

OPTIMASI PENGGUNAAN ALAT BERAT PADA PROYEK JALUR LINTAS SELATAN LOT 7 BLITAR STA 6+00 – STA 12+625

Syafira Oktaviani¹, Diah Lydianingias², Fadjar Purnomo³

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

syafiraoktaviani123@gmail.com¹, dyahcipka@gmail.com², fadjar.purnomo@polinema.ac.id³

ABSTRAK

Pelaksanaan Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 ini berada di daerah perbukitan terjal sehingga volume pekerjaan tanahnya cukup besar dan merupakan tanah keras. Pekerjaan yang ditinjau adalah pekerjaan galian, timbunan, lapis pondasi agregat, perkerasan lentur AC-BC dan AC-WC. 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. Hasil optimasi kombinasi alat berat yang termurah pada pekerjaan galian Zona 1 di pilih alternatif 3 dengan biaya total Rp 13.176.571.162.- dengan komposisi 6 unit EXB1; 2 unit BD2, 2 unit EXC1,3 unit DT1. Pada pekerjaan galian Zona 2 di pilih alternatif 5 dengan biaya total Rp 13.303.260.594.- dengan komposisi 6 unit EXB1; 2 unit BD2, 2 unit EXC1,3 unit DT1. Pada pekerjaan galian Zona 3 di pilih alternatif 5 dengan biaya total Rp 13.303.260.594 dengan komposisi 6 unit EXB1; 2 unit BD2, 2 unit EXC1,3 unit DT1. Pada pekerjaan galian Zona 4 di pilih alternatif 5 dengan biaya total Rp 14.472.416.756.- dengan komposisi 7 unit EXB1; 2 unit BD2, 3 unit EXC1,3 unit DT1. Pada pekerjaan galian Zona 5 di pilih alternatif 7 dengan biaya total Rp 15.438.044.102 dengan komposisi 7 unit EXB1; 2 unit BD2, 3 unit EXC1,3 unit DT1. Pada pekerjaan timbunan Zona 1 dipilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 5.197.591.922 dengan komposisi 1 unit EXC2, 2 unit DT1, 2 unit MG2, 1 unit SFR1, 1 unit WT1. Pada pekerjaan timbunan Zona 2 dipilih alternatif 7 dengan biaya total Rp 3.545.185.292 dengan komposisi 1 unit EXC2, 1 unit DT1, 1 unit MG2, 1 unit SFR1, 1 unit WT1. Pada pekerjaan lapis pondasi agregat di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 2.932.652.604 dengan komposisi 9 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit SFR1, 1 unit WT1. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-BC di pilih alternatif 1 dengan biaya total Rp 2.786.362.777 dengan komposisi 4 unit DT1, 2 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 2.231.865.318 dengan komposisi 3 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 Implementation of The Southern Passage Project Lot 7 is located in a steep hilly area so that the volume of earthwork is quite large and is hard soil. The works reviewed are excavation work, embankment, aggregate foundation layer, AC-BC and AC-WC flexible pavement. 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. The results of the optimization of the cheapest combination of heavy equipment in the excavation work Zona 1 were chosen alternatif 3 with a total cost of Rp 13.176.571.162 with a composition of 6 EXB1 units; 2 units of BD2, 2 units of EXC1,3 units of DT1. In the excavation work Zona 2 were chosen alternatif 5 with a total cost of Rp 13.303.260.594.- with a composition of 6 EXB1 units; 2 units of BD2, 2 units of EXC1,3 units of DT1. In the excavation work Zona 3 were chosen alternatif 5 with a total cost of Rp 13.303.260.594 with a composition of 6 EXB1 units; 2 units of BD2, 2 units of EXC1,3 units of DT1. In the excavation work Zona 4 were chosen alternatif 5 with a total cost of Rp 14.472.416.756 with a composition of 7 EXB1 units; 2 units of BD2, 3 units of EXC1,3 units of DT1. In the excavation work Zona 5 were chosen alternatif 7 with a total cost of Rp 15.438.044.102 with a composition of 7 EXB1 units; 2 units of BD2, 3 units of EXC1,3 units of DT1. In the embankment work Zona 1, alternatif 1 was chosen with a total cost of Rp. 5.197.591.922 with the composition of 1 units of EXC2, 2 units of DT1, 2 units of MG2, 1 unit of SFR1, 1 units of WT1. In the embankment work Zona 2, alternatif 7 was chosen with a total cost of Rp. 3.545.185.292 with the composition of 1 units of EXC2, 1 units of DT1, 1 units of MG2, 1 unit of SFR1, 1 units of WT1. In the aggregate foundation layer work, alternatif 1 was chosen with a total cost of Rp. 2,932,652,604 with a composition of 9 units of DT1, 1 unit of MG1, 1 unit of SFR1, 1 unit of WT1. In the AC-BC flexible pavement work, alternatif 1 is chosen with a total cost of Rp. 2,786,362,777 with a composition of 4 units of DT1, 2 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. 2,231,865,318 with a composition of 3 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, road

