

PENGARUH KOMPOSISI ALAT BERAT PEKERJAAN TANAH TERHADAP BIAYA ALAT OPTIMUM

¹Sitti Safiatius Riskijah, ²Radhia Jatu Noviarsita Sakti, ³Agustin Dita Lestari

^{1,2,3}Dosen Jurusan Teknik Sipil Politeknik Negeri Malang
¹ririssafiatius@gmail.com, ²radhiasita@yahoo.com, ³agustinditalestari89@gmail.com

Abstrak

Normalisasi dan pelebaran volume pekerjaan Kali X sangat besar, membutuhkan alat berat untuk pelaksanaannya. Jenis alat berat yang dapat digunakan bervariasi, sedangkan semakin besar kapasitas alat berat yang digunakan maka semakin mahal biayanya. Oleh karena itu, perlu dilakukan penelitian untuk melihat pengaruh komposisi alat berat terhadap biaya optimalnya. Data yang dibutuhkan adalah gambar rencana, RKS, volume pekerjaan, harga sewa alat dan upah, jadwal dan kurva S. Kami menentukan biaya alat yang optimal menggunakan metode simpleks dengan aplikasi LINDO dan menganalisis pengaruhnya menggunakan analisis regresi linier dengan SPSS. Hasil analisis pengaruh yang diperoleh menunjukkan bahwa komposisi alat berat (dinyatakan dengan produktivitas alat total) memberikan pengaruh yang sangat kuat dan signifikan terhadap biaya optimal alat berat dengan $R^2 = 0,967$ pada pekerjaan galian pembersihan, $R^2 = 0,908$ pada pekerjaan galian biasa, pekerjaan, dan $R^2 = 0,985$ pada pekerjaan timbunan. Hal ini menunjukkan bahwa komposisi alat berat dengan produktivitas lebih rendah berarti biaya penggunaan alat semakin murah, sehingga hasil optimasi biaya penggunaan alat difokuskan pada komposisi alat dengan produktivitas paling rendah.

Kata kunci: Pekerjaan galian, pekerjaan tanggul, kombinasi alat berat, biaya optimal

Abstract

The normalization and widening work volume of the Kali X is huge, it needs heavy equipment for its implementation. The type of usable heavy equipment varies, whilst the greater the capacity of the used equipmen, the more expensive the cost. Therefore, research is needed to observe the effect of heavy equipment composition on its optimal cost. The data needed are plan drawings, RKS, volume of work, equipment rental prices and wages, schedules and S curves. We determine the optimal tool costs using simplex method with the LINDO application and analyse the effect using linear regression analysis with SPSS. The obtained results of the effect analysis show that the composition of heavy equipment (expressed by total tool productivity) contributes a very strong and significant influence to the optimal cost of heavy equipment with $R^2 = 0.967$ in clearing excavation work, $R^2 = 0.908$ in ordinary excavation work, and $R^2 = 0.985$ on embankment work. This shows that the composition of heavy equipment with lower productivity means the cost of using the tool is getting cheaper, so the results of optimizing the cost of using the tool are focused on the composition of tools with the lowerst productivity.

Keywords: Excavation work, embankment work, combination of heavy equipment, optimal cost

Pendahuluan

Proyek Pembangunan Pengendali Banjir Kali X di Jawa Timur bertujuan untuk mengurangi risiko banjir di kawasan tersebut dengan salah satu cara melakukan normalisasi dan pelebaran alur Kali X. Volume pekerjaan ini sangat besar sehingga diperlukan alat berat untuk pelaksanaannya. Jenis dan type alat berat yang dapat digunakan bervariasi, semakin besar kapasitas alat berat yang digunakan akan berakibat pada biaya alat semakin mahal. Oleh karena itu perlu dilakukan penelitian dengan tujuan mengetahui pengaruh

komposisi alat berat terhadap biaya optimum alat berat yang digunakan.

Fandi (2019) dalam jurnalnya menyatakan bahwa produktivitas alat dipengaruhi oleh kapasitas produksi alat berat. Sedangkan Huda (2016) dalam jurnalnya menyatakan biaya optimum penggunaan alat berat pada zona 1 sebesar Rp. 9.534.001.692 dengan komposisi 6 unit *excavator* Catterpillar 320D (bucket 0,9m³), 13 unit *dump truck* Hino 500 130 HD (9m³), 9 unit *bulldozer* Komatsu D31P-20 (blade 1,3m³), dan 3 unit *vibro roller* Dynapac. Hasil

Pengaruh Komposisi Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Biaya Alat Optimum

optimasi ini lebih murah 4,91% dari nilai kontrak pekerjaan galian pada tubuh bendung dan timbunan pada tanggul. Serta Nida (2016) dalam jurnalnya menyatakan biaya minimum alat berat yang dibutuhkan untuk zona 2 terdiri dari: 6 unit *Excavator Kobelco SK200-8* (bucket 0.98 m³), 13 unit/hari *Dumptruck Hino 500 130 HD* (9 m³), 9 unit/hari *Bulldozer Komatsu D31P-20* (blade 1.3 m³), dan 3 unit/hari *Vibro roller dynapac*, dengan biaya optimum Rp. 11.988.737.032.

