

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PROYEK PEMBANGUNAN BENDUNGAN BENDO PONOROGO

RB Rahardyan Putra Winarno¹, Sumardi², Dyah Lidyaningtyas³

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

rahardyanutraw99@gmail.com¹, sumardi.polinema@polinema.ac.id², dyahcipka@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pembangunan Bendungan Bendo memiliki beberapa pekerjaan yang membutuhkan alat berat dalam proses pelaksanaan, seperti pada bagian *Maindam* yaitu pekerjaan pengangkutan dan penimbunan. Pada proses pekerjaan penimbunan material pada area yang cukup luas membutuhkan beberapa alat berat untuk menunjang efektivitas pekerjaan. 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 *Dynamic Programming*. Data yang diperlukan dalam penelitian ini adalah *siteplan*, gambar *potongan*, jenis tanah, spesifikasi jenis alat berat dan harga, sert harga sewa alat berat dan upah operator. Semua data diproses untuk mendapatkan solusi optimum menggunakan metode *Dynamic Programming*. Hasil optimasi kombinasi alat berat setelah dioptimasi dengan metode *Dynamic Programming* didapatkan hasil yang termurah pada alternatif kombinasi ke – 21 dengan total biaya sebesar Rp2.939.236.799.- dengan komposisi alat berat pada pekerjaan timbunan inti 16 unit alat berat. Pada pekerjaan timbunan filter dengan 52 unit alat berat. Pada pekerjaan timbunan random dengan 24 unit alat berat. Pada pekerjaan timbunan batu dengan 21 unit alat berat, dan pada pekerjaan timbunan rip – rap dengan 8 unit alat berat.

Kata kunci : Alat berat, Optimasi, Kombinasi, Bendungan

ABSTRACT

The construction of the Bendo Dam has several jobs that require heavy equipment in the implementation process, such as in the Maindam section, namely transportation and stockpiling work. In the process of stockpiling materials in a fairly large area, several heavy equipment are needed to support the effectiveness of the work. 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 the Dynamic Programming method. The data needed in this study are site plans, cut drawings, soil types, specifications for heavy equipment types and prices, as well as heavy equipment rental prices and operator wages. All data is processed to obtain the optimum solution using the Dynamic Programming method. The results of the optimization of the combination of heavy equipment after being optimized with the Dynamic Programming method obtained the cheapest results on the 21st alternative combination with a total cost of Rp.2,939,236,799.- with the composition of heavy equipment on core embankment work of 16 heavy equipment units. In the filter stack work with 52 units of heavy equipment. In random stockpiling work with 24 units of heavy equipment. In the embankment work with 21 units of heavy equipment, and in the rip-rap embankment work with 8 units of heavy equipment.

Keywords : Heavy Equipment, Optimazation, Combination, Dam

1. PENDAHULUAN

Pembangunan saat ini banyak dibicarakan di Indonesia seiring dengan perkembangan sektor konstruksi di Indonesia yang berkembang pesat, terutama pembangunan infrastruktur seperti pembangunan jalan tol, gedung hingga bendungan.

Pemanfaatan sumber daya air yang maksimal bisa sangat membantu berbagai aspek kehidupan. Salah satu bentuk pemanfaatan sumber daya air yang maksimal adalah membangun bendungan. Bendungan berfungsi sebagai tampungan air dari sungai yang dikumpulkan dan

dimanfaatkan untuk membantu kegiatan yang ada di masyarakat.

Pembangunan Bendungan Bendo memiliki beberapa pekerjaan yang membutuhkan alat berat dalam proses pelaksanaan, seperti pada bagian *Maindam* yaitu pekerjaan pengangkutan dan penimbunan. Pada proses pekerjaan penimbunan material pada area yang cukup luas membutuhkan beberapa alat berat untuk menunjang efektivitas pekerjaan. masing-masing dari alat berat memiliki beberapa tipe, dimana antara tipe satu dengan tipe yang lain memiliki kapasitas dan biaya sewa yang berbeda-beda. 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. Untuk itu perlu adanya pengoptimasian alat berat pada proyek Bendungan Bendo 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.