1. PENDAHULUAN

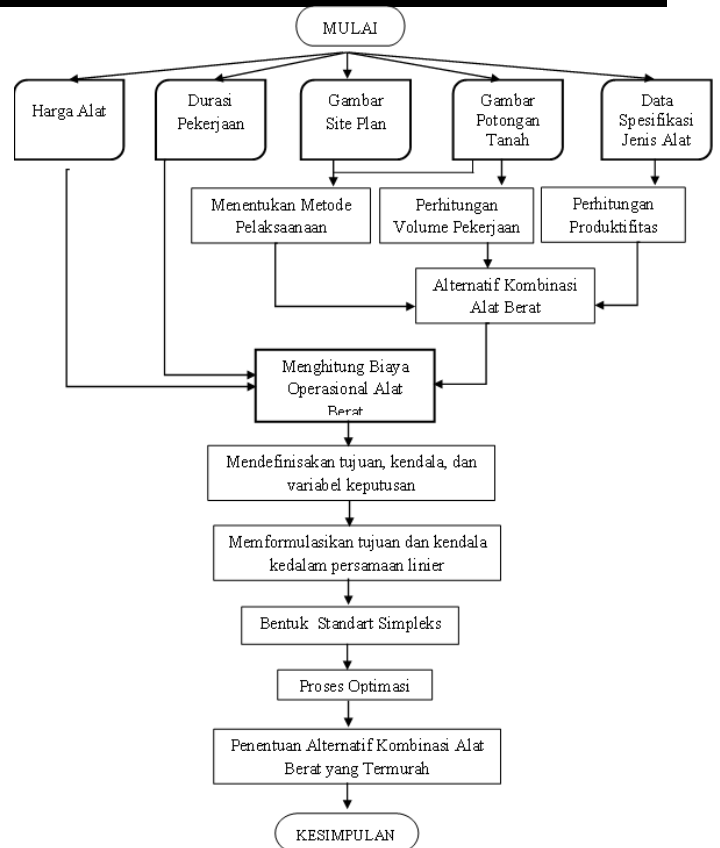
Jalan adalah prasarana transportasi darat yang meliputi segala jalan, termasuk bangunan pelengkap dan perlengkapannya yang diperuntukkan bagi lalu lintas, yang berada pada permukaan tanah, di atas permukaan tanah, di bawah permukaan tanah, serta di atas permukaan air, kecuali jalan kereta api, jalan lori, dan jalan kabel (UU Jalan No. 38 tahun 2004). Adapun jalan dibagi menjadi beberapa jenis yaitu jalan umum, jalan khusus dan jalan tol. Kemudian jalan umum terbagi lagi menjadi jalan nasional, jalan provinsi, jalan kabupaten/kota dan jalan desa. Pada Pembangunan Jalur Lintas Selatan ini dikategorikan sebagai jalan nasional yang menghubungkan banten hingga banyuwangi dan untuk pekerjaannya dibagi menjadi 9 paket. Untuk lot 7 sendiri menghubungkan Desa Tambakrejo, Kecamatan Wonotrito dengan Desa Serang, Kecamatan Panggungrejo, Kota Blitar sejauh 12 km. Proyek ini mulai dikerjakan bulan April 2020 dan ditargetkan selesai dalam 900 hari. Lokasi Jalur Lintas Selatan Lot 7 ini merupakan daerah perbukitan terjal sehingga volume pekerjaan tanah cukup besar dan akses yang sulit, hal ini membuat perlunya optimasi penggunaan alat berat yang baik agar tidak terjadi kerugian akibat pemilihan alat berat yang tidak tepat, kombinasi dan jumlah alat berat yang tidak efektif dan pekerjaan tidak dapat diselesaikan tepat waktu.

Mengingat biaya penggunaan alat berat ini relatif mahal dan masing-masing dari alat memiliki beberapa tipe, kapasitas dan biaya sewa yang berbeda-beda pula. Sehingga kombinasi dan jumlah alat berat yang digunakan di lapangan harus diperhitungkan agar mencapai biaya yang minimum tanpa mengabaikan durasi pekerjaan yang sudah ditargetkan.