Menurut Hartono (2005), pekerjaan tanah terdiri dari pekerjaan pemotongan tanah, pemuat-an, pengangkutan, penebaran tanah, pembersihan permukaan, pemadatan tanah, pembasahan, dan galian tanah. Pada pemindahan tanah mekanis selalu berhubungan dengan macam-macam kondisi tanah, karena volume dan kemampatan tanah akan berubah jika tanah dikerjakan. Keadaan tanah yang terjadi antara lain yaitu keadaan asli, lepas, dan padat. Dan menurut Rostiyanti (2008) material yang ada di alam pada umumnya tidak homogen, tetapi merupakan material campuran. Material juga bervariasi dari yang berpori sampai yang padat.

Faktor konversi tanah dari keadaan asli ke padat atau ke lepas atau sebaliknya ditunjukkan pada Tabel 1.

Tabel 1. Faktor Perubahan Volume Tanah

| Tanah asli | Kondisi Tanah | Perubahan Kondisi Tanah | | |
|------------|------------------|-------------------------|-------|-------|
| | | Asli | Lepas | Padat |
| Tanah | a. Keadaan Asli | 1,00 | 1,25 | 0,90 |
| Liat | b. Keadaan Lepas | 0,80 | 1,00 | 0,72 |
| Berpasir | c. Keadaan Padat | 1,11 | 1,39 | 1,00 |

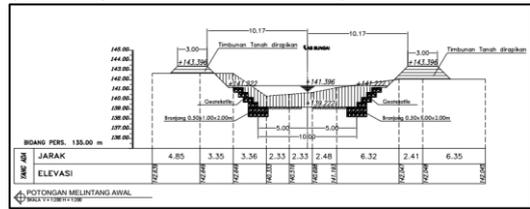
(Permen PUPR Nomor 28 Tahun 2016)

Menurut Rostiyanti (2008:1), tujuan dari penggunaan alat-alat berat adalah untuk memudahkan manusia dalam mengerjakan pekerjaannya, sehingga hasil yang diharapkan dapat tercapai lebih mudah dengan waktu yang relative lebih singkat.

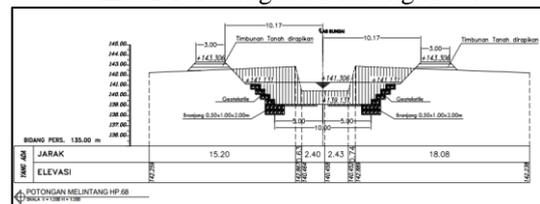
Dalam pekerjaan tanah memerlukan beberapa jenis peralatan dan metode yang sesuai untuk pembentukan permukaan tanah pada lokasi tersebut. Pekerjaan yang ditinjau dalam penelitian ini adalah pekerjaan galian dan timbunan yang meliputi penggalian tanah, pengangkutan tanah, perataan tanah, dan pemadatan tanah di zona 1 (sungai X1) dan zona 2 (Sungai X2). Pekerjaan galian terdiri dari pekerjaan galian *clearing* pada bagian rencana tanggul, dan pekerjaan galian biasa yang terdapat pada bagian alur sungai. Pekerjaan galian *clearing* pada zona 1 dan zona 2 masing-masing dibagi dua sisi yaitu sisi kiri dan sisi kanan dari alur sungai seperti ditunjukkan pada Gambar 1 dan 2.

Pekerjaan galian biasa pada zona 1 (Sungai X1) tidak begitu lebar maka tidak dibagi 2 sisi, namun pada zona 2 (sungai X2) dengan lebar sungai yang besar dan cukup dalam maka dibagi 2 sisi yaitu sisi kiri dan kanan. Pada Zona 1 volume tanah asli galian *clearing* sisi kiri 1769,227 m³, sisi kanan 1746,216 m³, dan volume galian biasa sisi kiri 13684,063 m³, dan sisi kanan 14237,919 m³, dan volume timbunan pada sisi kiri 13684,063 m³, dan sisi kanan 14237,919 m³. Pada Zona 2 volume tanah asli galian *clearing* sisi kiri 3439,046 m³, sisi kanan 3522,933 m³, dan volume galian biasa sisi kiri 204940,402 m³, sisi kanan

202336,051 m³, dan volume timbunan padat sisi kiri 17309,507 m³, dan sisi kanan 23080,100 m³.



Gambar 1. Potongan Melintang Awal



Gambar 2. Potongan Melintang HP.68

Tabel 2. Jenis Alat Berat dan Biayanya

| No | Tipe | Biaya Sewa dan Operasional Per Jam | Kode |
|----|--|------------------------------------|---------|
| 1 | Excavator Long Arm JCB JS205LR + Ponton | Rp 687,256 | EXCLC 1 |
| 2 | Excavator Long Arm JCB JS205 + Ponton | Rp 633,877 | EXCLC 2 |
| 3 | Excavator Tipe Caterpillar 320D2 | Rp 755,083 | EXC 1 |
| 4 | Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO | Rp 557,700 | EXC 2 |
| 5 | Dump Truck Tipe Hino FM 260JM | Rp 832,917 | DT 1 |
| 6 | Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ | Rp 737,758 | DT 2 |
| 7 | Bulldozer Tipe Caterpillar D5RXL | Rp 626,699 | BD 1 |
| 8 | Bulldozer Tipe Komatsu D65 E-12 Angle Dozer | Rp 950,090 | BD 2 |
| 9 | Vibro Roller Tipe Dynapac CA250D (Compactor) | Rp 467,210 | VB 1 |

Alat berat yang ditinjau dalam penelitian ini adalah yang umum digunakan untuk pekerjaan pemindahan tanah mekanis pada proyek pengendali banjir ini, yaitu *Excavator*, *Bulldozer*, *Dump Truck*, dan *Compactor*, dengan jenis dan tipe alat serta biaya alat seperti pada Tabel 2. Contoh alat berat yang digunakan seperti pada Gambar 3.