Tujuan

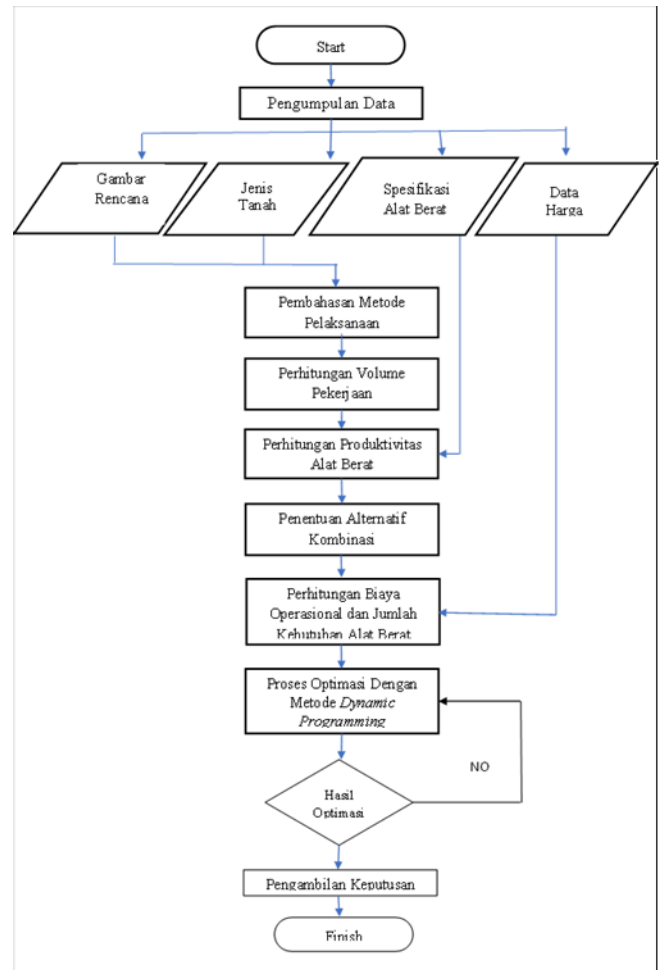
- Mengetahui metode pelaksanaan pada pekerjaan di daerah *Maindam* pada proyek.
- Mengetahui produktivitas dari masing – masing alat berat pada proyek
- Mengetahui biaya operasional dalam setiap alternatif kombinasi alat berat yang digunakan pada pekerjaan proyek.
- Mengetahui alternatif kombinasi alat berat dan jumlah kebutuhan alat berat pada setiap alternatif kombinasi yang digunakan untuk menentukan solusi optimal pada pekerjaan proyek.
- Untuk mengetahui Alternatif kombinasi mana yang menunjukkan solusi optimal untuk penggunaan alat berat pada pekerjaan proyek.

2. METODE

Deskripsi Proyek

Objek Penelitian ini dilakukan pada lokasi proyek Pembangunan Bendungan Bendo berada di Desa Bendo, Kecamatan Sawoo, Kabupaten Ponorogo, Provinsi Jawa Timur, Indonesia. Nantinya bendungan ini digunakan masyarakat sekitar sebagai sumber air bagi lahan pertanian dan kebutuhan air sehari – hari.

Data yang digunakan yaitu data gambar proyek, jenis tanah di lokasi proyek, spesifikasi umum pekerjaan di *Maindam*, jenis dan spesifikasi alat berat, harga sewa dan durasi pekerjaan di daerah *Maindam* atau literatur-literatur yang berhubungan dengan optimasi dan alat berat.



Gambar 1 Flowchart Penelitian

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut merupakan hasil dan pembahasan dari optimasi alat berat:

Menghitung Volume Timbunan

Sebelum menghitung volume pekerjaan, diperlukan penguraian pekerjaan dengan cara membuat WBS (Work Breakdown Structure). Perhitungan volume pekerjaan sesuai dengan gambar denah pekerjaan dan gambar potongan.

Tabel 1. Volume Seluruh Pekerjaan Timbunan

No	PEKERJAAN	VOLUME	SATUAN
1	Timbunan Inti	289.052,33	m3
2	Timbunan Filter	205.734,28	m3
3	Timbunan Random	690.206,27	m3
4	Timbunan Batu	577.972,28	m3
5	Timbunan Rip - Rap	64.090,64	m3

Sumber: Hasil Perhitungan

Alternatif Kombinasi Alat Berat

Dalam optimasi alat berat yang digunakan pada pekerjaan timbunan inti, timbunan filter, timbunan random, timbunan

batu dan timbunan rip – rap pada Proyek Pembangunan Maindam Bendungan Bendo Ponorogo terdapat 5 jenis alat berat yaitu yaitu Excavator, Dump truck, Bulldozer, Vibro Roller, dan Water Tank Truck. Dengan spesifikasi tiap jenis alat berat yang berbeda – beda.

