



Efektifitas Penggunaan Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Pelabuhan Berdasarkan Efisiensi Secara Teknis Dan Ekonomi

Inten Monaliza¹, Ahmad Herison²

Mahasiswa Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung¹,

Dosen Fakultas Teknik Jurusan Teknik Sipil Universitas Lampung²

Jl. Prof. Dr. Ir. Sumantri Brojonegoro No.1, Gedong Meneng, Rajabasa, Kota Bandar Lampung, Lampung 35145,

Email: inten180116@gmail.com, ahmadherison@yahoo.com

| Info Artikel | Abstract |
|---|--|
| Diajukan Diperbaiki Disetujui Keywords: heavy equipment, effectiveness, linear programming | <p><i>The port development project is a project that aims to increase productivity of port activities. Completion of the construction work requires the selection of a good composition of heavy equipment. This goal is to find out how to manage heavy equipment in construction projects effectively and efficiently. The method used is linear programming to determine how effective and efficient the use of heavy equipment, by determining several alternatives to get the most efficient composition of heavy equipment for port construction work. The data needed includes the price of equipment rental, working time per day, number of working days, fuel costs, lubricant costs, operator wages, operator meal money, and the number of own and rental equipment, and the data generated is the total cost of the entire work. The conclusion is that the most effective composition of heavy equipment is alternative II, namely 4 units of bulldozers, 8 units of excavators, 30 units of dump trucks, 2 units of roller roller, 3 units of wheel loaders, and 5 units of split barges and the cost of Rp. 10,395,810,000 and 483 days.</i></p> |
| Kata kunci: alat berat, efektifitas, linear programming | <p>Abstrak Proyek pembangunan pelabuhan adalah proyek yang bertujuan meningkatkan produktivitas pelabuhan. Penyelesaian pekerjaan pembangunan diperlukan pemilihan komposisi alat berat yang baik. Tujuan penelitian ini untuk mengetahui bagaimana manajemen alat berat pada proyek konstruksi dengan efektif dan efisien. Metode yang digunakan adalah <i>linear programming</i> untuk mengetahui seberapa efektif dan efisien penggunaan alat berat, dengan menentukan beberapa alternatif untuk mendapatkan komposisi alat berat yang paling efisien terhadap pekerjaan pembangunan pelabuhan. Data yang diperlukan meliputi harga sewa alat, waktu kerja per hari, jumlah hari kerja, biaya bahan bakar, biaya pelumas, upah operator, uang makan operator, dan jumlah alat berat milik sendiri maupun sewa, dan data yang dihasilkan adalah total biaya keseluruhan pekerjaan. Kesimpulannya adalah komposisi alat berat yang paling efektif adalah alternatif II yaitu 4 unit Bulldozer, 8 unit Excavator, 30 unit Dump Truck, 2 unit Vibration Roller, 3 unit Wheel Loader, dan 5 unit Split Barge serta biayanya sebesar Rp. 10.395.810.000 dan waktu sebanyak 483 hari.</p> |

1. Pendahuluan

Semua proyek konstruksi memerlukan jenis peralatan yang berbeda dan mesin-mesin yang memiliki tingkat penerapannya sendiri. Komersial proyek memiliki penggunaan peralatan dan mesin yang moderat. Proyek konstruksi berat diperlukan pemanfaatan mesin secara intens dan tinggi untuk melaksanakannya penggalan, stabilisasi, pemadatan, paving aspal, saluran pipa, rel kereta api dan banyak kegiatan lainnya (Gransberg et al, 2006., M. Waris, 2013., Mohd. Shahir Liew, 2013, Mohd. Faris Khamidi, 2013 dan Arazi Idrus, 2013).

Proyek konstruksi berat salah satunya proyek pembangunan pelabuhan yaitu proyek yang

bertujuan untuk meningkatkan produktivitas dari aktivitas pelabuhan (Kholil, 2012). Secara teknis, pelabuhan adalah bagian dari ilmu konstruksi maritim, sebagai tempat kapal-kapal berlabuh ataupun bersandar dan kegiatan bongkar muat pada barang angkutan kapal (Soedjono Kramadibrata, 1985., Andi Maddeppungeng, 2017., Irma Suryani, 2017., Dadan Febriana, 2017). Maupun dari perspektif teknik, ada beberapa macam pelabuhan yaitu, pelabuhan alam, pelabuhan semi alami, dan pelabuhan buatan. Jenis pelabuhan yang akan ditinjau pada proyek ini adalah pelabuhan buatan karena pembuatannya dibantu oleh tenaga manusia yang berada di daerah perairan laut (Jurnal Konstruksia, 2017).

Aplikasi umum peralatan konstruksi berat termasuk pekerjaan tanah, baja struktural, beton, bangunan, serta mengangkat dan memposisikan material (Mahbub, 2012). Aktivitas konstruksi berat dikelompokkan lebih lanjut menjadi konstruksi horisontal dan vertikal. Tipe konstruksi terdahulu membutuhkan lebih banyak pekerjaan tahanan yang ditandai dengan lebih banyak pekerjaan pengangkatan daripada penggalian dan pekerjaan tanah (Gransberg et al, 2006).

Proses penyelesaian pekerjaan pada proyek pembangunan pelabuhan ini terfokuskan pada pekerjaan penggalian, pemindahan material, maupun pemadatan, dimana diperlukan pemilihan dan penentuan komposisi alat berat yang baik (Sjachdirin, 1998). Dimana pemilihan alat-alat berat tergantung pada karakteristik masing-masing alat dan kondisi medan. Keberhasilan suatu proyek dapat diukur dari dua hal, yaitu keuntungan yang didapat serta ketepatan waktu penyelesaian proyek (Soeharto, 1997). Kedua hal tersebut dapat tercapai apabila dalam pengerjaannya terdapat perencanaan yang tepat terhadap metode pelaksanaan, penjadwalan dan penggunaan alat. Alat berat merupakan faktor terpenting pada sebuah proyek, terutama pada proyek-proyek pembangunan yang berskala besar (J Suroso, 2014).

