berat Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 = 60,69 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $60,69 X6 \geq 53,99$

b. Kendala Luas Area

$$25X1 + 22X2 + 19X3 + 50X4 + 24X5 + 18X6 \leq 51900$$

$$4,96 X1 \leq 7,5$$

$$1,65 X2 \leq 7,5$$

$$1,52 X3 \leq 7,5$$

$$3,50 X4 \leq 7,5$$

$$5,10 X5 \leq 7,5$$

$$4,65 X6 \leq 7,5$$

c. Kendala ketergantungan alat

Diketahui bahwa perbandingan dengan 1,34 DT1; 0,19 CO1; 0,001 AD1 ; 1 AP1; 0,10 VR1; 0,16 PTR1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.

Dengan perbandingan 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1, sehingga:

$$1 DT1 - 1 CO1 = 0$$

$$1 CO1 - 1 AD1 = 0$$

$$1 AD1 - 1 AP1 = 0$$

$$1 AP1 - 1 VR1 = 0$$

$$1 VR1 - 1 PTR1 = 0$$

4. Kendala Ketidaknegatifan

$$1 X1 - 1 X2 \geq 0$$

$$1 X2 - 1 X3 \geq 0$$

$$1 X3 - 1 X4 \geq 0$$

$$1 X4 - 1 X5 \geq 0$$

$$1 X5 - 1 X6 \geq 0$$

OBJECTIVE FUNCTION VALUE

1)	1087369.	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.841042	0.000000
X2	0.077416	0.000000
X3	0.000801	0.000000
X4	0.400602	0.000000
X5	0.039276	0.000000
X6	0.065744	0.000000

Gambar 6 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan AC BC
Sumber: Dokumen Pribadi

<i>Dump Truck</i> Tipe Hino Dutro	: 1.841042 ≈ 2 unit
<i>Air Compressor</i> Airman PDS185S	: 0.400602 ≈ 1 unit
<i>Asphalt Distributor</i> Diamond	: 0.400602 ≈ 1 unit
<i>Asphalt Paver</i> Ammann AFT350E	: 0.400602 ≈ 1 unit
<i>Vibro Roller</i> Ammann ASC-200	: 0.065744 ≈ 1 unit
<i>Pneumatic Tire Roller</i> Sakai TS150	: 0.065744 ≈ 1 unit
Z min	= 523.143 X1 + 322,953 X2 + 434,006 X3 + 473.696 X4 + 801.910 X5 + 576.964 X6
Z min	= 523.143 (2) + 322,953 (1) + 434,006 (1) + 473.696 (1) + 801.910 (1) + 576.964 (1) = Rp 3,426,377,-

Tabel 15. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan AC BC

PEKERJAAN AC BC				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam
Alt 1	DT 1	523,143	2.00	3,426,377.17
	CO 1	322,953	1.00	
	AD 1	434,006	1.00	
	AP 1	473,697	1.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	PTR 1	576,965	1.00	
Alt 2	DT 2	559,375	2.00	3,462,608.98
	CO 1	322,953	1.00	
	AD 1	434,006	1.00	
	AP 1	473,697	1.00	
	VR 1	801,910	1.00	
	PTR 1	576,965	1.00	

Optimasi Alternatif Kombinasi Alat Berat Pada Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC

1. Penentuan Variabel Keputusan
Variabel yang dibentuk adalah:

- X1 = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Hino Dutro
- X2 = Jumlah unit Air Compressor AIRMAN 185
- X3 = Jumlah unit Asphalt Distributor Diamond

- X4 = Jumlah unit Asphalt Paver Ammann AFT350E
 X5 = Jumlah unit Vibro Roller Ammann ASC-200
 X6 = Jumlah unit Pneumatic Tire Roller Sakai
2. Penentuan Fungsi Tujuan
 $Z \text{ min} = C1X1 + C2X2 + C3X3 + C4X4 + C5X5 + C6X6$
 Di mana:
 C1 = Biaya Operasional Dump Truck (DT1)
 = Rp. 523.143
 C2 = Biaya Operasional Air Compressor (CO1)
 = Rp. 473.696
 C3 = Biaya Operasional Asphalt Distributor (AD1)
 = Rp. 576.964
 C4 = Biaya Operasional Asphalt Paver (AP1)
 = Rp. 473.696
 C5 = Biaya Operasional Vibro Roller
 = Rp. 801.910
 C6 = Biaya Operasional Pneumatic Tire Roller (PTR1)
 = Rp. 576.964