Tabel 2. Alternatif Kombinasi Alat Berat

ALTERNATIF KOMBINASI ALAT BERAT				
PEKERJAAN TIMBUNAN INTI				
Kombinasi 1	EXC 1	DT 1	BL 1	VR 1
Kombinasi 2	EXC 2	DT 2	BL 2	VR 1
PEKERJAAN TIMBUNAN FILTER				
Kombinasi 1	EXC 2	DT 1	BL 2	VR 1
Kombinasi 2	EXC 1	DT 2	BL 1	VR 1
PEKERJAAN TIMBUNAN RANDOM				
Kombinasi 1	EXC 1	DT 2	BL 2	VR 1
Kombinasi 2	EXC 2	DT 1	BL 1	VR 1
PEKERJAAN TIMBUNAN BATU				
Kombinasi 1	EXC 2	DT 2	BL 1	VR 1
Kombinasi 2	EXC 1	DT 1	BL 2	VR 1
PEKERJAAN TIMBUNAN RIP - RAP				
Kombinasi 1	EXC 1	DT 2		
Kombinasi 2	EXC 2	DT 1		

Perhitungan Produktivitas Alat Berat

Pada pekerjaan timbunan alat berat yang dibutuhkan untuk membantu proses pelaksanaannya memiliki berbagai macam tipe. Untuk menghitung biaya operasional diperlukan perhitungan produktivitas alat berat.

a) Excavator Kobelco SK-200 (EXC 1)

- Kapasitas Bucket (V) : 0,93 m³
- Factor Bucket (Fb) : 0,8
- Factor Efisiensi Alat (Fa) : 0,83
- Factor Pengembangan (Fk) : 1,2
- Waktu Siklus (TS) :
- Menggali/Memuat (T1) : 0,283 menit
- Swing (T2) : 0,1 menit
- Membuang (T3) : 0,1 menit
- Kapasitas Produksi per Jam (Q)
- : (V x Fb x Fa x 60)/(TS x Fk)
- : (0,93 x 0,8 x 0,83 x 60)/(0,483 x 1,2)
- : 63,881 m³/jam

b) Dump Truck Hino 500 FG 235 JJ

- Kombinasi dengan Excavator Kobelco SK-200 (DT 1 + EXC 1)
- Kapasitas Bak (Q) : 14 m³
- Factor Efisiensi Alat (Fa) : 0,83
- Kecepatan Rata-Rata Muatan (V1) : 40 km/jam
- Kecepatan Rata-Rata Kosong (V2) : 60 km/jam
- Waktu Siklus Dump Truck (n) : Q/((q1 x K))

: 14/((0,93 x 0,8)) : 19 kali siklus

Jarak pengangkutan dari Quarry ke lokasi proyek : 3 km
 Dengan kondisi jalan baik

Waktu Siklus (TS) :

- Waktu Muat (T1) : n x Cms
- : 19 x 0,483
- : 9,09 menit

Waktu Tempuh Isi (T2) : L/v1 x 60
 : 3/40 x 60 : 4,5 menit

Waktu Tempuh Kosong (T3) : L/v1 x 60
 : 3/60 x 60 : 3 menit

Waktu Dumping (T4) : 0,5 menit (tabel 2.5)

Waktu Antri (T5) : 0,1 menit (tabel 2.6)

Cmt : t1 + t2 + t3 + t4 + t5
 : 9,09 + 4,5 + 3 + 0,5 + 0,1 : 17,195 menit

Kapasitas Produksi per Jam (Q)

- : (Q x 60 x Fa)/(Cmt x D)
- : (14 x 60 x 0,83)/(17,195 x 1)
- : 40,547 m³/jam

c) Bulldozer CAT D5G

- Faktor isi Blade (a) : 0,8
- Faktor Efisiensi Alat (Et) : 0,83
- Factor Kemiringan Blade (e) : 1
- Kecepatan Maju : 3 km/jam
- Kecepatan Mundur : 5 km/jam
- Kapasitas Pisau (q) : 2,13 m³
- Jarak Dorong (D) : 20 m
- Waktu Gusur (F) : 50 m/menit
- Waktu Kembali (R) : 83,33 m/menit
- Waktu Tetap (Z) : 0,1 menit
- Waktu Siklus Bulldozer (Cm) : D/F x (D)/R+ Z
- : 20/50 x (20)/83,33+ 0,1
- : 0,74 menit
- Kapasitas Produksi per Jam (Q)
- : q x (60)/Cm x e x Et
- : 2,13 x (60)/0,74 x 1 x 0,83
- : 143,343 m³/jam