Peran alat berat sangat penting untuk meningkatkan produktivitas konstruksi terutama untuk pekerjaan infrastruktur. Namun, pengeluaran mereka sangat intensif untuk modal perusahaan konstruksi. Hal ini juga dianggap sebagai beban keuangan utama selama fase konstruksi disamping pengeluaran lainnya (Prasertrungro ang, Hadikusumo, 2007 dan Rostiyanti, 2002). Penelitian terakhir menunjukkan bahwa pengeluaran alat berat merupakan 36 persen dari total biaya proyek dan memiliki resiko tinggi dan ketidakpastian bagi pemilik (Yeodan Ning 2006). Selain itu juga, kesalahan pemilihan alat berat dapat mengakibatkan proyek tidak berjalan lancar, dan dapat mengakibatkan kebutuhan biaya yang akan membengkak, produktivitas yang kecil dan tenggang waktu yang dibutuhkan untuk pengadaan alat berat yang tidak sesuai bahkan lebih lama (Ika Aoliya, Puji Wiranto dan Arif Mudianto, 2017).

Dalam merealisasikan suatu pekerjaan, pekerja lapangan atau kontraktor sangat dibatasi oleh dana, waktu, serta peraturan-peraturan teknis yang berlaku. Padahal pada prinsipnya kontraktor harus bisa mendapatkan keuntungan yang cukup, tanpa mengurangi kualitas dan fungsi hasil pekerjaannya. Untuk melaksanakan pekerjaan dengan

persyaratan-persyaratan berlaku, kontraktor harus memikirkan semua komponen pekerjaannya hingga efisien. Salah satu dari komponen tersebut adalah penggunaan peralatan (Ah Saefudin, 2016). Penggunaan peralatan yang efisien dikonsentrasikan pada pemanfaatan waktu yaitu, efisiensi mesin atau alat, efisiensi tenaga kerja, efisiensi administrasi untuk operasi atau pengelolaan (bahan bakar, pelumas, suku cadang dan sebagainya) (Sharrard et al., 2007, Gransberg et al. 2006, Jrade dan Markiz., 2012, Valli dan Jeyasehar 2012.)

Berdasarkan latar belakang yang telah dipaparkan, maka perlu diadakan studi untuk mengetahui bagaimana manajemen alat berat pada proyek konstruksi menggunakan salah satu metode yang efektif, sehingga proses pekerjaan dapat berjalan dengan lancar dan sesuai spesifikasi yang disyaratkan. Adanya optimasi sebagai solusi pendekatan deterministik melalui perhitungan matematis dengan *linier programming* serta kombinasi teori-teori terdahulu untuk menunjang pengambilan keputusan yang paling optimal dengan meninjau dari segi waktu pelaksanaan, target produksi yang ingin dicapai (Eduardus Albert Winarto, 2017) dan dari segi biaya terhadap pembangunan pelabuhan.

Dengan metode *linier programming* ini akan memperhitungkan optimasi jenis-jenis alat berat, cara pengolahan dan memberikan rumus perhitungan produktivitas penggunaan serta perkiraan biaya alat-alat yang akan digunakan pada proyek pembangunan pelabuhan. Sehingga di akhir penulisan dapat disimpulkan pemilihan alat berat berdasarkan referensi penggunaan metode ini terdahulu serta beberapa gagasan berupa pengalaman dilapangan.

Tujuan penelitian ini adalah untuk mengetahui efektifitas serta efisiensi alat berat dengan metode *linear programming*, baik secara teknis maupun ekonomi. Berdasarkan ekonomi, untuk mengetahui berapa biaya yang harus dikeluarkan untuk peralatan berat dan waktu yang dibutuhkan pada pekerjaan tanah proyek pembangunan pelabuhan. Sedangkan menurut teknis untuk mengetahui berapa efisiensi penggunaan alat berat dalam dimensi waktu dan biaya.