3. Penentuan Fungsi Kendala

a. Kendala Volume

Volume Pekerjaan = 2.984,25 m³/jam, dengan durasi Pekerjaan = 1.071 jam, maka volume yang harus diselesaikan per jam yaitu: 2,66 m³/jam. Nilai tersebut akan menjadi nilai pembatas minimal terhadap hasil kerja alat berat tiap jam. Sehingga bentuk fungsi kendalanya, yaitu:

- Produktivitas alat berat *Dump Truck* Tipe Hino Dutro = 7,43 m³/jam, sehingga bentuk fungsi kendalanya: $7,43 X1 \geq 2,66$
- Produktivitas alat berat Air Compressor AIRMAN PDS 185 S = 51,54 m³/jam maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $54,62 X2 \geq 2,66$
- Produktivitas alat berat Asphalt Distributor Diamond = 4.980 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $4.980 X3 \geq 2,66$
- produktivitas alat berat Asphalt Paver Ammann AFT350E = 9,96 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $9,96 X4 \geq 2,66$
- Produktivitas alat berat Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 = 135,46 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $135,46 X5 \geq 2,66$
- Produktivitas alat berat Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 = 60,69 m³/jam, maka bentuk fungsi kendalanya adalah: $60,69 X6 \geq 2,66$

b. Kendala Luas Area

$$25X1 + 22X2 + 19X3 + 50X4 + 24X5 + 18X6 \leq 51900$$

4,96 $X1 \leq 7,5$
 1,65 $X2 \leq 7,5$

$$1,52 X3 \leq 7,5$$

$$3,50 X4 \leq 7,5$$

$$5,10 X5 \leq 7,5$$

$$4,65 X6 \leq 7,5$$

c. Kendala ketergantungan alat

Diketahui bahwa perbandingan dengan 1,34 DT1; 0,19 CO1; 0,001 AD1 ; 1 AP1; 0,07 VR1; 0,16 PTR1 adalah perbandingan dengan selisih pembulatan yang paling mendekati, maka ketergantungan alatnya adalah hasil pembulatan dari perbandingan tersebut.

Dengan perbandingan 1 : 1 : 1 : 1 : 1 : 1, sehingga:

$$2 DT1 - 1 CO1 = 0$$

$$1 CO1 - 1 AD1 = 0$$

$$1 AD1 - 1 AP1 = 0$$

$$1 AP1 - 1 VR1 = 0$$

4. Kendala Ketidakefektifan

$$2 X1 - 1 X2 \geq 0$$

$$1 X2 - 1 X3 \geq 0$$

$$1 X3 - 1 X4 \geq 0$$

$$1 X4 - 1 X5 \geq 0$$

$$1 X5 - 1 X6 \geq 0$$

LP OPTIMUM FOUND AT STEP 6		
OBJECTIVE FUNCTION VALUE		
1)	833571.3	
VARIABLE	VALUE	REDUCED COST
X1	1.225806	0.000000
X2	0.267068	0.000000
X3	0.000534	0.000000
X4	0.051607	0.000000
X5	0.019637	0.000000
X6	0.043829	0.000000

Gambar 7 Hasil Optimasi Alternatif 1 Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC

Sumber: Dokumen Pribadi

Dump Truck Tipe Hino Dutro : 1.225806 ≈ 2 unit
Air Compressor Airman : 0.267068 ≈ 1 unit
Asphalt Distributor Diamond : 0.267068 ≈ 1 unit
Asphalt Paver Ammann AFT350E: 0.267068 ≈ 1 unit
Vibro Roller Ammann ASC-200: 0.043829 ≈ 1 unit
Pneumatic Tire Roller Sakai TS150: 0.043829 ≈ 1 unit

$$Z \text{ min} = 523.143X1 + 473.696 X2 + 576.964 X3 + 473.696X4 + 801.910X5 + 576.964X6$$

$$Z \text{ min} = 523.143 (2) + 473.696 (1) + 576.964 (1) + 473.696 (1) + 801.910 (1) + 576.964 (1)$$

= Rp 3.949.520,-

Tabel 16. Hasil Rekapitulasi Total Biaya dan Jumlah Alat Berat Pekerjaan AC WC

PEKERJAAN AC WC				
Alt ke-	Kombinasi alat berat	Harga unit (Rp)	Jumlah unit	Total harga/jam
Alt 1	DT 1	523,143	24.00	3,949,520.62