d) Vibro Roller Dynapac CA502D

- Lebar efektif pemadatan (W) : We – W0
- : 2,13 m – 0,2 m
- Lebar efektif pemadatan (W) : 1,93 m
- Tebal lapisan pemadatan (H) : 0,3 m
- Kecepatan rata – rata (V) : 2 km/jam
- Jumlah Lintasan (n) : 10 Lintasan
- Factor efisiensi alat (Fa) : 0,83
- Kapasitas Produksi per Jam (Q)
- : (W x V x H x 1000 x Fa)/n
- : (1,93 x 2 x 0,3 x 1000 x 0,83)/10
- : 96,114 m³/jam

- e) Water Truck Nissan Diesel Cw520
 Kebutuhan Air/m3 (Wc) : 0,7 m3
 Kapasitas Tanki (V) : 1000 m3
 Faktor efisiensi alat (Fa) : 0,83
 Jumlah Pengisian / Jam (n) : 2 kali
 Kapasitas Produksi per Jam (Q)
 : $(V \times n \times Fa) / Wc$
 : $(1000 \times 2 \times 0,83) / 0,7$
 : 23,714 m3/jam

Perhitungan biaya operasional alat untuk pekerjaan galian dan timbunan mempertimbangkan aspek waktu rencana. Waktu pekerjaan sangat berpengaruh terhadap biaya. Besarnya tenaga alat berat juga berpengaruh terhadap bahan bakar yang digunakan. Berikut adalah perhitungan biaya operasional alat excavator pada pekerjaan timbunan.

- Harga Minyak Solar (Ms) = Rp. 10.200,00/Liter
- Biaya Bahan Bakar
 = $(12-15\% / HP / Jam) \times HP \times Ms$
 = $0,135 \times 152 \times 10200$
 = Rp. 209.304,00/Jam
- Sewa Alat = Rp. 225.000,00/Jam
- Upah Operator = Rp. 18.034,00/Jam
- Upah Pembantu Operator = Rp. 13.963,00/Jam
- Total Biaya Operasional = Rp. 466.301,00/Jam

Tabel 3. Biaya Operasional Seluruh Alat Berat

No.	NAMA ALAT BERAT	KODE	HP	Total (Rp) / Jam
1	Excavator Tipe Kobelco SK-200	EXC 1	152	Rp466.301
2	Excavator Tipe Komatsu PC 200-8	EXC 2	138	Rp432.023
3	Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ	DT 1	235	Rp457.111
4	Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter	DT 2	136	Rp315.788
5	Bulldozer Tipe CAT D5G	BL 1	133	Rp449.809
6	Bulldozer Tipe Komatsu D65EX	BL 2	190	Rp543.627
7	Vibro Roller Tipe Dynapac CA502D	VR 1	125	Rp343.730
8	Water Tank Truck Nissan Diesel CW520	WT 1	125	Rp280.641

Sumber: Hasil Perhitungan

Jumlah Kebutuhan Alat Berat Seluruh Pekerjaan

Setelah mengetahui volume total pekerjaan timbunan dan kapasitas produksi alat berat setiap harinya, maka bisa didapatkan jumlah kebutuhan alat berat tiap pekerjaan timbunan.

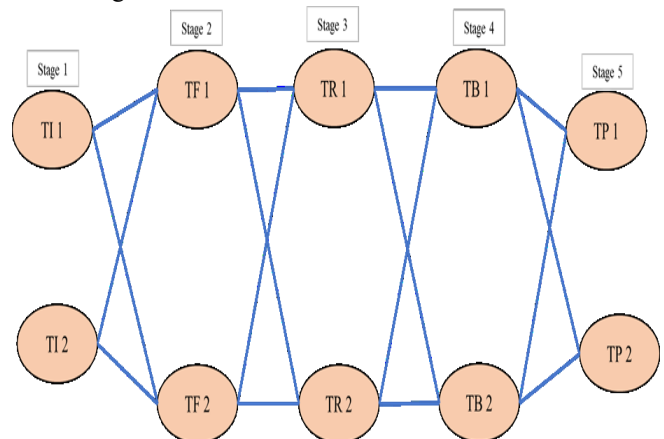
Tabel 3. Kebutuhan Alat Berat Pada Seluruh Pekerjaan