2. Metode

a. Peta Lokasi

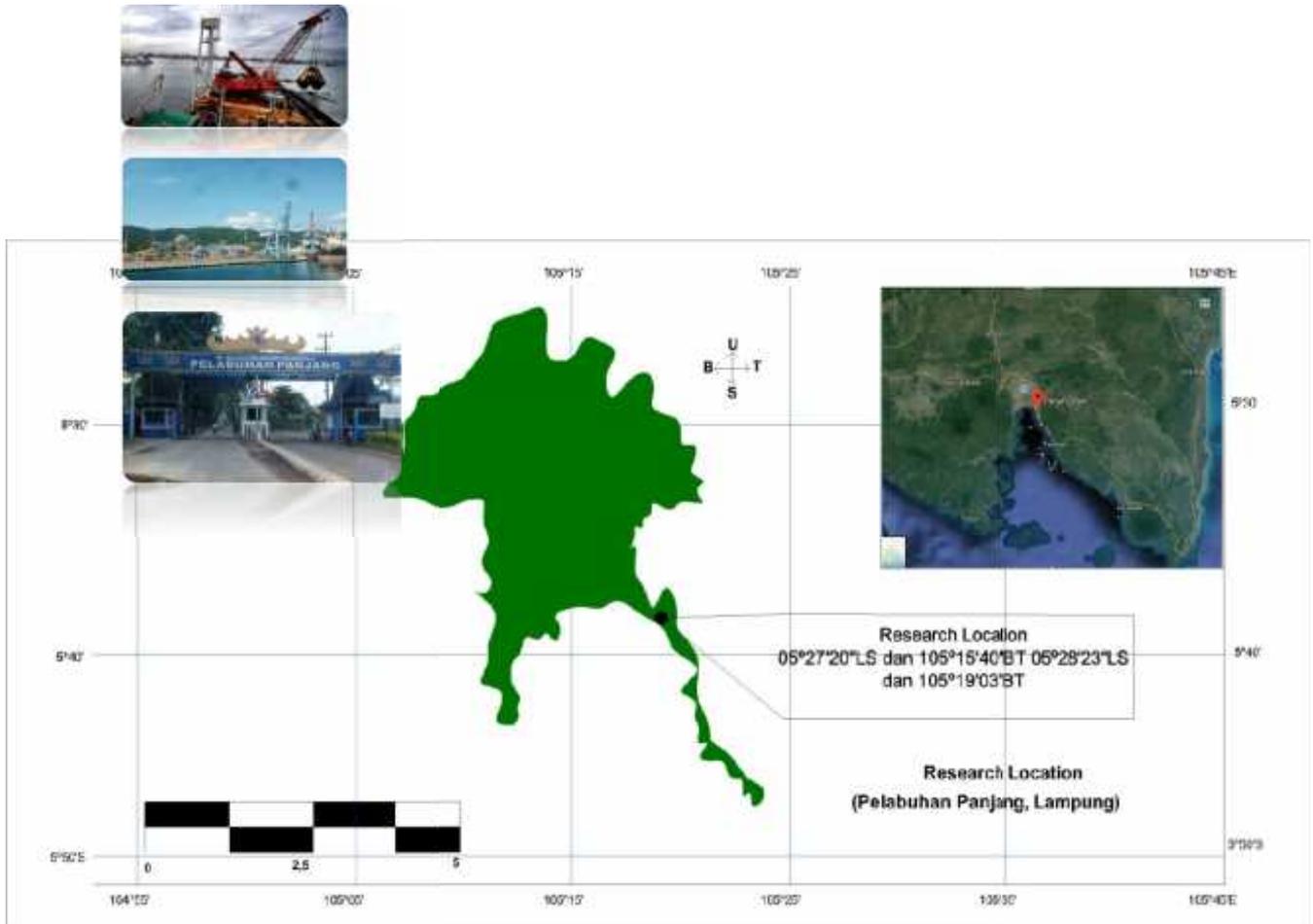
Pada proyek pembangunan pelabuhan dilakukan dengan metode penelitian di PT. Pelabuhan Indonesia II (Persero) Cabang Panjang Provinsi Lampung. Hal ini untuk mengarahkan pembahasannya secara terstruktur mulai dari

Journal homepage: <http://iptek.its.ac.id/index.php/jats>

penelitian, penemuan
pengamatan, pengumpulan data,

masalah,
melakukan

pengolahan dan interpretasi data sampai penarikan kesimpulan
atas permasalahan yang diteliti.



Gambar 1. Peta Lokasi Pelabuhan Panjang, Lampung

b. Data

Data diperoleh dari pengumpulan data primer dan sekunder. Pengumpulan data primer adalah pengambilan

data secara langsung dari sumber aslinya baik itu observasi atau survey langsung maupun hasil tanya jawab di lapangan. Sedangkan untuk pengumpulan data

sekunderdata yang diperoleh dalam penelitian ini yaitu:

- Buku teori-teori dan cara kerja alat berat yang digunakan.
- Datalokasi yang ditinjau terdiri dari peta lokasi penelitian proyek pembangunan pelabuhan.
- Gambar siteplan dan kontur tanah yang biasa disebut gambar kerja.
- Serta dokumentasi foto-foto setiap pekerjaan

(Andi Maddeppungeng, 2017).

Setelah melakukan pengumpulan data primer maupun sekunder data dapat dianalisa terlebih dahulu untuk mengoptimalkan penggunaan sumber-sumber yang terbatas.

Analisis yang akan dilakukan yaitu perhitungan komposisi pada masing-masing alat berat yang digunakan, yaitu *Bulldozer*, *Excavator*, *Dump Truck*, *Compaction Roller*, dan *Split Barge*. Dari berbagai alat yang disebutkan akan ditentukan waktu siklus alat, penentuan faktor koreksi alat, perhitungan produksi per siklus, produksi per jam, produksi per hari, perhitungan besarnya biaya dan waktu yang dibutuhkan untuk masing-masing alat, penentuan komposisi alat berat diharapkan dapat mengefektifkan waktu dan biaya (Maddeppungeng, Andi, Irma Suryani dan Dadan Febriana. 2017).

Ada lima alternatif yang digunakan untuk dianalisis, yaitu:

Tabel 1. Rencana Pemilihan Alternatif Alat Berat

| Alternatif | Waktu | Komposisi Alat |
|-----------------|--|---|
| Alat Dilapangan | Musim hujan dan kemarau masing-masing 8 jam | 2 unit <i>Bulldozer</i> , 7 unit <i>Excavator</i> , 24 unit <i>Dump Truck</i> , 1 unit <i>Vibration Roller</i> , 1 unit <i>Wheel Loader</i> , dan 4 unit <i>Split Barge</i> . |
| I | 16 jam dengan 2 shift yaitu, musim kemarau dan hujan | 4 unit <i>Bulldozer</i> , 7 unit <i>Excavator</i> , 48 unit <i>Dump Truck</i> , 2 unit <i>Vibration Roller</i> , 2 unit <i>Wheel Loader</i> , dan 5 unit <i>Split Barge</i> . |
| II | 12 jam musim hujan dan 8 jam musim kemarau | 4 unit <i>Bulldozer</i> , 8 unit <i>Excavator</i> , 30 unit <i>Dump Truck</i> , 2 unit <i>Vibration Roller</i> , 3 unit <i>Wheel Loader</i> , dan 5 unit <i>Split Barge</i> . |
| III | 24 Jam (3 shift) pada musim hujan dan musim | 3 unit <i>Bulldozer</i> , 7 unit <i>Excavator</i> , 72 unit <i>Dump Truck</i> , 3 unit <i>Vibration Roller</i> , 1 unit <i>Wheel Loader</i> , dan 4 unit <i>Split Barge</i> . |

| | | |
|----|--|--|
| | kemarau. | |
| IV | 12 jam pada musim hujan dan musim kemarau. | 8 unit <i>Excavator</i> , 4 unit <i>Bulldozer</i> , 30 unit <i>Dump Truck</i> , 5 unit <i>Split Barge</i> , 2 unit <i>Wheel Loader</i> |