	CO 1	322,953	6.00		AD 1	434,006	1.00
	AD 1	434,006	1.00		AP 1	473.697	1.00
	AP 1	473.697	1.00		VR 1	801,910	1.00
	VR 1	801,910	1.00		PTR 1	576,965	1.00
	PTR 1	576,965	1.00				
Alt 2	DT 2	559,375	24.00	4,021,984.25			
	CO 1	322,953	6.00				

1. KESIMPULAN DAN SARAN

Dari hasil pembahasan optimasi pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Baru Planjan Baron Tepus Sta 0+000 – Sta 4+425, dengan menggunakan Program *Linear Metode Simpleks*, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

Berdasarkan hasil pembahasan, dapat disimpulkan sebagai berikut:

1. Volume material pada pekerjaan pada pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Baru Planjan Baron Tepus Sta 0+000 – Sta 4+425 sebagai berikut :

- volume pekerjaan galian sebesar 752.448,59 m³,
- volume pekerjaan timbunan sebesar 279.622,42 m³,
- volume pekerjaan lapis pondasi agregat sebesar 11.677,5 m³,
- volume pekerjaan perkerasan lentur AC-Base sebesar 5.968,5 ton,
- volume pekerjaan perkerasan lentur AC-BC sebesar 4.476,38 ton,
- volume pekerjaan perkerasan lentur AC-WC sebesar 2.984,25 ton.

2. Jenis alat berat yang digunakan pada proyek ini, jumlah produktivitas dan durasi masing- masing pekerjaan sebagai berikut:

- Pada pekerjaan galian jenis alat berat yang digunakan yaitu :
 - Excavator Tipe Caterpillar 320D2 dg Breaker dengan produktivitas alat sebesar 15,00 m³/jam,
 - Excavator Komatsu PC-200-8 dengan produktivitas alat sebesar 100,79 m³/jam,
 - Excavator Tipe Liugong 922E dengan produktivitas alat sebesar 100,79 m³/jam,
 - Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3 dengan produktivitas alat sebesar 128,18 m³/jam,
 - Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle Dozer 3 dengan produktivitas alat sebesar 169,97 m³/jam,
 - Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 32,18 m³/jam, dan
 - Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX sebesar 29,36 m³/jam,

Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.022 jam.

b. Pada pekerjaan timbunan jenis alat berat yang digunakan yaitu :

- Excavator Tipe Liugong 922E dengan produktivitas alat sebesar 100,79 m³/jam,
- Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO dengan produktivitas alat 100,79 m³/jam,
- Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 32,18 m³/jam,
- Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX dengan produktivitas alat 29,26 m³/jam,
- Motor Grader Tipe Caterpillar 120K dengan produktivitas alat sebesar 53,82 m³/jam,
- Motor Grader Tipe Mitsubishi MG330 dengan produktivitas alat sebesar 58,12 m³/jam,
- Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 dengan produktivitas alat sebesar 332,00 m³/jam,
- Water Tank Truck Mitsubishi 125HD dengan produktivitas alat sebesar 71,14 m³/jam.

Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 872 jam

c. Pada pekerjaan lapis pondasi agregat jenis alat berat yang digunakan yaitu :

- Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 2,17 m³/jam,
- Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX dengan produktivitas alat sebesar 1,98 m³/jam,
- Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K dengan produktivitas alat sebesar 40,36 m³/jam,
- Motor Grader Tipe Mitsubishi MG330 dengan produktivitas alat sebesar 58,12 m³/jam,
- Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 dengan produktivitas alat sebesar 338,64 m³/jam,
- Water Tank Truck Mitsubishi 125HD dengan produktivitas alat sebesar 71,14 m³/jam.
- Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.021 jam.
- Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-Base
- Pada pekerjaan perkerasan AC-Base jenis alat berat yang digunakan yaitu :
 - Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 2,17 ton/jam

- Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX dengan produktivitas alat sebesar 1,98 ton/jam,
 - Asphalt Paver Ammann AFT350E dengan produktivitas alat sebesar 46,69 ton/jam,
 - Asphalt Distributor Diamond dengan produktivitas alat sebesar 4.980 liter/jam,
 - Air Compressor Airman PDS 185 S dengan produktivitas alat sebesar 9,96 m²/jam,
 - Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 dengan produktivitas alat sebesar 101,59 ton/jam,
 - Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 dengan produktivitas alat sebesar 61,94 ton/jam.
 - Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.071 jam
- d. Pada pekerjaan perkerasan AC-BC jenis alat berat yang digunakan yaitu :
- Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 2,17 ton/jam,
 - Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX dengan produktivitas alat sebesar 1,98 ton/jam,
 - Asphalt Paver Ammann AFT350E dengan produktivitas alat sebesar 51,54 ton/jam,
 - Asphalt Distributor Diamond dengan produktivitas alat sebesar 4.980 liter/jam,
 - Air Compressor Airman PDS 185 S dengan produktivitas alat sebesar 9,96 m²/jam,
 - Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 dengan produktivitas alat sebesar 101,59 ton/jam,
 - Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 dengan produktivitas alat sebesar 60,69 ton/jam.
- Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.121 jam
- e. Pada pekerjaan perkerasan AC-WC jenis alat berat yang digunakan yaitu :
- Dump Truck Tipe Hino Dutro dengan produktivitas alat sebesar 2,17 ton/jam,
 - Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX dengan produktivitas alat 1,98 ton/jam,
 - Asphalt Paver Ammann AFT350E dengan produktivitas alat sebesar 51,54 ton/jam,
 - Asphalt Distributor Diamond dengan produktivitas alat sebesar 4.980 liter/jam,
 - Air Compressor Airman PDS 185 S dengan produktivitas alat sebesar 9,96 m²/jam,
 - Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 dengan produktivitas alat sebesar 135,46 ton/jam,
 - Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 s dengan produktivitas alat sebesar 60,69 ton/jam.
- Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.121 jam
3. Alternatif kombinasi (K) alat berat yang dapat digunakan pada proyek ini adalah sebagai berikut:
- a. Pada Pekerjaan Galian
 - K1 = EXB1, BD1, EXC1, DT1;
 - K2 = EXB1, BD1, EXC1, DT2;
 - K3 = EXB1, BD1, EXC2, DT1;
 - K4 = EXB1, BD1, EXC2, DT2;
 - K5 = EXB1; BD2, EXC1, DT1;
 - K6 = EXB1, BD2, EXC1, DT2;
 - K7 = EXB1, BD2, EXC2, DT1;
 - K8 = EXB1, BD2, EXC2, DT2;
 - b. Pada Pekerjaan Timbunan
 - K1 = EXC1, DT1, MG1, VR1, WT1;
 - K2 = EXC1, DT2, MG1, VR1, WT1;
 - K3 = EXC2, DT1, MG1, VR1, WT1;
 - K4 = EXC2, DT2, MG1, VR1, WT1;
 - K5 = EXC1, DT1, MG2, VR1, WT1;
 - K6 = EXC1, DT2, MG2, VR1, WT1;
 - K7 = EXC2, DT1, MG2, VR1, WT1;
 - K8 = EXC2, DT2, MG2, VR1, WT1;
 - c. Pada Pekerjaan Lapisan Pondasi Agregat
 - K1 = DT1, MG1, VR1, WT1;
 - K2 = DT2, MG1, VR1, WT1;
 - K3 = DT1, MG2, VR1, WT1;
 - K4 = DT2, MG2, VR1, WT1
 - d. Pada Pekerjaan AC-BC
 - K1 = DT1, CO1, AD1, AP1, VR1, PTR1;
 - K2 = DT2, CO1, AD1, AP1, VR1, PTR1;
 - e. Pada Pekerjaan AC-WC
 - K1 = DT1, CO1, AD1, AP1, VR1, PTR1;
 - K2 = DT2, CO1, AD1, AP1, VR1, PTR1;

Di mana diketahui bahwa:

 - Excavator Tipe Caterpillar 320D2 EXB1
 - Excavator Tipe Liugong 922E EXC1
 - Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO EXC2
 - Dump Truck Tipe Hino Dutro DT1
 - Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX DT2
 - Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3 BD1
 - Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle Dozer BD2
 - Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 VR1
 - Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K MG1
 - Motor Grader Tipe Mitsubishi MG330 MG2
 - Water Tank Truck Mitsubishi 125HD WT1
 - Air Compressor Airman PDS 185 S CO1
 - Pneumatic Tire Roller Sakai TS150 PTR1
 - Asphalt Paver Ammann AFT350E AP1
 - Asphalt Distributor Diamond AD1

4. Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat yang optimum pada masing-masing pekerjaan pada setiap alternatif kombinasi adalah sebagai berikut :
- a. Pada pekerjaan galian
- Kombinasi 1 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.242.616.952,-
- Kombinasi 2 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.464.594.835,-
- Kombinasi 3 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.567.536.200,-
- Kombinasi 4 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.789.514.083,-
- Kombinasi 5 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.193.453.479,-
- Kombinasi 6 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.415.431.361,-
- Kombinasi 7 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.518.372.727,-
- Kombinasi 8 = 10 unit EXB1, 8 unit BD1, 7 unit EXC1, 6 unit DT1 dengan biaya Rp 25.740.350.609,-
- b. Pada pekerjaan timbunan
- Kombinasi 1 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 13.607.682.218,-
- Kombinasi 2 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 14.416.095.577,-
- Kombinasi 3 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 13.766.179.412,-
- Kombinasi 4 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 14.082.001.603,-
- Kombinasi 5 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 13.736.645.644,-
- Kombinasi 6 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 14.545.059.003,-
- Kombinasi 7 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 13.895.142.839,-
- Kombinasi 8 = 4 unit EXC1, 10 unit DT2, 6 unit MG2, 1 unit VR1, 5 unit WT1 dengan biaya Rp 14.703.556.198,-
- c. Pada pekerjaan Lapis Pondasi Agregat
- Kombinasi 1 = 6 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit VR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp 5.149.976.155,-
- Kombinasi 2 = 6 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit VR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp 5.371.954.038,-
- Kombinasi 3 = 6 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit VR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp 5.175.154.728,-
- Kombinasi 4 = 6 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit VR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp 5.397.132.611,-
- d. Pada Pekerjaan AC – Base
- Kombinasi 1 = 2 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 4.811.320.796,-
- Kombinasi 2 = 2 unit DT2, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 4.927.723.832,-
- e. Pada pekerjaan AC – BC
- Kombinasi 1 = 2 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 4.442.805.938,-
- Kombinasi 2 = 2 unit DT2, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 5.290.754.927,-
- f. Pada Pekerjaan AC – WC
- Kombinasi 1 = 2 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 4.442.805.938,-
- Kombinasi 2 = 2 unit DT2, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 4.524.017.359,-
5. Setelah dilakukan optimasi terhadap alternatif kombinasi yang ada, maka telah diketahui penggunaan alat berat yang paling optimum dan paling murah untuk pelaksanaan Proyek Pembangunan Jalan Baru Planjan Baron Tepus Sta. 0+000 – Sta. 4+325 yaitu :

- a. Pada pekerjaan galian di pilih alternatif 5 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 25.193.453.479,-
 - b. Pada pekerjaan timbunan di pilih alternatif 5 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 13.736.645.644,-
 - c. Pada pekerjaan lapis pondasi agregat di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 5.149.976.155,-
 - d. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-Base di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 4.811.320.796,-
 - e. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-BC di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 4.442.805.938,-
 - f. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 4.442.805.938,-
- Sehingga total biaya keseluruhan yang paling murah adalah sebesar Rp 57.777.007.952,-

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Alat-alat Berat. Departement Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [2] Aminudin. 2005. Prinsip-Prinsip Riset Operasi. Jakarta. Erlangga.
- [3] Hartono, Widi. 2005. Pemindahan Tanah Mekanik (Alat-Alat Berat). Surakarta. Lembaga Pengembangan Pendidikan Universitas Negeri Surakarta dan UPT Penerbitan Percetakan Universitas Negeri Surakarta.
- [4] Katalog Alat Berat 2013 Kementerian Pekerjaan Umum Kholil, Ahmad. 2012. Alat Berat. Bandung : PT. Remaja Rosdakarya.
- [5] Nurjuliawati Putri Haji Ali H. Tarore, D. R. O. Walangitan. M. Sibi. 2013. Aplikasi Metode Stepping-Stone Untuk Optimasi Perencanaan Biaya Pada Suatu Proyek Konstruksi (Studi Kasus : Proyek Pemeliharaan Ruas Jalan Di Senduk, Tinoor, Dan Ratahan) Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Sam Ratulangi Manado.
- [6] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum.
- [7] Rosyanti, S. F. 2008. Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi Edisi Kedua. Jakarta. PT Rineka Cipta.
- [8] Rochmanhadi, 1984. Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Menggunakan Alat-alat Berat. Departement Pekerjaan Umum, Jakarta