Gambar 3. Contoh Alat Berat Pekerjaan Tanah

Metode dan tahapan penelitian yaitu: meng-identifikasi item pekerjaan galian dan timbunan beserta volumenya, menyusun metode pelak-sanaan pekerjaan tanah, menentukan jenis alat berat untuk pekerjaan galian dan timbunan, menghitung produktivitas alat berat, membuat alternatif kombinasi alat berat berdasarkan jenis dan tipe alat berat, menghitung biaya operasional tiap alat berat, melakukan proses optimasi setiap alternatif kombinasi menggunakan Metode Simpleks dengan bantuan aplikasi Lindo, melakukan analisis regresi linier sederhana untuk

Pengaruh Komposisi Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Biaya Alat Optimum

mengetahui pengaruh kombinasi alat terhadap biaya optimum alat berat menggunakan SPSS, dan membuat kesimpulan seberapa kuat pengaruh komposisi alat berat terhadap biaya optimum alat berat.

2. Produktivitas Alat Berat

Penentuan produktivitas alat berat perlu memperhatikan faktor-faktor koreksi yang secara langsung dapat mempengaruhi produksinya (Permen PUPR No.28-2016).

2.1 Produktivitas Excavator

Backhoe/Excavator adalah alat untuk menggali tanah. Perhitungan produktivitas excavator (Kapasitas produksi per jam = Q) menggunakan rumus 1:

$$Q = \frac{V \times F_b \times F_a \times 60}{T_{S1} \times F_v}, m^3 \times \text{faktor gembur} \quad (1)$$

Keterangan :

V: kapasitas *bucket* (m^3), F_b : factor *bucket*, F_a : factor efisiensi alat (kondisi kerja paling baik, $F_a = 0,83$), F_v : factor konversi (kedalaman < 40%), T_s : waktu siklus (menit) yang dihitung menggunakan rumus 2, 60: konversi jam ke menit.

$$T_s = \sum_{n-1}^n T_n, \text{ menit} \quad (2)$$

Keterangan :

T1: lama menggali, memuat, lain-lain (standart), (maksimum 0,32 menit). T2: lain-lain (standart), maksimum 0,10 menit, dan T_s : waktu siklus.

2.2 Produktivitas Dump Truck

Dump truck berfungsi memindahkan suatu material dari suatu tempat ke tempat lain. Produksi perjamnya dihitung dengan rumus 3:

$$Q = \frac{V \times F_a \times 60}{D \times T_s} m^3 \times \text{factor gembur} \quad (3)$$

Produksi persiklus dihitung dengan rumus 4:

$$T_s = \sum_{n-1}^n T_n \text{ menit} \quad (4)$$

Keterangan :

Q: kapasitas produksi *dump truck* (m^3 /jam), V: kapasitas bak (ton), F_a : faktor efisiensi alat, F_k : faktor pengembangan bahan, D: berat isi material (lepas,gembur) (ton/m^3), V_1 : kecepatan rata-rata bermuatan, (15 -25) km/ jam, V_2 : kecepatan rata-rata kosong, (25 - 35) km/jam, T_s : waktu siklus, T_1 : waktu muat, dihitung dengan rumus 5:

$$T_1 = \frac{V \times 60}{D \times Q_{Exc}}; \text{ menit} \quad (5)$$

Q_{Exc} : kapasitas produksi *Excavator* (m^3 /jam), bila kombinasi dengan alat *Excavator*. T_2 : waktu tempuh isi dihitung dengan rumus 6:

$$T_2 = (L / V_1) \times 60; \text{ menit} \quad (6)$$

$$T_3 = (L / V_2) \times 60 \text{ (menit)} \quad (7)$$

T_3 : waktu tempuh kosong; T_4 : waktu lain-lain (menit), dan 60 : konversi jam ke menit

2.3 Produktivitas Bulldozer

Bulldozer adalah traktor yang dipasangkan *blade* di depannya. *Blade* berfungsi untuk mendorong, atau memotong material yang ada di depannya (Rostiyanti,2008: 35). Produktivitas per jam bulldozer dapat dihitung dengan rumus 8 untuk pengupasan dan 9 untuk meratakan:

$$Q = \frac{q \times F_b \times F_m \times F_a \times 60}{T_s} m^2 \times \text{faktor gembur} \quad (8)$$

$$Q = \frac{l \times \{n(L-L_0)+L_0\} \times F_b \times F_m \times F_a \times 60}{N \times n \times T_s} m^2 \times \text{f. Gembur} \quad (9)$$

Keterangan:

Q: kapasitas untuk pengupasan (m^2 /jam), F_b : faktor pisau (*blade*), (umumnya mudah, diambil 1), F_a : faktor efisiensi kerja *Bulldozer*, F_m : faktor kemiringan pisau (*grade*), (diambil 1 untuk datar, 1,2 untuk turun - 15%, 0,7 untuk nanjak + 15%), V_f : kecepatan mengupas (km/jam), V_r : kecepatan mundur (km/jam), q: kapasitas pisau dapat dihitung menggunakan rumus 10:

$$q = L \times H^2, m^3 \quad (10)$$

(lebar pisau,L; tinggi pisau,H)