Sumber: *Konstruksia*, 2017

Dari hasil analisis data di atas akan diolah dengan menggunakan metode *linear programming*, tahap – tahap yang harus dilakukan dalam pengolahan data dengan metode ini adalah sebagai berikut:

- Melakukan penyesuaian mengenai data – data yang didapat dengan data yang diperlukan untuk analisis.
- Tentukan variabel keputusan (*decision variable*) lalu dinyatakan dengan symbol.
- Menentukan fungsi tujuan (*objection function*) yang diinginkan (maksimalisasi atau minimalisasi) berdasarkan variabel keputusan.
- Menentukan batasan masalah (*constraint*) yang terdapat dalam data dan menuliskan ke dalam bentuk persamaan atau pertidaksamaan berdasarkan *decision variable* yang ada.
- Data di atas diolah menggunakan metode *linear programming* dengan bantuan program *excel*.
- Membandingkan hasil yang didapat dari optimasi menggunakan *linear programming* berdasarkan data aktual yang didapat dari perusahaan untuk menunjukkan perhitungan mana yang lebih baik.

Sumber: *Setiadi Handokoe, dan Iwan B. Santoso*, 2018.

c. Landasan Teori

Program linear merupakan teknik yang fleksibel yang dapat diterapkan pada banyak masalah di dunia nyata (Van Den Broek, 2017). Keuntungan utama pemrograman linear adalah pemodelan masalah bagaimana kita menerjemahkan masalah optimasi ke program linear yang dapat diolah secara efisien, apa variabel keputusan yang akan kita gunakan untuk mengkodekan solusi dari masalah, dan bagaimana kita bisa menuliskan kendala masalah pada persamaan linier. Program linear adalah masalah memaksimalkan atau meminimalkan fungsi linear pada sejumlah batasan linear (Garg, K. T. N, 2008).

Pengertian program linear adalah suatu teknik perencanaan yang menggunakan model matematika dengan tujuan untuk menemukan kombinasi-kombinasi produk yang terbaik di dalam menyusun suatu alokasi



sumberdayayangterbatasgunauntukmencapaitujuan yangdig unakandengansecaraoptimal (Assauri, 1980).Secara umum,programlineardapatdiartikansebagai sebuahmetodematematikuntukmencari pemecahanpersoalan-persoalanyangtimbuldidalam perusahaan,yakni mencarikeadaanyang optimaldengancara memperhitungkanbatasan yangada.Modeldari *linear programming* mengandungbeberapa komponendankarakteristikyang umum.Modeltersebut meliputi *decision variables*, *objective function*, dan *constraints* (Taylor III, 1993).

Pemilihan alat berat dilakukan pada tahap perencanaan, dimana jenis, jumlah, dan kapasitas alat merupakan faktor-faktor penentu. Tidak setiap alat berat dapat dipakai untuk setiap proyek konstruksi, oleh karena itu pemilihan alat berat sangat lahi diperlukan (Handayani, Elvira, 2015).

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum, hasil produksi yang sebenarnya dari suatu peralatan yang digunakan tidak akan sama dengan hasil perhitungan berdasarkan data kapasitas yang tertulis pada brosur, karena banyak faktor.

Faktor Pemilihan Alat Berat

Menurut (Rostiyanti, 2002:4) didalam pemilihan alat berat, adabeberapa faktor yang harus diperhatikan sehingga kesalahan dalam pemilihan alat dapat dihindari Faktor-faktor tersebut antara lain sebagai berikut:

1. Fungsi yang harus dilaksanakan.
2. Kapasitas peralatan.
3. Cara operasi.
4. Pembatasan dari metode yang dipakai.
5. Ekonomi
6. Jenis proyek
7. Lokasi proyek
8. Jenis dan daya dukung tanah
9. Kondisi lapangan

Faktor Efisiensi Alat

Berdasarkan Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No. 11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum, hasil produksi yang sebenarnya dari suatu peralatan yang digunakan tidak akan sama dengan hasil perhitungan berdasarkan data kapasitas yang tertulis pada brosur, karena banyaknya

faktor-faktor yang mempengaruhi proses produksi. Faktor-faktor tersebut yaitu sebagai berikut :

1. Faktor operator
2. Faktor Cuaca
3. Faktor Kondisi Medan/Lapangan
4. Faktor Manajemen Kerja

Untuk memberikan estimasi besaran pada setiap faktor di atas adalah sulit sehingga untuk mempermudah pengambilan nilai yang digunakan, faktor-faktor tersebut di gabungkan menjadi satu yang merupakan factor kondisi kerja secara umum. Selanjutnya faktor tersebut digunakan sebagai factor efisiensi kerja alat (Fa).