PEKERJAAN TIMBUNAN INTI									
Kombinasi	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Total
Kombinasi 1	EXC 1	5	DT 1	7	BL 1	2	VR 1	3	17
Kombinasi 2	EXC 2	3	DT 2	8	BL 2	2	VR 1	3	16
PEKERJAAN TIMBUNAN FILTER									
Kombinasi	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Total
Kombinasi 1	EXC 2	2	DT 1	46	BL 2	2	VR 1	2	52
Kombinasi 2	EXC 1	2	DT 2	71	BL 1	2	VR 1	2	77
PEKERJAAN TIMBUNAN RANDOM									
Kombinasi	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Total
Kombinasi 1	EXC 1	9	DT 2	12	BL 2	3	VR 1	5	29
Kombinasi 2	EXC 2	7	DT 1	9	BL 1	3	VR 1	5	24
PEKERJAAN TIMBUNAN BATU									
Kombinasi	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Alat	Jml	Total
Kombinasi 1	EXC 2	6	DT 2	9	BL 2	3	VR 1	3	21
Kombinasi 2	EXC 1	7	DT 1	8	BL 2	2	VR 1	3	20
PEKERJAAN TIMBUNAN RIP-RAP									
Kombinasi	Alat	Jml	Alat	Jml	Total				
Kombinasi 1	EXC 1	2	DT 2	6	8				
Kombinasi 2	EXC 2	2	DT 1	4	6				

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Optimasi Penggunaan Alat Berat

Dalam model optimasi dengan metode dynamic programming (DP), pada setiap tahapnya terdapat satu variabel yang akan dioptimasi. Model ini berisi variabel keputusan, fungsi tujuan, dan juga kendala. Pada setiap stage dilakukan optimasi pengadaan alat berat sehingga dengan proses optimasi akan didapatkan suatu keputusan untuk setiap tahap yakni berupa jumlah alat berat optimal yang harus ada didalam setiap stage tersebut. Keputusan yang ada di tiap stage akan memberikan kontribusi terhadap biaya mempertahankan alat berat, mendatangkan alat berat, dan memulangkan alat berat.



Gambar 2 Bagan Penentuan Alternatif Kombinasi Stage Untuk Proses Optimasi

Untuk rekapitulasi hasil perhitungan proses optimasi pengadaan alat berat pada seluruh alternatif kombinasi stage sebagai berikut.

Tabel 4. Hasil Perhitungan Proses Optimasi Biaya Pengadaan Alat Berat Seluruh Alternatif

No	Kombinasi Dynamic Program					Hiring	Firing	Biaya Pengadaan
1	TI 1	TF 1	TR 1	TB 1	TP 1	35	44	Rp 390.000.000,00
2	TI 1	TF 1	TR 1	TB 1	TP 2	35	46	Rp 390.000.000,00
3	TI 1	TF 1	TR 1	TB 2	TP 1	35	44	Rp 390.000.000,00
4	TI 1	TF 1	TR 1	TB 2	TP 2	35	46	Rp 390.000.000,00
5	TI 1	TF 1	TR 2	TB 1	TP 1	35	44	Rp 390.000.000,00
6	TI 1	TF 1	TR 2	TB 1	TP 2	35	46	Rp 390.000.000,00
7	TI 1	TF 1	TR 2	TB 2	TP 1	35	44	Rp 390.000.000,00
8	TI 1	TF 1	TR 2	TB 2	TP 2	35	46	Rp 390.000.000,00
9	TI 1	TF 2	TR 1	TB 1	TP 1	60	69	Rp 577.500.000,00
10	TI 1	TF 2	TR 1	TB 1	TP 2	60	71	Rp 577.500.000,00
11	TI 1	TF 2	TR 1	TB 2	TP 1	60	69	Rp 577.500.000,00
12	TI 1	TF 2	TR 1	TB 2	TP 2	60	71	Rp 577.500.000,00
13	TI 1	TF 2	TR 2	TB 1	TP 1	60	69	Rp 577.500.000,00
14	TI 1	TF 2	TR 2	TB 1	TP 2	60	71	Rp 577.500.000,00
15	TI 1	TF 2	TR 2	TB 2	TP 1	60	69	Rp 577.500.000,00
16	TI 1	TF 2	TR 2	TB 2	TP 2	60	71	Rp 577.500.000,00
17	TI 2	TF 1	TR 1	TB 1	TP 1	36	44	Rp 390.000.000,00
18	TI 2	TF 1	TR 1	TB 1	TP 2	36	46	Rp 390.000.000,00
19	TI 2	TF 1	TR 1	TB 2	TP 1	36	44	Rp 390.000.000,00
20	TI 2	TF 1	TR 1	TB 2	TP 2	36	46	Rp 390.000.000,00
21	TI 2	TF 1	TR 2	TB 1	TP 1	36	44	Rp 390.000.000,00
22	TI 2	TF 1	TR 2	TB 1	TP 2	36	46	Rp 390.000.000,00
23	TI 2	TF 1	TR 2	TB 2	TP 1	36	44	Rp 390.000.000,00
24	TI 2	TF 1	TR 2	TB 2	TP 2	36	46	Rp 390.000.000,00
25	TI 2	TF 2	TR 1	TB 1	TP 1	61	69	Rp 577.500.000,00
26	TI 2	TF 2	TR 1	TB 1	TP 2	61	71	Rp 577.500.000,00
27	TI 2	TF 2	TR 1	TB 2	TP 1	61	69	Rp 577.500.000,00
28	TI 2	TF 2	TR 1	TB 2	TP 2	61	71	Rp 577.500.000,00
29	TI 2	TF 2	TR 2	TB 1	TP 1	61	69	Rp 577.500.000,00
30	TI 2	TF 2	TR 2	TB 1	TP 2	61	71	Rp 577.500.000,00
31	TI 2	TF 2	TR 2	TB 2	TP 1	61	69	Rp 577.500.000,00
32	TI 2	TF 2	TR 2	TB 2	TP 2	61	71	Rp 577.500.000,00