T1 waktu gusur dihitung dengan rumus 11:

$$T_1 = (l \times 60) : V_f \text{ (menit)} \quad (11)$$

T2 waktu kembali dihitung dengan rumus 12:

$$T_2 = (l \times 60) : V_r \text{ (menit)} \quad (12)$$

T3 waktu lain-lain (menit), dan T_s : waktu siklus dapatdihitung menggunakan rumus 13:

$$T_s = \sum_{n-1}^n T_n \text{ (menit)} \quad (13)$$

60: konversi jam ke menit, L_0 : lebar overlap, (diambil 0,30 m), I: jarak pengupasan, (diambil 30 m), n: jumlah lajur lintasan, (diambil 3 lajur); lajur. N: jumlah lintasan pengupasan, (diambil 1 kali).

2.4 Produktivitas Alat Pematik (Compactor)

Menurut Rostiyanti (2008), pemadatan tanah dilakukan oleh alat pematik berupa *compactor*. Perhitungan produktifitas alat pematik menggunakan rumus 14:

$$Q = \frac{(b_e \times v \times 1000) \times t \times F_a}{n} m^3 \times \text{faktor gembur} \quad (14)$$

Keterangan:

b_e : lebar efektif pemadatan = $b-b_0$ (*overlap*) meter, b: lebar efektif pemadatan; (1,680 m)

b_0 : lebar *overlap*; (0,20 m); m. t : tebal pemadatan; m. v: kecepatan rata-rata alat; (diambil 4,0 km/jam); km/jam. n: jumlah lintasan; (diambil 8 lintasan); lintasan. F_a : factor efisiensi alat; diambil 0,83 (kondisi baik). 1000: perkalian dari km ke m

Hasil perhitungan produktivitas alat berat pada pekerjaan clearing disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Produktivitas Alat Pek. Clearing Zona 1

| JENIS ALAT BERAT | PRODUKTIFITAS | SATUAN | KET |
|---|---------------|---------------------|------|
| Sungai X1 (kiri) | | | |
| Bulldozer Tipe Caterpillar D5RXL | 46.394 | m ³ /jam | |
| Bulldozer Tipe Komatsu D65 E-12 Angle Dozer | 48.915 | m ³ /jam | |
| Excavator Tipe Caterpillar 320D2 | 146.590 | m ³ /jam | |
| Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO | 134.460 | m ³ /jam | |
| Dump Truck Tipe Hino FM 260JM | 100.565 | m ³ /jam | EXC1 |
| Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ | 70.404 | m ³ /jam | EXC1 |
| Dump Truck Tipe Hino FM 260JM | 100.561 | m ³ /jam | EXC2 |
| Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ | 70.402 | m ³ /jam | EXC2 |
| Sungai X1 (kanan) | | | |
| Bulldozer Tipe Caterpillar D5RXL | 46.394 | m ³ /jam | |
| Bulldozer Tipe Komatsu D65 E-12 Angle Dozer | 48.915 | m ³ /jam | |
| Excavator Tipe Caterpillar 320D2 | 146.590 | m ³ /jam | |
| Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO | 134.460 | m ³ /jam | |
| Dump Truck Tipe Hino FM 260JM | 100.564 | m ³ /jam | EXC1 |
| Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ | 70.404 | m ³ /jam | EXC1 |
| Dump Truck Tipe Hino FM 260JM | 100.560 | m ³ /jam | EXC2 |
| Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ | 70.402 | m ³ /jam | EXC2 |

3. Optimasi Biaya Alat Berat

Pengaruh Komposisi Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Biaya Alat Optimum

Contoh optimasi dilakukan pada kombinasi alat berat alternatif 1 untuk pekerjaan Clearing Zona 1 yang ditunjukkan pada Tabel 4.

Tabel 4. Kombinasi Alat Berat Pekerjaan Clearing Zona 1

| Alternatif1 | Alternatif2 | Alternatif3 | Alternatif4 | Alternatif5 | Alternatif6 | Alternatif7 | Alternatif8 |
|---|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| KOMBINASI ALAT BERAT GALIAN CLEARING SUNGAI XI KIRI | | | | | | | |
| BD 1 | BD 1 | BD 1 | BD 1 | BD 2 | BD 2 | BD 2 | BD 2 |
| EXC 1 | EXC 1 | EXC 2 | EXC 2 | EXC 1 | EXC 1 | EXC 2 | EXC 2 |
| DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 |
| KOMBINASI ALAT BERAT GALIAN CLEARING SUNGAI XI KANAN | | | | | | | |
| BD 1 | BD 1 | BD 1 | BD 1 | BD 2 | BD 2 | BD 2 | BD 2 |
| EXC 1 | EXC 1 | EXC 2 | EXC 2 | EXC 1 | EXC 1 | EXC 2 | EXC 2 |
| DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 | DT 1 | DT 2 |