Rumus menentukan factor efisiensi alat berat menurut Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum adalah sebagai berikut:

a. *Bulldozer*

Faktor efisiensi untuk pengupasan:

$$Fa = \frac{Q \times Ts}{q \times Fb \times Fm \times 60}$$

Faktor efisiensi untuk meratakan:

$$Fa = \frac{Q \times N \times n \times Ts}{l \times (n(L-L_0)L_0 + x \times Fb \times Fm \times 60)}$$

Tabel 2. Faktor efisiensi alat *Bulldozer*

| Kondisi operasi | Faktor efisiensi |
|-----------------|------------------|
| Baik | 0,83 |
| Sedang | 0,75 |
| Agak kurang | 0,67 |
| Buruk | 0,58 |

Sumber: Permen PU No.11/PRT/M/2013

b. *Excavator*

Faktor efisiensi alat berat *Excavator*:

$$Fa = \frac{Q \times Ts \times Fv}{V \times Fb \times 60}$$

Tabel 3. Faktor *bucket (bucket fill facto) (Fb)*

| Kondisi Operasi | Kondisi Lapangan | Faktor bucket (Fb) |
|-----------------|------------------------------------|--------------------|
| Mudah | Tanah biasa, lempung, tanah lembut | 1,1–1,2 |
| Sedang | Tanah biasa berpasir, kering | 1,0–1,1 |
| Agak sulit | Tanah biasa berbatu | 1,0–0,9 |
| Sulit | Batu pecah | 0,9–0,8 |

Sumber: Permen PU No.11/PRT/M/2013

Tabel 4.Faktor Konversi Galian(Fv) alat *Excavator*

| Kondisi galian (kedalaman galian maksimum) | Kondisi membuang,menumpahkan(<i>dumpin</i> <i>g</i>) | | | |
|--|--|--------|---------------|-------|
| | Mudah | Normal | Agak sulit | Sulit |
| <40% | 0,7 | 0,9 | 1,1 | 1,4 |
| (40-75)% | 0,8 | 1 | 1,3 | 1,6 |
| >75% | 0,9 | 1,1 | 1,5 | 1,8 |

Sumber: PermenPU No.11/PRT/M/2013

Tabel 5.Faktor efisiensi kerjaalat (Fa)*Excavator*

| Kondisi operasi | Faktorefisiensi |
|-----------------|-----------------|
| Baik | 0,83 |
| Sedang | 0,75 |
| Agakkurang | 0,67 |
| Kurang | 0,58 |

Sumber: PermenPU No.11/PRT/M/2013

c. *VibratorRoller*

Rumus faktor efisiensi alatberat*Vibrator Roller*:

$$Fa = \frac{Q \times n}{(be \times V \times 1000) \times t}$$

Keterangan :

Fa = Faktor efisiensi alat

Fv = Faktor konversi

F_b = Faktor bucket(umumnya, diambil 1)

F_m =Faktorkemiringanpisau(*grade*),(1 untuk datar,1,2 untuk -15%, 0,7 untuknanjak+15%)

Q =Kapasitas produksi(m³/jam)

T_s = Waktu siklus

T₁ = Waktu gusur ((l x 60) : V_r), menit

T₂ =Waktu kembali ((l x 60) : V_r), menit

be= b – b₀adalah lebar efektif pemadatan, m

b=Lebar totan pemadatan, m

b₀ =Lebaroverlap;(0,20m) (m)

t =Tebalpemadatan(m)

v =Kecepatanrata-rataalat(km/jam)

q = Kapasitaspisau(q=LxH²) (m³)

L = Lebar pisau(m)

H =Tinggipisau(m)

L_o = Lebar overlap,(0,30) (meter)

l =Jarakpengupasan(meter)

n =Jumlahlajur lintasan

N =Jumlahlintasanpengupasan

Sumber:JurnalIlmiahUniversitas BatanghariJambi, 2015

Analisis Biaya Alat Berat

Dalam menghitungbiaya pemilikan danoperasional alat perjam dapat digunakan rumus sebagai berikut :

1. Biayapastiperjam kerja.

Nilai sisa alat dihitung berdasarkan persamaan 1.

$$C = 10\% \times B \text{ (Rupiah)} \quad (1)$$

Dengan :

C =Nilai sisaAlat (Rupiah)

B =HargaAlat (Rupiah)

FaktorAngsuranmodal dihitung berdasarkan persamaan 2.

$$D = \frac{ix(1+i)^n A}{(1+i)^n A - 1} \quad (2)$$

Dengan :

i = tingkat suku bunga per tahun (% per tahun)

D = faktor angsuran modal

A = umur alat (tahun)

Biayapengembalianmodal dihitung berdasarkan persamaan 3.

$$e1 = \frac{(B-C) \times D}{W} \quad (3)$$

Dengan :

e1 = biaya pengembalian modal(Rupiah)

B =hargaalat (Rupiah)

C =nilai sisa alat (Rupiah)

D=faktorangsuran modal

W=jam kerja1 tahun(jam)

Biayaaasuransi,dll dapat dihitung berdasarkan persamaan

$$e2 = \frac{0,002 \times B}{W} \quad (4)$$

Dimana:

e2 = asuransi, dll(Rupiah)

B =hargaalat (Rupiah)

W=jam kerja1 tahun(jam)

Biayapasti perjam=biaya pengembalian modal + Asuransi

2. Biaya operasi perjam kerja :

a. Biaya bahan bakar dapat dihitung berdasarkan persamaan 5.

$$A = (0,125 - 0,175) \times Pw \times Ms \text{ (Rupiah)} \quad (5)$$

Dengan:

Pw = Tenaga alat (HP)

Ms = Bahan bakar solar (Liter)

b. Biaya pelumas dapat dihitung berdasarkan persamaan 6

$$I = (0,01 - 0,02 \text{ ltr/HP/jam}) \times Pw \times Mp \text{ (rupiah)} \quad (6)$$

Dengan:

Pw = Tenaga alat (HP)

Mp = Minyak pelumas (liter)

c. Biaya perawatan dan perbaikan dihitung berdasarkan persamaan 7

$$K = \frac{(12,5\% - 17,5\%) \times B}{W} \text{ (Rupiah)} \quad (7)$$

Dengan:

B = Harga alat

W= Jam operasional dalam 1 tahun

d. Biaya operator dapat dihitung berdasarkan persamaan 8



$$L = (1 \text{ org/jam}) \times U1 \text{ (Rupiah)} \quad (8)$$

Dengan:

$$U1 = \text{Upah operator/supir}$$

- e. Biaya pembantu operator dapat dihitung berdasarkan persamaan 9

$$M = (1 \text{ org/jam}) \times U2 \text{ (Rupiah)} \quad (9)$$

Dengan:

$$U2 = \text{Upah pembantu operator/supir}$$

3. Biaya operasi perjam kerja
= (a + b + c + d + e) Rupiah

Total biaya sewa alat perjam (S) = Biaya pasti perjam + biaya operasi perjam kerja

Sumber: Devid Nugraha, Analisis Biaya Dan Produktivitas Pemakaian Alat Berat Pada Kegiatan Pembangunan Jalan Akses Siak Iv Pekanbaru.

d. Alat Perhitungan

Dalam model *linear programming* dikenal variable keputusan (*decision variable*), fungsi tujuan (*objective function*), dan fungsi batasan (*constraint function*) (Todd, 2002).