Sumber: Hasil Perhitungan

Setelah mengetahui biaya pengadaan alat berat, maka kita bisa mengetahui total biaya kebutuhan alat berat berdasarkan hasil optimasi seluruh alternatif 1 – 32 yaitu dari penjumlahan biaya pengadaan dan biaya operasional yang telah ditambah biaya overhead sebesar 10% yaitu sebagai berikut.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Proses Optimasi Biaya Total Alat Berat Seluruh Alternatif (Setelah Ditambah Biaya Overhead)

Keb. ABT	B. Pengadaan	B. Operasional	Overhead	B. Total
Alternatif Kombinasi 1				
Keb. Jumlah	Rp 390.000.000,00	Rp 2.391.031.631	Rp 239.103.163	Rp 3.020.134.795
Alternatif Kombinasi 2				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.447.167.316	Rp 244.716.732	Rp 3.081.884.047
Alternatif Kombinasi 3				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.464.283.268	Rp 246.428.327	Rp 3.100.711.595
Alternatif Kombinasi 4				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.587.833.635	Rp 258.783.363	Rp 3.236.616.998
Alternatif Kombinasi 5				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.388.921.531	Rp 238.892.153	Rp 3.017.813.684
Alternatif Kombinasi 6				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.512.471.898	Rp 251.247.190	Rp 3.153.719.087
Alternatif Kombinasi 7				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.462.173.168	Rp 246.217.317	Rp 3.098.390.485
Alternatif Kombinasi 8				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.585.723.534	Rp 258.572.353	Rp 3.234.295.888
Alternatif Kombinasi 9				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.252.475.413	Rp 225.247.541	Rp 3.055.222.954
Alternatif Kombinasi 10				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.376.025.779	Rp 237.602.578	Rp 3.191.128.357
Alternatif Kombinasi 11				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.325.727.050	Rp 232.572.705	Rp 3.135.799.755
Alternatif Kombinasi 12				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.449.277.416	Rp 244.927.742	Rp 3.271.705.158
Alternatif Kombinasi 13				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.250.365.312	Rp 225.036.531	Rp 3.052.901.843
Alternatif Kombinasi 14				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.373.915.679	Rp 237.391.568	Rp 3.188.807.247
Alternatif Kombinasi 15				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.323.616.949	Rp 232.361.695	Rp 3.133.478.644
Alternatif Kombinasi 16				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.447.167.316	Rp 244.716.732	Rp 3.269.384.047
Alternatif Kombinasi 17				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.319.598.100	Rp 231.959.810	Rp 2.941.557.910
Alternatif Kombinasi 18				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.375.733.784	Rp 237.573.378	Rp 3.003.307.162
Alternatif Kombinasi 19				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.392.849.737	Rp 239.284.974	Rp 3.022.134.710
Alternatif Kombinasi 20				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.516.400.103	Rp 251.640.010	Rp 3.158.040.113
Alternatif Kombinasi 21				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.317.487.999	Rp 231.748.800	Rp 2.939.236.799
Alternatif Kombinasi 22				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.441.038.366	Rp 244.103.837	Rp 3.075.142.202
Alternatif Kombinasi 23				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.390.739.636	Rp 239.073.964	Rp 3.019.813.600
Alternatif Kombinasi 24				
Keb. Jumlah Max	Rp 390.000.000,00	Rp 2.514.290.003	Rp 251.429.000	Rp 3.155.719.003
Alternatif Kombinasi 25				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.181.041.881	Rp 218.104.188	Rp 2.976.646.069
Alternatif Kombinasi 26				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.304.592.248	Rp 230.459.225	Rp 3.112.551.472
Alternatif Kombinasi 27				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.254.293.518	Rp 225.429.352	Rp 3.057.222.870
Alternatif Kombinasi 28				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.377.843.884	Rp 237.784.388	Rp 3.193.128.273
Alternatif Kombinasi 29				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.178.931.780	Rp 217.893.178	Rp 2.974.324.958
Alternatif Kombinasi 30				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.302.482.147	Rp 230.248.215	Rp 3.110.230.362
Alternatif Kombinasi 31				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.252.183.417	Rp 225.218.342	Rp 3.054.901.759
Alternatif Kombinasi 32				
Keb. Jumlah Max	Rp 577.500.000,00	Rp 2.375.733.784	Rp 237.573.378	Rp 3.190.807.162