Masalah optimasi dapat diselesaikan dengan menggunakan metode program linier, yaitu suatu teknik optimalisasi dan sistem kendala linier yang bertujuan untuk memaksimalkan keuntungan atau meminimumkan biaya yang dibatasi oleh batasan tertentu (Rafflesia, 2017). Salah satu metode program linier adalah metode simpleks. Langkah yang paling menentukan dalam program linier adalah perumusan variabel keputusan dan memformulasikan fungsi tujuan, fungsi kendala, dan batasan variabel (Rafflesia, 2017). Permasalahan program linier standar dapat dirumuskan seperti persamaan 15 dan 16 (Mentari, 2018):

$$Z = c_1x_1 + c_2x_2 + c_3x_3 + \dots + c_jx_j \quad (15)$$

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1j}x_j = / \leq / \geq b_1 \quad (16)$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2j}x_j = / \leq / \geq b_2 \quad \dots$$

$$a_{j1}x_1 + a_{j2}x_2 + \dots + a_{jn}x_j = / \leq / \geq b_i$$

Dimana c_j : biaya per unit untuk setiap x_j ; x_j : variabel keputusan ke- j ; a_{ji} : persyaratan sumber daya i untuk setiap x_j ; b_i : jumlah sumber daya yang tersedia; j : banyaknya variabel keputusan, mulai dari 1,2,3... j ; dan i : jumlah penggunaan resource, mulai dari 1,2,3... i .

Untuk menyelesaikan program linier metode simpleks dapat menggunakan aplikasi LINDO (Linear Interactive Discrete Optimizer). Prinsip kerja dari aplikasi LINDO adalah menginputkan fungsi tujuan dan fungsi kendala, selanjutnya diproses untuk memperoleh hasil optimum serta menaksir kebenaran dan kelayakan formulasi berdasarkan penyelesaiannya.

Berdasarkan hasil analisis permasalahan ke dalam program linier, pada pekerjaan galian clearing zona 1 alternatif kombinasi 1 diperoleh hasil sebagai berikut:

1. Variabel keputusan:

X_1 : Jumlah unit Bulldozer Tipe Caterpillar D5RXL (BD 1); X_2 : Jumlah unit Excavator Tipe Caterpillar 320D2 (EXC 1); X_3 : Jumlah unit Dump Truck Hino FM 260JM (DT 1).

2. Fungsi Tujuan

$$Z \text{ min} = 626699 X_1 + 755083 X_2 + 832917 X_3,$$

3. Fungsi Kendala Luas Area

$$30.37X_1 + 38.94 X_2 + 33.53 X_3 \leq 8598.96,$$

Fungsi kendala lebar area proyek:

$$6.16X_1 \leq 6.197; 12.40X_2 \leq 6.197 ; 4.50X_3 \leq 6.197$$

4. Fungsi Kendala Volume

$$BD 1 : 46.394 X_1 \geq 13.366; EXC 1: 146.590 X_2 \geq 13.366; DT 1: 100.565 X_3 \geq 13.366$$

5. Fungsi Kendala Ketergantungan Alat

$$19 X_1 + 6 X_2 + 9 X_3 \geq 2211.5$$

Selanjutnya persamaan yang diperoleh diinputkan ke program LINDO dan hasil optimasinya sebagai berikut:

| | | |
|----------|----------|--------------|
| | 1) | 1424079. |
| VARIABLE | VALUE | REDUCED COST |
| X_1 | 1.006006 | 0.000000 |
| X_2 | 0.499758 | 0.000000 |
| X_3 | 1.377111 | 0.000000 |

Berarti jumlah alat yang optimum pada pekerjaan galian clearing, yaitu: Bulldozer Tipe Caterpillar D5RXL (BD 1) atau $X_1 = 1.0060 \approx 1$ unit; Excavator Tipe Caterpillar 320D2 (EXC 1) atau $X_2 = 0.4998 \approx 1$ unit; dan Dump Truck Hino FM 260JM (DT 1) atau $X_3 = 1,3771 \approx 2$ unit. Dan biaya minimum penggunaan alat berat Rp 1.424.079 per jam. Akan tetapi setelah dilakukan pembulatan jumlah alat berat dengan jumlah BD 1 = 1 unit, EXC 1 = 1 unit, dan DT 1 = 2 unit diperoleh biaya minimum alat berat = Rp. 3.047.616,- dengan rincian perhitungan $Z_{min} = \text{Rp. } 626,699 \cdot 1 + \text{Rp. } 755,083 \cdot 1 + \text{Rp. } 832,917 \cdot 2 = \text{Rp } 3,047,616$

Dengan proses yang sama untuk pekerjaan lainnya sampai diperoleh biaya optimum alat berat, maka selanjutnya akan dilakukan analisis regresi linier untuk mengetahui pengaruh kombinasi alat berat terhadap biaya optimum alat.

4. Analisis Pengaruh Komposisi Alat Berat Terhadap Biaya Optimum Alat Berat

Menurut Arikunto (2013:339), analisis korelasi dan regresi linier sederhana adalah analisis tentang hubungan antara satu variabel bebas dengan satu variabel tak bebasnya. Analisis regresi linear sederhana sebagai analisis preferensi yang digunakan untuk mengetahui pengaruh kombinasi alat berat terhadap biaya optimum alat berat. Persamaan regresi linier sederhana yang digunakan secara umum seperti rumus 17.

$$Y = b_0 + b_1X_1 \quad (17)$$

Dimana: Y = Keputusan biaya optimum; b_1 = Koefisien Regresi; X_1 = jumlah produktivitas alat berat total, dan b_0 adalah konstanta.