Penentuan biaya minimum ini dapat dianalisis menggunakan model matematika salah satu caranya adalah dengan program linear. Program linear ini merupakan metode yang berfungsi untuk membantu memecahkan persoalan yang rumit menjadi lebih sederhana dan untuk melakukan suatu penentuan kombinasi terbaik serta jumlah yang paling optimum.

2. METODE

Diagram alir dalam tahapan menghitung optimasi alat berat pada proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 Blitar STA 6+00 – STA 12+625 dapat dilihat pada **Gambar 1**.



Gambar 1. Flowchart Perencanaan

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Volume Pekerjaan

Dalam pelaksanaan pekerjaan Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 Blitar STA 6+000 – STA 12+625, harus memperhitungkan volume pekerjaan pada setiap masing-masing item pekerjaan. Hasil dari perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat di dalam tabel di bawah ini:

Tabel 1. Rekap Volume Pekerjaan

Item Pekerjaan	Volume	Satuan
Galian	1.179.726,37	m ³
Timbunan	162.539,86	m ³
LPA	24.048,75	m ³
AC-BC	6.856,88	m ³
AC-WC	4.571,25	m ³

Sumber: Hasil Perhitungan

Metode Pelaksanaan

a. Metode Pelaksanaan Galian

Pekerjaan dibagi menjadi 5 Zona untuk memudahkan pelaksanaan. Pelaksanaan dimulai dari Zona 5 karena yang paling dekat aksesnya dengan jalan raya. Setelah Zona 5 mencapai 5% pengerjaan atau sampai aksesnya sudah terbuka dilanjutkan ke Zona 4 begitu pula dengan Zona selanjutnya. Area penggalian tanah sebelumnya akan di test di laboratorium terlebih dahulu untuk mengetahui tanah tersebut layak atau tidak untuk

dijadikan tanah timbunan nantinya. Dan tanah yang dinyatakan layak akan dibawa ke lokasi *quarry* sesuai kebutuhan dan tanah lainnya akan dibuang ke *disposal area*. Pada pekerjaan galian, alat berat yang digunakan diantaranya:

1. *Excavator* dengan *breaker* sebagai sebagai alat penggali yang melonggarkan dan menghancurkan batuan dan *excavator* sebagai alat pengangkut sisa pekerjaan galian ke dalam *dump truck*
 2. *Bulldozer* sebagai alat untuk mengumpulkan material hasil galian
 3. *Dump truck* sebagai alat pengangkut material galian
- Lokasi Proyek Jalur Lintas Selatan ini terletak di daerah perbukitan di mana sebagian besar tanahnya merupakan tanah keras yang mengandung kapur. Sehingga diperlukan tambahan alat khusus untuk melonggarkan dan menghancurkan tanah keras tersebut yaitu *breaker* atau *hydraulic breaker*.

b. Metode Pelaksanaan Timbunan

Sama dengan pekerjaan galian pekerjaan ini juga dibagi menjadi beberapa Zona yakni 2 Zona. Pengerjaannya dapat dilakukan diwaktu yang sama karena aksesnya sudah ada. Pekerjaan timbunan ini bertujuan untuk mencapai elevasi yang telah direncanakan, material timbunan yang digunakan merupakan material hasil galian yang memenuhi syarat. Pada pekerjaan timbunan, alat berat yang digunakan diantaranya:

1. *Excavator* sebagai alat pengangkut material di lokasi *quarry* kedalam *dump truck*
2. *Dump truck* sebagai alat pengangkut material galian ke lokasi penimbunan
3. *Motor grader* sebagai alat penghampar tanah timbunan
4. *Sheep foot roller* sebagai alat penghampar tanah timbunan
5. *Water tank truck* sebagai alat penyiram tanah timbunan

c. Metode Pelaksanaan Lapisan Pondasi Agregat (LPA) Kelas A

Pekerjaan ini dilakukan sepanjang STA. 6+000 – STA. 12+625 lapis pondasi agregat ini bertujuan untuk memberikan daya dukung agar permukaan jalan tetap stabil. Pada pekerjaan lapisan pondasi agregat Kelas A, alat berat yang digunakan diantaranya:

1. *Dump truck* sebagai alat pengangkut material beton kering
2. *Motor grader* sebagai alat menghamparkan material
3. *Vibro roller* sebagai alat pemadat material
4. *Water tank truck* sebagai alat penyiraman material

d. Metode Pelaksanaan Perkerasan Lentur AC-BC

Pekerjaan ini dilakukan sepanjang STA. 6+000 – STA. 12+625. Lapisan untuk perkerasan lentur AC-BC ini

bertujuan untuk menyalurkan beban lalu lintas ke lapisan di bawahnya agar stabilitas jalan terjaga. Pada Pada pekerjaan perkerasan lentur ini, alat berat yang digunakan diantaranya:

1. *Dump truck* sebagai alat pengangkut material
2. *Compressor* sebagai alat untuk membersihkan lokasi dari debu
3. *Asphalt distributor* sebagai alat untuk menyemprotkan aspal cair atau *prime coat*
4. *Asphalt finisher* atau *asphalt paver* sebagai alat menghamparkan campuran aspal
5. *Vibro roller* sebagai alat untuk pemadatan awal
6. *Pneumatic tire roller* sebagai alat untuk pemadatan kedua

e. Metode Pelaksanaan Perkerasan Lentur AC-WC

Pekerjaan ini dilakukan sepanjang STA. 6+000 – STA. 12+625. Lapisan untuk perkerasan lentur AC-WC ini berfungsi sebagai lapisan aus yang bergesekan langsung dengan ban kendaraan serta lapisan AC-WC ini mampu menambah daya tahan perkerasan terhadap penurunan kualitas konstruksi selain itu lapisan ini juga berfungsi sebagai lapisan yang kedap air sehingga air tidak meresap kedalam lapisan di bawahnya dan melemahkan lapisan-lapisan tersebut. Pada pekerjaan perkerasan lentur ini, alat berat yang digunakan diantaranya:

1. *Dump truck* sebagai alat pengangkut material
2. *Compressor* sebagai alat untuk membersihkan lokasi dari debu
3. *Asphalt distributor* sebagai alat untuk menyemprotkan aspal cair atau *prime coat*
4. *Asphalt finisher* atau *asphalt paver* sebagai alat menghamparkan campuran aspal
5. *Vibro roller* sebagai alat untuk pemadatan awal
6. *Pneumatic tire roller* sebagai alat untuk pemadatan kedua

Perhitungan Produktivitas Alat Berat

Alat berat yang dipakai memiliki masing-masing produktifitas yang berbeda-beda tergantung kapasitas alat, waktu siklus, dan juga efisiensi alat. Untuk menghitung produktifitas alat dalam suatu pekerjaan perlu disesuaikan dengan alternatif kombinasinya. Hasil dari perhitungan pekerjaan perkerasan lentur AC-WC dapat dilihat di dalam tabel di bawah ini:

Tabel 2. Rekap Produktifitas Alat Berat

Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC			
Jenis Alat Berat	Produktifitas	Satuan	Keterangan
Dump Truck Tipe Hino DUTRO	3,72	ton/Jam	Asphalt Paver Ammann AFT350E

Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX	3,72	ton/Jam	Asphalt Paver Ammann AFT350E
Asphalt Paver Ammann AFT350E	51,54	ton/Jam	
Asphalt Distributor Diamond	4.980,00	liter/Jam	
Air Compressor AIRMAN PDS 185 S	9,96	m2/Jam	
Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 (Compactor)	67,73	ton/Jam	
Pneumatic Tire Roller Sakai TS150	40,46	ton/Jam	

Sumber: Hasil Perhitungan

Perhitungan Biaya Sewa dan Operasional

Biaya sewa dan operasional adalah biaya yang dikeluarkan untuk biaya dari unit yang digunakan beserta bahan bakar dan upah operator. Pada kasus di Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 seluruh alat berat yang digunakan adalah milik perusahaan, sehingga biaya yang tercantum termasuk biaya kerusakan atau perawatan alat. Hasil dari perhitungan volume pekerjaan dapat dilihat di dalam tabel di bawah ini:

Tabel 3. Rekap Biaya Sewa dan Operasional

Unit Alat	Biaya Sewa dan Operasional (per jam)	Biaya Mobilisasi
Excavator Tipe Caterpillar 320D2	Rp 885.797	Rp 7.560.000
Excavator Tipe Liugong 922E	Rp 898.795	Rp 7.560.000
Excavator Tipe Komatsu PC 210	Rp 842.728	Rp 7.560.000
Dump Truck Tipe Hino DUTRO	Rp 489.670	Rp 1.350.000
Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX	Rp 518.596	Rp 1.350.000
Bulldozer Tipe ZOOMLION ZD 160-3	Rp 761.363	Rp 4.500.000
Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle Dozer	Rp 753.600	Rp 4.500.000
Vibro Roller Tipe Ammann ASC-200 (Compactor)	Rp 806.326	Rp 5.400.000
Sheep Foot Roller Tipe Ammann ASC-200	Rp 883.508	Rp 5.400.000
Motor Grader Tipe Caterpillar 120 K	Rp 556.406	Rp 5.400.000
Motor Grader Tipe Mitsubishi MG330	Rp 612.884	Rp 5.400.000
Water Tank Truck Mitsubishi 125HD	Rp 514.061	Rp 1.350.000
Air Compressor AIRMAN PDS 185 S	Rp 274.453	Rp 900.000
Pneumatic Tire Roller Sakai TS150	Rp 494.260	Rp 5.400.000
Asphalt Paver Ammann AFT350E	Rp 459.907	Rp 7.200.000
Asphalt Distributor Diamond	Rp 398.679	Rp 1.260.000

Sumber: Hasil Perhitungan

Optimasi Kombinasi Alat dengan Metode Simpleks

Setelah terjabarkan volume pekerjaan, produktifitas alat berat, alternatif kombinasi, biaya sewa dan operasional. Lalu masuk ke langkah proses optimasi yang harus menjabarkan masing-masing kendala. Setelah ini masuk ke langkah proses optimasi menggunakan aplikasi LINDO (*Linier Interactive Descrete Optimizer*). Berikut ini adalah hasil optimasi alternatif kombinasi alat berat pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC.

1. Penentuan Variabel Keputusan

- X_1 = Jumlah unit *Dump Truck* Tipe Hino Dutro
- X_2 = Jumlah unit *Air Compressor* Airman PDS 185 S
- X_3 = Jumlah unit *Asphalt Distributor* Diamond
- X_4 = Jumlah unit *Asphalt Paver* Ammann AFT350E
- X_5 = Jumlah unit *Vibro Roller* Tipe Ammann ASC-200 (Compactor)
- X_6 = Jumlah unit *Pneumatic Tire Roller* Sakai TS150

2. Penentuan Fungsi Tujuan

$$Z \text{ min} = C_1X_1 + C_2X_2 + C_3X_3 + C_4X_4 + C_5X_5 + C_6X_6$$

3. Penentuan Fungsi Kendala

- $3,72 X_1 \geq 8,08$
- $9,96 X_2 \geq 8,08$
- $4980 X_3 \geq 8,08$
- $51.54X_4 \geq 8,08$
- $67,73 X_5 \geq 8,08$
- $40,46 X_6 \geq 8,08$

4. Penentuan Fungsi Ketidaknegatifan

$$25X_1 + 22X_2 + 26X_3 + 50X_4 + 24X_5 + 17X_6 \leq 49688$$

$$4,955X_1 \leq 7,5$$

$$1,650X_2 \leq 7,5$$

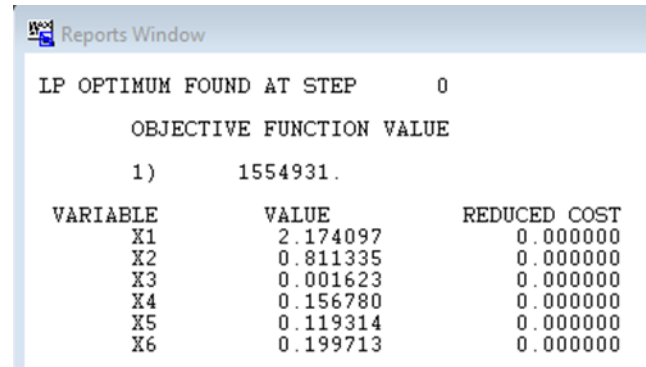
$$1,520X_3 \leq 7,5$$

$$3,500X_4 \leq 7,5$$

$$5,100X_5 \leq 7,5$$

$$4,650X_6 \leq 7,5$$

Berikut ini adalah hasil optimasi alat berat pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC dapat dilihat di **Gambar 2**.



Gambar 2. Hasil Optimasi Alat Berat pada Pekerjaan

Perkerasan Lentur AC-WC
 Sumber: Hasil Analisis LINDO

Didapatkan hasil bahwa:

- $X_1 = 2,174097 \approx 3$ unit
- $X_2 = 0,811335 \approx 1$ unit
- $X_3 = 0,001623 \approx 1$ unit
- $X_4 = 0,156780 \approx 1$ unit
- $X_5 = 0,119314 \approx 1$ unit
- $X_6 = 0,199713 \approx 1$ unit

Hasil Rekapitulasi Biaya Total Tiap Pekerjaan

Setelah keseluruhan perhitungan biaya per jam diketahui, maka dihitung biaya total masing-masing kombinasi di setiap pekerjaannya, dengan cara mengalikan dengan durasi setiap pekerjaannya dan dijumlahkan dengan biaya total mobilisasi alat yang sudah dikalikan dengan jumlah alatnya di masing-masing kombinasi.