Sumber: Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan optimasi penggunaan alat berat pada pekerjaan proyek pembangunan Bendungan Bendo Kabupaten Ponorogo didapatkan kesimpulan yaitu:

- 1) Total volume pada pekerjaan maindam yaitu :
 - Pekerjaan Timbunan Inti : 289.052,33 m³

- Pekerjaan Timbunan Filter : 205.734,28 m³
 - Pekerjaan Timbunan Random : 690.206,27 m³
 - Pekerjaan Timbunan Batu : 577.972,28 m³
 - Pekerjaan Timbunan Rip – Rap : 64.090,64 m³
- 2) Produktivitas alat berat yang digunakan pada proyek ini sebagai berikut :
- a. Pekerjaan Timbunan Inti

Pada Pekerjaan timbunan inti produktivitas Excavator Tipe Kobelco SK-200 sebesar 63,881 m³/jam, produktivitas Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 sebesar 80,367 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ sebesar 45,481 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter sebesar 35,160 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe CAT D5G sebesar 143,343 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe Komatsu D65EX sebesar 248,327 m³/jam, produktivitas Vibro Roller Tipe Dynapac CA502D sebesar 96,114 m³/jam, dan produktivitas Water Tank Truck Nissan Diesel CW520 sebesar 23,714 m³/jam.
 - b. Pekerjaan Timbunan Filter

Pada Pekerjaan timbunan filter produktivitas Excavator Tipe Kobelco SK-200 sebesar 94,733 m³/jam, produktivitas Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 sebesar 113,999 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ sebesar 4,305 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter sebesar 2,799 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe CAT D5G sebesar 143,343 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe Komatsu D65EX sebesar 248,327 m³/jam, produktivitas Vibro Roller Tipe Dynapac CA502D sebesar 240,285 m³/jam, dan produktivitas Water Tank Truck Nissan Diesel CW520 sebesar 23,714 m³/jam.
 - c. Pekerjaan Timbunan Random

Pada Pekerjaan timbunan random produktivitas Excavator Tipe Kobelco SK-200 sebesar 59,760 m³/jam, produktivitas Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 sebesar 75,182 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ sebesar 60,743 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter sebesar 51,411 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe CAT D5G sebesar 165,740 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe Komatsu D65EX sebesar 287,128 m³/jam, produktivitas Vibro Roller Tipe Dynapac CA502D sebesar 120,143 m³/jam, dan produktivitas Water Tank Truck Nissan Diesel CW520 sebesar 23,714 m³/jam.
 - d. Pekerjaan Timbunan Batu

Pada Pekerjaan timbunan batu produktivitas Excavator Tipe Kobelco SK-200 sebesar 64,840 m³/jam, produktivitas Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 sebesar 81,572 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ sebesar 63,541 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter sebesar 53,175 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe CAT D5G sebesar 143,343 m³/jam, produktivitas Bulldozer Tipe Komatsu D65EX sebesar 248,327 m³/jam, produktivitas Vibro Roller Tipe Dynapac CA502D sebesar 160,190 m³/jam, dan produktivitas Water Tank Truck Nissan Diesel CW520 sebesar 23,714 m³/jam.
 - e. Pekerjaan Timbunan Rip – Rap