Dalam analisis regresi juga diperlukan uji hipotesis. Hipotesis penelitian ini adalah terdapat pengaruh yang signifikan antara komposisi alat berat terhadap biaya optimum penggunaan alat berat pada pekerjaan tanah pada Proyek Pengendali Banjir Kali X. Berdasarkan perumusannya hipotesis penelitian ini adalah H_0 : tidak ada pengaruh yang signifikan antara variabel komposisi alat berat terhadap biaya optimum alat berat, dan H_a : Ada pengaruh yang signifikan antara variabel komposisi alat berat terhadap biaya optimum alat berat.

Tabel 5. Nilai Total Produktivitas*Durasi dan Biaya Optimum Alat Berat

Pengaruh Komposisi Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Biaya Alat Optimum

| Pek. Galian Clearing | | Pek. Galian Biasa | | Pek. Timbunan | |
|----------------------|-----------------|-------------------|------------------|------------------|------------------|
| Total Produkt | Total Biaya (Y) | Total Produkt | Total Biaya (Y) | Total Produkt | Total Biaya (Y) |
| *Durasi (X) | | *Durasi (X) | | *Durasi | |
| 65208.13 | Rp 531631698 | 127455.904 | Rp 1187.997.534 | 590.194 | Rp 1.639.644.483 |
| 55227.64 | Rp 500142542 | 104984.468 | Rp 1085.657.776 | 585.612 | Rp 1.768.952.601 |
| 63199.87 | Rp 498973790 | 123107.275 | Rp 1.107.238.733 | 566.060 | Rp 1.563.545.689 |
| 53220.00 | Rp 467484634 | 100635.873 | Rp 1.014.898.976 | 561.478 | Rp 1.692.853.807 |
| 65625.19 | Rp 585138506 | 445223.560 | Rp 3.206.977.452 | 585.344 | Rp 1.690.721.205 |
| 55644.70 | Rp 553649350 | 380476.898 | Rp 3.012.633.768 | 580.762 | Rp 1.560.029.324 |
| 63616.93 | Rp 552480598 | 431656.906 | Rp 3.005.420.506 | 561.209 | Rp 1.484.622.412 |
| 53637.07 | Rp 520991442 | 366910.263 | Rp 2.811.076.822 | 556.627 | Rp 1.613.930.530 |
| 65207.95 | Rp 531631698 | 522931.670 | Rp 3.152.469.969 | 556.627 | Rp 1.613.930.530 |
| 55227.55 | Rp 500142542 | 458185.008 | Rp 2.958.126.285 | 590.195 | Rp 1.639.644.483 |
| 63199.87 | Rp 498973790 | 509365.016 | Rp 2.950.913.024 | 585.612 | Rp 1.768.952.601 |
| 53219.91 | Rp 467484634 | 444618.373 | Rp 2.756.569.340 | 566.060 | Rp 1.563.545.689 |
| 65625.01 | Rp 585138506 | 445223.554 | Rp 3.206.977.452 | 561.478 | Rp 1.692.853.807 |
| 55644.61 | Rp 553649350 | 380476.895 | Rp 3.012.633.768 | 585.344 | Rp 1.560.721.205 |
| 63616.73 | Rp 552480598 | 431656.900 | Rp 3.005.420.506 | 580.762 | Rp 1.690.029.324 |
| 53636.97 | Rp 520991442 | 366910.260 | Rp 2.811.076.822 | 561.209 | Rp 1.484.622.412 |
| 66547.70 | Rp 1315142680 | 522931.665 | Rp 3.152.469.969 | 1421534 | Rp 1.613.930.530 |
| 141050.53 | Rp 1234724604 | 458185.006 | Rp 2.958.126.285 | 1506.785 | Rp 4.113.684.522 |
| 161420.46 | Rp 1231739806 | 509365.010 | Rp 2.950.913.024 | 1495.080 | Rp 4.443.915.986 |
| 135924.11 | Rp 1151321730 | 444618.371 | Rp 2.756.569.340 | 1445.149 | Rp 3.919.340.838 |
| 167612.81 | Rp 1451790182 | | | 1433.443 | Rp 4.249.572.302 |
| 142115.64 | Rp 1371372106 | | | 1494.398 | Rp 3.912.127.576 |
| 162485.57 | Rp 1368387308 | | | 1482.692 | Rp 4.242.359.041 |
| 136989.23 | Rp 1287969232 | | | 1432.761 | Rp 3.717.783.892 |
| 166548.13 | Rp 1315142680 | | | 1421056 | Rp 4.048.015.357 |
| 141050.74 | Rp 1234724604 | | | 1506.787 | Rp 4.113.684.522 |
| 161420.93 | Rp 1231739806 | | | 1495.081 | Rp 4.443.915.986 |
| 135924.34 | Rp 1151321730 | | | 1445.149 | Rp 3.919.340.838 |
| 167613.24 | Rp 1451790182 | | | 1433.444 | Rp 4.249.572.302 |
| 142115.85 | Rp 1371372106 | | | 1494.400 | Rp 3.912.127.576 |
| 162486.04 | Rp 1368387308 | | | 1482.694 | Rp 4.242.359.041 |
| 136989.46 | Rp 1287969232 | | | 1432.762 | Rp 3.717.783.892 |

Setelah dilakukan optimasi pada semua alternatif kombinasi alat berat, maka diketahui jumlah alat berat optimum untuk masing-masing alternatif berikut biaya optimumnya. Berdasarkan hasil tersebut kemudian dilakukan analisis pengaruh perubahan komposisi alat berat terhadap hasil optimasi biaya penggunaan alat berat pada pekerjaan galian timbunan menggunakan analisis regresi linier sederhana. Sebagai variabel bebas-nya adalah produktivitas total alat berat yang digunakan selama durasi pelaksanaan, dan seba-gai variabel tak bebasnya adalah biaya total alat berat optimum seperti disajikan dalam Tabel 5.