Tabel 4. Hasil Rekapitulasi Biaya Total Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC

Jenis Pekerjaan	Alternatif yang dipilih	Kombinasi Alat Berat	Jumlah Unit	Biaya Total
Pekerjaan AC-WC	Alternatif 1	CO1	1	Rp 2.231.865.318
		AD1	1	
		AP1	1	
		VR1	1	
		PTR1	1	
	Alternatif 2	DT2	3	Rp 2.280.954.002
		CO1	1	
		AD1	1	
		AP1	1	
		VR1	1	
		PTR1	1	

Sumber: Hasil Perhitungan

Total Biaya Alternatif Kombinasi yang Paling Optimum

Dari hasil rekapitulasi di atas telah diketahui biaya yang paling minimum pada masing-masing pekerjaan. Untuk pekerjaan galian dipilih alternatif kombinasi 5. Untuk pekerjaan timbunan dipilih alternatif kombinasi 7. Untuk pekerjaan lapis pondasi agregat dipilih alternatif kombinasi 1. Untuk pekerjaan perkerasan lentur AC-BC dipilih alternatif kombinasi 1. Untuk pekerjaan perkerasan lentur AC-WC dipilih alternatif kombinasi 1. Sehingga total biaya yang paling minimum untuk Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 STA 6.00 – STA 12.625 adalah Rp 86.387.211.122.

Tabel 5. Rekap Biaya Alternatif Kombinasi yang Paling Optimum

Jenis Pekerjaan	Volume	Alternatif 1	
		Kombinasi Alat Berat	Total Biaya Pekerjaan
Pekerjaan AC-WC	4,571	DT1 = 3	Rp 2.231.865.318
		CO1 = 1	
		AD1 = 1	
		AP1 = 1	
		VR1 = 1	
		PTR1 = 1	

Sumber: Hasil Perhitungan

4. KESIMPULAN

Dari hasil pembahasan optimasi pelaksanaan Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 Blitar STA 6+000 – STA 12+625, dengan menggunakan Program Linear Metode Simpleks, didapatkan beberapa kesimpulan, yaitu:

1. Volume material pada pekerjaan galian sebesar 1.179.726,37 m³ dan pengerjaannya dibagi menjadi 5 Zona, volume material pada pekerjaan timbunan sebesar 162.539,86 m³ dan pengerjaannya dibagi menjadi 2 Zona, volume material pada pekerjaan lapis pondasi agregat sebesar 24.048,75 m³, volume material pada pekerjaan perkerasan lentur AC-BC sebesar 6.856,88 ton dan volume material pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC sebesar 4.571,25 ton.
2. Produktivitas alat berat yang digunakan pada proyek ini dan durasi masing-masing pekerjaan sebagai berikut
 - a. Pekerjaan Galian

Pada pekerjaan galian produktivitas *Excavator Breaker Caterpillar 320D* sebesar 30,00 m³/jam, produktivitas *Bulldozer Tipe Zoomlion ZD 160-3* sebesar 100,31 m³/jam, produktivitas *Bulldozer Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle Dozer* sebesar 126,53 m³/jam, produktivitas *Excavator Tipe Liugong 922E* sebesar 89,3 m³/jam, produktivitas *Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO* sebesar 83,2 m³/jam, produktivitas *Dump Truck Tipe Hino Dutro* yang melayani *Excavator Tipe Liugong 922E* sebesar 71,8 m³/jam, dan produktivitas *Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX* yang melayani *Excavator Tipe Liugong 922E* sebesar 71,8 m³/jam. Produktivitas *Dump Truck Tipe Hino Dutro* yang melayani *Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO* sebesar 74,93 m³/jam, dan produktivitas *Dump Truck Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX* yang melayani *Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO* sebesar 74,93 m³/jam. Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.311 jam.
 - b. Pekerjaan Timbunan