Pada Pekerjaan timbunan rip – rap produktivitas Excavator Tipe Kobelco SK-200 sebesar 44,820 m³/jam, produktivitas Excavator Tipe Komatsu PC 200-8 sebesar 56,386 m³/jam, produktivitas Dump Truck Tipe Hino 500 FG 235 JJ sebesar 11,448 m³/jam, dan produktivitas Dump Truck Tipe Mitsubishi Canter sebesar 7,832 m³/jam.
- 3) Terdapat 2 alternatif kombinasi alat berat pada masing – masing pekerjaan dengan rincian sebagai berikut :
- Pekerjaan Timbunan Inti
 - Alternatif kombinasi 1 (EXC 1, DT 1, BL 1, VR 1) = 17 Unit
 - Alternatif kombinasi 2 (EXC 2, DT 2, BL 2, VR 1) = 16 Unit
 - Pekerjaan Timbunan Filter
 - Alternatif kombinasi 1 (EXC 2, DT 1, BL 2, VR 1) = 52 Unit
 - Alternatif kombinasi 2 (EXC 1, DT 2, BL 1, VR 1) = 77 Unit
 - Pekerjaan Timbunan Random
 - Alternatif kombinasi 1 (EXC 1, DT 2, BL 2, VR 1) = 29 Unit
 - Alternatif kombinasi 2 (EXC 2, DT 1, BL 1, VR 1) = 24 Unit
 - Pekerjaan Timbunan Batu
 - Alternatif kombinasi 1 (EXC 2, DT 2, BL 1, VR 1) = 21 Unit
 - Alternatif kombinasi 2 (EXC 1, DT 1, BL 2, VR 1) = 20 Unit
 - Pekerjaan Timbunan Rip – Rap
 - Alternatif kombinasi 1 (EXC 1, DT 2) = 8 Unit
 - Alternatif kombinasi 2 (EXC 2, DT 1) = 6 Unit

- 4) Biaya operasional alat berat masing – masing alternatif kombinasi pada seluruh pekerjaan yaitu :
- Pekerjaan Timbunan Inti
Alternatif kombinasi 1 = Rp 7.879.970.569,00
Alternatif kombinasi 2 = Rp 6.273.506.379,00
 - Pekerjaan Timbunan Filter
Alternatif kombinasi 1 = Rp 24.991.172.540,00
Alternatif kombinasi 2 = Rp 26.337.330.499
 - Pekerjaan Timbunan Random
Alternatif kombinasi 1 = Rp 14.691.069.936,00
Alternatif kombinasi 2 = Rp 12.107.484.431,00
 - Pekerjaan Timbunan Batu
Alternatif kombinasi 1 = Rp 10.128.047.455,00
Alternatif kombinasi 2 = Rp 11.110.792.218,00
 - Pekerjaan Timbunan Rip – Rap
Alternatif kombinasi 1 = Rp 3.664.223.092,00
Alternatif kombinasi 2 = Rp 3.489.469.519,00
- 5) Melalui proses optimasi diperoleh solusi optimum pada alternatif kombinasi pekerjaan ke – 21 (TI2-TF1-TR2-TB1-TP1) dengan biaya total sebesar Rp2.939.236.799 (sudah termasuk dengan biaya overhead).

DAFTAR PUSTAKA

- (1) Qariatullailiyah, Indryani. 2013. Optimasi Penggunaan Alat Berat untuk Pekerjaan Pengangkutan dan Penimbunan pada Proyek Grand Island Surabaya dengan Program Linier. JURNAL TEKNIK POMITS Vol. 2, No. 1.
- (2) Huda, A.N. 2016. Optimasi Alat Berat Pada Pekerjaan Galian dan Timbunan Tanah pada Proyek Pembangunan Bendung Gerak Sembayat dengan Program Linier. Skripsi : Politeknik Negeri Malang.
- (3) Nikko Rozy. 2016. Pengaruh Jenis dan Susunan Armada Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Optimasi Biaya dan Waktu. JURNAL LOGIKA, Vol XVI, No 1 Maret Tahun 2016.
- (4) Diah Lydianingtias, Suhariyanto. 2018. Alat Berat. Malang: Polinema Press.
- (5) Ahmad Kholil. 2012. Alat Berat. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya Offset.
- (6) Asniko, Lubis. 2018. Analisis Optimalisasi Penggunaan Alat Berat pada Proyek Pembangunan Menara Bank Rakyat Indonesia Pekanbaru. Jurnal Teknik Volume 12, Nomor 1 April 2018
- (7) . Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Pedoman AHSP Bidang PU./
- (8) Rostiyanti, S. F. 2008. Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi. Jakarta: PT. Rineka Cipta.