Menurut Wijaya (2011) Software SPSS adalah salah satu perangkat lunak sebagai alat bantu penghitungan secara statistik. Data dalam Tabel 5 dilakukan uji normalitas untuk mengetahui kenormalan distribusinya karena data yang baik adalah yang berdistribusi normal (Raharjo, 2021). Dari hasil uji normalitas data menggunakan SPSS 20 dengan interpretasi uji normalitas Kolmogorov-Smirnov diketahui nilai signifikansi Asymp.Sig (2-tailed) untuk pekerjaan galian clearing, galian biasa, dan timbunan secara berurutan sebesar 0,813, 0,419, dan 0,403, nilai ini lebih besar dari 0,05, maka data tersebut dinyatakan berdistribusi normal, sehingga analisis regresi dapat dilakukan.

Hasil analisis Regresi Linier sederhana menggunakan SPSS 20 yaitu:

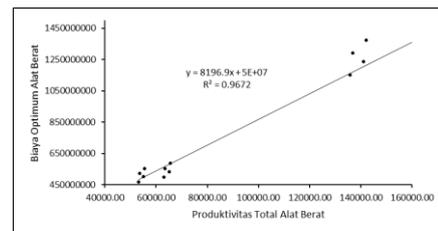
1. Pada pekerjaan clearing diperoleh persamaan Regresi Linier Sederhana $Y = 48.377.794,936 + 8.196,904X$, dengan nilai koefisien determinansi (R^2) yaitu sebesar 0,967 dan hasil uji hipotesis diketahui nilai signifikansi sebesar 0,000 < probabilitas 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa H_0 ditolak dan H_a diterima yang berarti terdapat pengaruh produktivitas alat (X) yang signifikan terhadap biaya optimum alat (Y) pada

pekerjaan galian clearing.

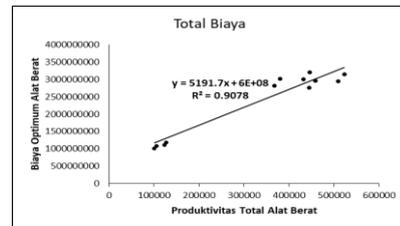
2. Pada pekerjaan galian biasa diperoleh persamaan Regresi Linier Sederhana $Y = 639.361.733,588 + 5.191,730 X$, nilai koefisien determinansi (R^2) yaitu sebesar 0,908, dan hasil uji hipotesis diketahui nilai signifikansi sebesar 0,000 < probabilitas 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh produktivitas alat (X) yang signifikan terhadap biaya optimum alat (Y) pada pekerjaan galian biasa.

3. Pada pekerjaan timbunan diperoleh persamaan Regresi Linier Sederhana $Y = 50.079.031,069 + 2.749,584 X$, dengan nilai koefisien determinansi (R^2) yaitu sebesar 0,985 dan hasil uji hipotesis diketahui nilai signifikansi sebesar 0,000 < probabilitas 0,05, sehingga dapat disimpulkan bahwa terdapat pengaruh produktivitas alat (X) yang signifikan terhadap biaya optimum alat (Y) pada pekerjaan timbunan. Penyajian Grafik Pengaruh produktivitas alat terhadap biaya optimum alat berat disajikan pada Gambar 4.

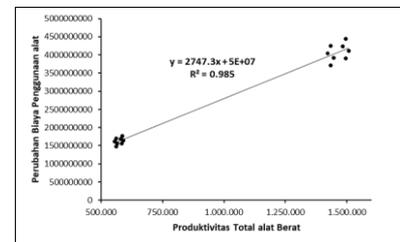
Penyajian Grafik Pengaruh produktivitas alat terhadap biaya optimum alat berat untuk pekerjaan galian clearing, galian biasa, dan timbunan disajikan pada Gambar 2-4.



Gambar 4. Grafik Pengaruh Produktivitas Alat Terhadap Biaya Optimum Alat Berat Pekerjaan Galian Clearing



Gambar 5. Grafik Pengaruh Produktivitas Alat Terhadap Biaya Optimum Alat Berat Pekerjaan Galian Biasa



Gambar 6. Grafik Pengaruh Produktivitas Alat Terhadap Biaya Optimum Alat Berat Pekerjaan Timbunan

Dari hasil analisis pengaruh pada pekerjaan galian clearing, galian biasa, dan timbunan diketahui komposisi alat

Pengaruh Komposisi Alat Berat Pekerjaan Tanah Terhadap Biaya Alat Optimum

yang dinyatakan dalam total produktivitas mempunyai pengaruh yang sangat besar terhadap biaya optimum alat yang digunakan. Hal ini ditunjukkan oleh hasil optimasi pada setiap jenis pekerjaan, dimana kombinasi alat yang optimum terjadi pada kombinasi alat yang terdiri dari komposisi alat berat dengan produktivitas yang terkecil. Dimana Alat berat yang memiliki produktivitas terkecil, biaya penggunaan alat juga terkecil. Biaya penggunaan alat meliputi biaya sewa alat, biaya mobilisasi dan demobilisasi.