Pada pekerjaan timbunan produktivitas *Excavator Tipe Liugong 922E* sebesar 89,30 m³/jam, produktivitas *Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO*

sebesar 83,20 m³/jam, produktivitas *Dump Truck* Tipe Hino Dutro yang melayani Excavator Tipe Liugong 922E sebesar 66,70 m³/jam, dan produktivitas *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX yang melayani Excavator Tipe Liugong 922E sebesar 66,70 m³/jam. Produktivitas *Dump Truck* Tipe Hino Dutro yang melayani Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO sebesar 64,21 m³/jam, dan produktivitas *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX yang melayani Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO sebesar 64,21 m³/jam, produktivitas *Motor Grader* Tipe Caterpillar 120 K sebesar 54,60 m³/jam, produktivitas *Motor Grader* Tipe Mitsubishi MG330 sebesar 80,38 m³/jam, produktivitas *Sheep Foot Roller* Tipe Ammann ASC-200 sebesar 270,91 m³/jam, produktivitas *Water Tank Truck* Mitsubishi 125HD sebesar 71,14 m³/jam. Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 1.054 jam

c. Pekerjaan Lapis Pondasi Agregat

Pada pekerjaan lapis pondasi agregat produktivitas *Dump Truck* Tipe Hino Dutro sebesar 5,93 m³/jam, produktivitas *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX 5,93 m³/jam, produktivitas *Motor Grader* Tipe Caterpillar 120 K sebesar 54,60 m³/jam, produktivitas *Motor Grader* Tipe Mitsubishi MG330 sebesar 80,38 m³/jam, produktivitas *Vibro Roller* Tipe Ammann ASC-200 sebesar 338,64 m³/jam, produktivitas *Water Tank Truck* Mitsubishi 125HD sebesar 71,14 m³/jam. Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 463 jam.

d. Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-BC

Pada pekerjaan perkerasan AC-BC produktivitas *Dump Truck* Tipe Hino Dutro sebesar 3,72 ton/jam, produktivitas *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX 3,72 ton/jam, produktivitas *Asphalt Paver* Ammann AFT350E sebesar 77,31 ton/jam, produktivitas *Asphalt Distributor* Diamond sebesar 4980 liter/jam, produktivitas *Air Compressor Airman* PDS 185 S sebesar 9,96 m²/jam, produktivitas *Vibro Roller* Tipe Ammann ASC-200 sebesar 101,59 ton/jam, produktivitas *Pneumatic Tire Roller* Sakai TS150 sebesar 60,69 ton/jam. Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 591 jam.

e. Pekerjaan Perkerasan Lentur AC-WC

Pada pekerjaan perkerasan AC-WC produktivitas *Dump Truck* Tipe Hino Dutro sebesar 3,72 ton/jam, produktivitas *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDX 3,72 ton/jam, produktivitas *Asphalt Paver* Ammann AFT350E sebesar 51,54 ton/jam, produktivitas *Asphalt Distributor* Diamond sebesar

4980 liter/jam, produktivitas *Air Compressor Airman* PDS 185 S sebesar 9,96 m²/jam, produktivitas *Vibro Roller* Tipe Ammann ASC-200 sebesar 67,73 ton/jam, produktivitas *Pneumatic Tire Roller* Sakai TS150 sebesar 40,46 ton/jam. Dengan durasi pada pekerjaan ini adalah 566 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, SFR1, WT1; K2 = EXC1, DT2, MG1, SFR1, WT1; K3 = EXC2, DT1, MG1, SFR1, WT1; K4 = EXC2, DT2, MG1, SFR1, WT1; K5 = EXC1, DT1, MG2, SFR1, WT1; K6 = EXC1, DT2, MG2, SFR1, WT1; K7 = EXC2, DT1, MG2, SFR1, WT1; K8 = EXC2, DT2, MG2, SFR1, WT1

c. Pada Pekerjaan Lapisan Pondasi Agregat

K1 = DT1, MG1, SFR1, WT1; K2 = DT2, MG1, SFR1, WT1; K3 = DT1, MG2, SFR1, WT1; K4 = DT2, MG2, SFR1, 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:

1. *Excavator* Tipe Caterpillar 320D2EXB1
2. *Excavator* Tipe Liugong 922EEXC1
3. *Excavator* Tipe Komatsu PC 200-8MOEXC2
4. *Dump Truck* Tipe Hino DutroDT1
5. *Dump Truck* Tipe Mitsubishi Colt FE SHDXDT2
6. *Bulldozer* Tipe Zoomlion ZD 160-3BD1
7. *Bulldozer* Tipe Komatsu D85E SS-2 Angle DozerBD2
8. *Vibro Roller* Tipe Ammann ASC-200VR1
9. *Sheep Foot Roller* Tipe Ammann ASC-200SFR1
10. *Motor Grader* Tipe Caterpillar 120 KMG1
11. *Motor Grader* Tipe Mitsubishi MG330MG2
12. *Water Tank Truck* Mitsubishi 125HDWT1
13. *Air Compressor* Airman PDS 185 SCO1
14. *Pneumatic Tire Roller* Sakai TS150PTR1
15. *Asphalt Paver* Ammann AFT350EAP1
16. *Asphalt Distributor* DiamondAD1