Perhitungan penyelesaian masalah Pemrograman Linear dengan banyak variabel lebih mudah dikerjakan dengan menggunakan komputer. Program *Excel* adalah salah satu *software* komputer yang beroperasi pada sistem *windows*. Program *Excel* dapat digunakan untuk menyelesaikan masalah yang dapat dimodelkan dalam bentuk linear. Prinsip kerjanya dari program *Excel* adalah memasukkan data sebagai rumusan permasalahan yang terdiri dari optimasi dari fungsi maksimal atau minimal dan fungsi kendala yang semuanya berbentuk fungsi linear. (Himmawati Puji Lestari, 2011).

Langkah menginstal *Solver* untuk Excel 2007 :

- 1) Klik tombol *office* di pojok atas kiri layar,
- 2) Pilih *Excel Option* di sisi kanan bawah menu,
- 3) Pilih *Add-Ins, Solver Add-Ins, Go, Solver Add-In, dan OK*.

Setelah menginstal *Solver* adapun hal yang harus dipersiapkan dengan langkah-langkah berikut:

- 1) mempersiapkan dan menyusun *worksheet*
- 2) memilih sel yang akan berisi variabel keputusan, kendala, dan fungsi tujuan dari suatu masalah.
- 3) memasukkan data fungsi tujuan, kendala, dan variabel keputusan ke dalam *worksheet Excel*.
- 4) Menjalankan *Solver*, yakni dengan menentukan/mengisi *Target Cell, Equal To, By Changing Cells*, dan *Subject to Constraints*.

- 5) Pilih *Target Cell* (Max (maksimum), Min (minimum), dan Value of. *By Changing Cells*).
- 6) Masukkan *Subject to Constraints* berisi kendala-kendalayang akan membatasi pengoptimalan
- 7) Klik *Solve* dan lihat hasilnya.

(Prosiding Seminar Nasional Penelitian Universitas Negeri Yogyakarta, 2011).

Data-data jumlah alat berat yang dimiliki kontraktor disusun dengan tabel sebagai berikut.

Tabel 6. Jumlah alat berat yang dimiliki kontraktor

| No | Jenis alat berat | Jumlah alat yang dimiliki (Unit) |
|----|---------------------------------------|----------------------------------|
| 1. | <i>Bulldozer CATD6G</i> | 1 |
| 2. | <i>Bulldozer shantui</i> | 1 |
| 3. | <i>Excavator Kobelco SK200</i> | 3 |
| 4. | <i>Excavator Kobelco SK330</i> | 4 |
| 5. | <i>Dump Truck</i> (10 roda) | 65 |
| 6. | <i>Split Barge</i> 450 m ³ | 4 |
| 7. | <i>Wheel Loader 966D CAT</i> | 1 |
| 8. | <i>Vibro Roller Sakai SV-900</i> | 1 |

Sumber: (Data Kontraktor CHI, 2014)

Berikut hasil pekerjaan dalam proses pembangunan.

1. Pekerjaan Tanah

Pekerjaan tanah ini dibedakan dalam 3 macam pekerjaan, macam-macam pekerjaan dan perkiraan volume

Tabel 7. Volume Pekerjaan

| No | Pekerjaan | Volume | Satuan |
|----|--------------------------|--------------|----------------|
| 1. | Pembersihan Lahan | 650 & 250000 | M ² |
| 2. | Penggalan Material Tanah | 991063,4 | M ³ |
| 3. | Pengurugan Pantai | 820596,78 | M ³ |

Sumber: Konstruksia, 2017

Pada saat kontraktor sedang tidak ada proyek alat-alat yang dimiliki kontraktor dapat disewakan, sebagai berikut daftar harga sewa alat-alat berat yang digunakan dapat dilihat pada tabel 9.

Tabel 9. Daftar harga sewa alat berat

| No | Jenis Alat Berat | Harga Sewa Alat |
|----|--------------------------------|-------------------|
| 1. | <i>Bulldozer CATD6G</i> | Rp 155.000,-/ Jam |
| 2. | <i>Bulldozer shantui</i> | Rp 165.000,-/ Jam |
| 3. | <i>Excavator Kobelco SK200</i> | Rp 140.000,-/ Jam |

| | | |
|----|--|--|
| 4. | <i>Excavator Kobelco SK330</i> | Rp 150.000,-/ Jam |
| 5. | <i>Dump Truck: Mitsubishi 25 Ton Hiro 25 Ton Nisan 25 Ton Isuzu 25 Ton</i> | Rp 300.000,-/ Jam Rp 300.000,-/ Jam Rp 300.000,-/ Jam Rp 300.000,-/ Jam |
| 6. | <i>Split Barge 450 m3</i> | Rp 895.000,-/ Jam |
| 7. | <i>Wheel Loader 966D CAT</i> | Rp 100.000,-/ Jam |
| 8. | <i>Vibro Roller Sakai SV-900</i> | Rp 125.000,-/ Jam |

Sumber: *Konstruksia, 2017*

Data-datayangdiperolehdari kontraktor mengenai jenis kegiatan dilihatpadatabel 8.