Penentuan biaya minimum penggunaan alat berat dalam penelitian ini berdasarkan hasil pembulatan jumlah alat berat yang diperoleh dari hasil optimasi sehingga total biaya alat minimum bukan merupakan biaya yang sebenarnya melainkan merupakan biaya pendekatan. jika biaya minimum alat berdasarkan hasil optimasi, maka nilainya akan lebih kecil dari hasil perhitungan ini, akan tetapi jumlah alat berat yang diperoleh bukan merupakan bilangan bulat padahal jumlah alat harus bilangan bulat.

5. Kesimpulan dan Saran

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan, kesimpulan yang dapat diambil dalam penelitian ini, yaitu:

1. Jenis dan tipe alat berat yang dapat digunakan untuk pekerjaan galian dan timbunan pada proyek tersebut adalah: Bulldozer Tipe Caterpillar D5RX (BD1), Bulldozer Tipe Komatsu D65 E-12 Angle Dozer (BD2), Excavator Tipe Caterpillar 320D2 (EXC1), Excavator Tipe Komatsu PC 200-8MO (EXC2), Dump Truck Tipe Hino FM 260JM DT1, Dump Truck Hino 500 FM 235 JJ (DT2), Excavator Long Arm JCB JS205LR + Ponton (EXCLC1), Excavator Long Arm JCB JS205 + Ponton (EXCLC2), dan Vibro Roller Tipe Dynapac CA250D (Compactor) (VBR).
2. Alternatif kombinasi alat berat yang dapat digunakan pada pekerjaan galian clearing yaitu:
1) BD1-EXC1-DT1; 2) BD1-EXC1-DT2; 3) BD1-EXC2-DT1; 4) BD1-EXC2-DT2; 5) BD2-EXC1-DT1; 6) BD2-EXC1-DT2; 7) BD2-EXC2-DT1; 8) BD2-EXC2-DT2. Untuk pekerjaan galian alur sungai/biasa pada zona 1 (kondisi kering): 1) EXC1-DT1; 2) EXC1-DT2; 3) EXC2-DT1; 4) EXC2-DT2, dan zona 2 (kondisi dialiri air): 1) EXCLC1-EXC1-DT1; 2) EXCLC1-EXC1-DT2; 3) EXCLC1-EXC2-DT1; 4) EXCLC1-EXC2-DT2; 5) EXCLC2-EXC1-DT1; 6) EXCLC2-EXC1-DT2; 7) EXCLC2-EXC2-DT1; 8) EXCLC2-EXC2-DT2. Untuk pekerjaan timbunan zona 1 dan zona 2: 1) EXC1-DT1-BD1-VB1; 2) 1) EXC1-DT1-BD2-VB1; 3) EXC1-DT2-BD1-VB1; 4) EXC1-DT2-BD2-VB1; 5) EXC2-DT1-BD2-VB1; 6) EXC2-DT2-BD1-VB1; 7) EXC2-DT2-BD2-VB1; 8) EXC2-DT2-BD2-VB1.
3. Komposisi alat berat (dalam hal ini dinyatakan dalam produktivitas total alat berat) memberikan pengaruh yang sangat besar dan signifikan terhadap biaya alat yang optimum yaitu dengan nilai koefisien determinansi (R^2) sebesar 0,967, 0,908, dan 0,985 untuk pada pekerjaan galian clearing, galian biasa, dan timbunan serta nilai signifikansi sebesar $0,000 < \text{probabilitas} < 0,05$.

5.2 Saran

Untuk penelitian selanjutnya dengan topik yang sama sebaiknya jumlah alat pada hasil optimasi tidak dilakukan pembulatan diawal, agar biaya minimum yang diperoleh lebih akurat sehingga hasil analisis pengaruh komposisi alat terhadap biaya optimum yang diperoleh lebih akurat.

DAFTAR PUSTAKA

- Arikunto, Suharsimi. *Prosedur Penelitian*. Jakarta: Rineka Cipta. 2013.
- Fandi, A. 2019. "Alokasi Kebutuhan Alat Berat Pada Pekerjaan Normalisasi Muara Sungai Sibelis Kota Tegal".
- Hartono, Widi. 2005. *Pemindahan Tanah Mekanik (Alat-Alat Berat)*. Surakarta: LPP UNS dan UNS Press.
- 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.
- Mentari, Anggun M., 2018. Skripsi. Optimasi Keuntungan Menggunakan Linear Programming Metode Simpleks Berbantuan Software Lindo Pada Home Industry Bintang Bakery Di Sukarame Bandar Lampung
- Nida, F. 2016. *Optimasi Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Timbunan Maindam dan Cofferdam Bendungan Tugu Trenggalek*. Skripsi : Politeknik Negeri Malang.
- Peraturan Menteri Pekerjaan Umum dan Perumahan Rakyat Republik Indonesia Nomor 28/PRT/M/2016 tentang Pedoman AHSP Bidang PU.
- Rafflesia, Ulfasari & Widodo, Fanani Haryo. 2014. *Pemrograman Linier*. ISBN.978-602-9071-14-6. Badan Penerbitan Fakultas Pertanian UNIB. Bengkulu. Tersedia di repository.unib.ac.id/10187/1/Buku_Pemrograman... · PDF file
- Rostiyati, Susy Fatena. 2008. *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*. Jakarta: Rineka Cipta.