4. Jumlah kebutuhan dan biaya operasional penggunaan alat berat yang optimum pada masing-masing pekerjaan adalah sebagai berikut :
- a. Pada pekerjaan galian Zona 1
Kombinasi 3 = 6 unit EXB1, 2 unit BD1, 2 unit EXC1, 3 unit DT1 dengan biaya Rp13.176.571.161,81
 - b. Pada pekerjaan galian Zona 2
Kombinasi 5 = 6 unit EXB1, 2 unit BD1, 2 unit EXC1, 3 unit DT1 dengan biaya Rp13.303.260.593,87
 - c. Pada pekerjaan galian Zona 3
Kombinasi 5 = 6 unit EXB1, 2 unit BD1, 2 unit EXC1, 3 unit DT1 dengan biaya Rp13.303.260.593,87
 - d. Pada pekerjaan galian Zona 4
Kombinasi 5 = 6 unit EXB1, 2 unit BD1, 2 unit EXC1, 3 unit DT1 dengan biaya Rp14.472.416.755,81
 - e. Pada pekerjaan galian Zona 5
Kombinasi 7 = 7 unit EXB1, 2 unit BD1, 2 unit EXC1, 3 unit DT1 dengan biaya Rp15.438.044.101,94
 - f. Pada pekerjaan timbunan Zona 1
Kombinasi 1 = 1 unit EXC1, 2 unit DT1, 2 unit MG1, 1 unit SFR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp5.197.591.922,25
 - g. Pada pekerjaan timbunan Zona 2
Kombinasi 7 = 1 unit EXC1, 1 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit SFR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp3.545.185.291,73
 - h. Pada pekerjaan Lapis Pondasi Agregat
Kombinasi 1 = 9 unit DT1, 1 unit MG1, 1 unit SFR1, 1 unit WT1 dengan biaya Rp2.932.652.604,82
 - i. Pada pekerjaan AC – BC
Kombinasi 1 = 4 unit DT1, 2 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp2.786.362.777,16
 - j. Pada Pekerjaan AC – WC
Kombinasi 1 = 3 unit DT1, 1 unit CO1, 1 unit AD1, 1 unit AP1, 1 unit VR1, 1 unit PTR1 dengan biaya Rp 2.231.865.318,31
5. Setelah dilakukan optimasi terhadap alternatif kombinasi yang ada, maka telah diketahui penggunaan alat berat yang paling optimum dan paling murah untuk pelaksanaan Proyek Jalur Lintas Selatan Lot 7 Blitar STA 6+000 – STA 12+625 yaitu
- a. Pada pekerjaan galian total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 69.693.553.207,31
 - b. Pada pekerjaan timbunan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 8.742.777.213,98
 - c. Pada pekerjaan lapis pondasi agregat di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 2.932.652.604
 - d. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-BC di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 2.786.362.777
 - e. Pada pekerjaan perkerasan lentur AC-WC di pilih alternatif 1 dengan total biaya operasional dan mobilisasi sebesar Rp 2.231.865.318
- Sehingga total biaya keseluruhan yang paling murah adalah sebesar Rp 86.387.211.122

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Undang-Undang Republik Indonesia Nomor 38/2004 tentang *Jalan*.
- [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] Peraturan Menteri Pekerjaan Umum Dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 tentang *Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*.
- [5] Katalog Alat Berat 2013 Kementrian Pekerjaan Umum.
- [6] Kholil, Ahmad. 2012. *Alat Berat*. Bandung: PT. Remaja Rosdakarya.
- [7] 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.
- [8] Rosyanti, S. F. 2002. *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. Jakarta. PT. Rineka Cipta.
- [9] Rosyanti, S. F. 2008. *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi Edisi Kedua*. Jakarta. PT. Rineka Cipta.
- [10] Rochmanhadi, 1984. *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan Menggunakan Alat-alat Berat*. Departement Pekerjaan Umum, Jakarta.
- [11] Siringoringo, Hotniar. 2005. *Seri Teknik Operasional Pemograman Linier*. Yogyakarta: Graha ilmu.