Tabel8. DaftarAlat BeratyangDigunakan

| No | Pekerjaan | Volume | Alat Berat | Produksi |
|----|----------------------------------|--------------------------|-------------------------------------|--|
| 1. | Pembersihan Lahan | 650 m ² | <i>Bulldozer</i> | 90 m ³ /jam |
| a. | Pengupasan dan pemotongan | 3250 m ³ | <i>Excavator</i> | 35 m ³ /jam 50 m ³ /jam 90 m ³ /jam |
| b. | Penggalian dan pemuatan | 3250 m ³ | <i>Dump Truck</i> | |
| c. | Pengangkutan | 3250 m ³ | <i>Bulldozer</i> | |
| d. | Penyebaran Material | | | |
| 2. | Penggalian Material Tanah | 250000 m ³ | <i>Bulldozer</i> | 35 m ³ /jam 50 m ³ /jam 90 m ³ /jam |
| a. | Pengupasan dan pemotongan | 991063,4 m ³ | <i>Excavator</i> | |
| b. | Penggalian dan pemuatan | 991063,4 m ³ | <i>Dump Truck</i> | |
| c. | Pengangkutan | | | |
| 3. | Pengurugan Pantai | 820596,78 m ³ | <i>Bulldozer</i> | 90 m ³ /jam 35 m ³ /jam |
| a. | Penyebaran Material dan Pemuatan | 820596,78 m ³ | <i>Excavator</i> | 243 m ³ /jam |
| | | 820596,78 m ³ | <i>Wheel Loader dan Split Barge</i> | 1125 m ³ /jam |
| | | 170466,62 m ³ | | 91 m ³ /jam |
| b. | Pemadatan | 78712,81 m ³ | <i>Vibro Roller</i> | |

Sumber: *Konstruksia, 2017*

3. Hasil dan Pembahasan

Perolehan hasil dan pembahasan diambil dari jurnal penelitian terdahulu, yaitu jurnal nasional (*Andi – Irma – Dadan. 2017. Optimalisasi Komposisi Alat Berat Pembangunan Pelabuhan*). Proyek pembangunan pelabuhan

Panjangmemiliki

luasbangunansebesar54091m²(<http://port.trikarsa.com/pelabuhan-panjang-bandar-lampung/> , diakses 12 Oktober 2018).

Lokasi pembangunan pelabuhan ini hampir sebagian besar dekat pinggir pantai. Yang diketahui kondisi tanah sekitar cukup bagus digunakan untuk proses sebelum penggurunan, aadapun tanah ini berupa bebatuan dan batu karang yang berakibat baik agar peergerakan alatberat tidak labil. (*Irma dan Dadan, 2017*).

Apabila

waktupengerjaanpembangunaninidilakukankuranglebih2 tahununtuk prosespengerjaantanahnya, maka yang akan menjadi kendalautama adalahhujan, anginkencang,danarus pantaiyang mengakibatkan pekerjaan banyakterhenti.Oleh sebab itu saat kondisi sudah stabil maka pekerjaan dapat dilanjutkan secara optimal hingga lembur. Sehingga begitu ada hujan, angin kencang, dan arus pantai semua pekerjaan bisadilaksanakan dengan lancar, sebaik-baiknya, dan seefisien mungkin.

Analisis Perhitungan

Pemodelan Linear Programming

1. Decision Variables

Variabel keputusan adalah variable yang menguraikan secara lengkap keputusan– keputusan yang akan dibuat, dinyatakan dengan X1, X2, X3, X4, ..., Xn. (*Todd, 2002*).

Tabel10. Daftar Variabel Keputusan

| <i>Decision Variables</i> | Jenis Alat Berat |
|---------------------------|--------------------------------------|
| X1A1 | <i>Bulldozer CATD6G</i> |
| X1B1 | <i>Bulldozer shantui</i> |
| X2A1 | <i>Excavator Kobelco SK200</i> |
| X2B1 | <i>Excavator Kobelco SK330</i> |
| X3A1 | <i>Dump Truck (10 roda)</i> |
| X3B1 | <i>Split Barge 450 m³</i> |
| X4A1 | <i>Wheel Loader 966D CAT</i> |
| X4B1 | <i>Vibro Roller Sakai SV-900</i> |

Sumber: *Hasil Analisa*

2. Objective function

Contoh perhitungan koefisien objective function untuk beberapa variabel adalah sebagai berikut:

- 1) X1A1 (jumlah bulldozer CAT D6G dimiliki kontraktor yang digunakan untuk kegiatan pengupasan dan pemotongan pada pekerjaan pembersihan 61 hari.
 - a. Biaya pemilikan alat

$$80\% \times \text{Rp } 165.000,- \times 8 \text{ jam} \times 61 \text{ hari}$$

$$= \text{Rp } 64.416.000,-$$
 - b. Bahan bakar solar



- Rp7.500,-x29,5x8jamx61hari
=Rp107.970.000,-
- c. Minyak pelumas oli
Rp21.000,-x0,2x8jamx61hari
=Rp2.049.600,-
- d. Upah operator
Rp25.000,-x8jamx61hari
=Rp12.200.000,-
- e. Upahkernet
10% xRp25.000,-x8jamx61hari
= Rp 1.220.000,-
- f. Uang makan operator
Rp 25.000,-x61hari=Rp 1.525.000,-
- g. Uang makan kernet
50% xRp 25.000,-x61hari=Rp 762.500,-

Total=Rp 64.416.000,-+ Rp107.970.000,-
+Rp2.049.600,- +Rp12.200.000,-+Rp1.220.000,- +
Rp1.525.000,- + Rp 762.500,- =
Rp190.143.100,-
Koefisien *objectivefunction*=190.1

3. Constraints

Perincian perhitungan *constraints* untuk *linearprogramming* ini adalah sebagai berikut:

- 1) Pekerjaan Pembersihan Lahan
 - a) Pengupasandan Pematangan
 $90x8x(X1A1+X1B1) \frac{1}{61x650}$
 $720X1A1+720X1B1 \leq 10.7$
 - b) Penggalian dan Pemuatan
 $17080 X2A1 + 17080 X2B1 =$
 $219600 X1A1 + 219600X1B1$
 - c) Pengangkutan
 $24400X3A1 + 24400X3B1 = 17080$
 $X2A1+17080X2B1$
 - d) Penyebaran Material
 $43920X4A1 + 43920X4B1 = 24400$
 $X3A1+24400X3B1$
- 2) Pekerjaan Penggalian Material Tanah
Perhitungan samadengan cara di atas.
- 3) Pengurangan Pantai

Sumber: Hasil perhitungan

Perhitungan samadengan cara di atas. Jumlah alat yang dimiliki sangat terbatas, hal ini menentukan berapa jumlah alat yang disewa untuk memenuhi kebutuhan.

Analisis Komputer

- a. Data Dilapangan
Hasil perhitungan didapatkan nilai optimal *objectivefunction* sebesar Rp.13.800.865.000 ,
- b. Alternatif I
Dari hasil perhitungan nilai optimal *objectivefunction* untuk alat berat adalah Rp.16.120.547.000,-.
- c. Alternatif II
Hasil Perhitungan diperoleh nilai optimal *objectivefunction* adalah Rp.10.395.810.000,-.
- d. Alternatif III
Hasil perhitungan nilai optimal *objectivefunction* adalah Rp.17.760.586.000,-.
- e. Alternatif IV
Perhitungan diperoleh nilai optimal *objectivefunction* Rp.14.710.927.000

Hasil analisis komputer diatas telah memberikan berbagai harga dari berbagai alternative dan dapat dilihat dari hasil diatas alternative ke II lebih efektif dan efisien dari segi ekonomis maupun waktu.

Diskusi Hasil Penelitian

Dilihat dari hasil analisis data diatas dengan metode *linearprogramming* yang dihitung menggunakan *Excel Solver*, memiliki hal positif yaitu mempercepat dalam perhitungan dalam menentukan efektifitas alat berat. Namun, adapun kesulitan dalam penggunaan metode ini ialah nilai yang diinput pada *software* berupa analisis matematis, maka jika analisis matematis salah maka output akan salah atau tidak bekerja. Analisis dilakukan secara manual berdasarkan ilmu matematis yang telah didapatkan.

Hasil perhitungan menunjukkan dari berbagai alternative I, II, III, IV maka alternative ke II lebih efisien dari segi ekonomi maupun teknis dilapangan. Biaya analisis lapangan menunjukkan biaya sebesar Rp.13.800.865.000, sedangkan alternative ke II adalah Rp.10.395.810.000,-.

4. Simpulan

Setelah solusi optimal diperoleh dan dilakukan sensitivity analysis maka disimpulkan alternatif II yang terbaik dengan rincian:

1. Komposisi alat berat yang optimum: 4 unit *Bulldozer* (2 milik, 2 sewa), 8 unit *Excavator* (4 milik, 4 sewa), 30 unit *Dump Truck* (sewa), 2 unit *Vibration Roller* (milik), 3 unit *Wheel Loader* (2 milik, 1 sewa), dan 5 unit *Split Barge* (milik).
2. Waktu pengerjaan dilakukan pada musim hujan maupun kemarau berbeda yaitu pada musim kemarau 8 jam sedangkan penghujan 12 jam.
3. Waktu yang dibutuhkan pekerjaangian dan timbunan adalah 483 hari, dan total biaya sebesar Rp.10.395.810.000. Adapun pekerjaandilapangan adalah 641 hari dan biaya sebesar Rp. Rp.13.800.865.000.

Daftar Pustaka

- Albert, Eduardus. 2017. *Optimasi Biaya dan Waktu Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Penggalian Tanah Menggunakan Metode Program Linear Integer*. Skripsi Universitas Katolik Parahyangan.
- Aoliya, Ika, Puji Wiranto dan Arif Mudianto. 2017. *Analisa Produktivitas Alat Berat Pembangunan Jalan Raya Ruas Lingkar Pulau Marsela Provinsi Maluku Barat Daya*. Artikel Program Studi Teknik Sipil, Unpak
- Garut, Devita, P. Santoso, B, I., 1999. *Penentuan Jumlah Alat Berat yang Optimum dengan Metode Linear Programming*. Jurnal Teknik Sipil Untar.
- Handayani, Elvira. 2015. *Efisiensi Penggunaan Alat Berat Pada Pekerjaan Pembangunan TPA (Tempat Pemrosesan Akhir) Desa Amd Kec. Muara Bulian Kab. Batanghari*. Jurnal Ilmiah Universitas Batanghari: Jambi.
- Handokoe, Setiadi dan Iwan B. Santoso. 2018. *Optimasi Penyewaan Dump Truck Pada Proyek X Di Wilayah Jakarta dengan Metode Linear Programmin*, Hlm 72-81. Jurnal Mitra Teknik Sipil
- Idrus, Arazi, Mohd Shahir, Mohd Faris, dan M Waris. 2014. *Criteria for the selection of sustainable onsite construction equipment*. *International Journal of Sustainable Built Environment*.
- Jrade, A, Markiz. 2012. *Sebuah model pendukung keputusan memanfaatkan an linear Pendekatan optimasi biaya untuk seleksi alat berat*. *Constr. Res. Congr.*, 100-109.
- Kholil, Ahmad. 2012. *Alat Berat*. Jurnal Teknik Sipil Bandung.
- Kramadibrata, Soedjono. 1985. *Perencanaan Pelabuhan halaman 18-64*, Bandung.
- Lestari, Himmawati Puji. 2011. *Pemanfaatan Excel Solver Dalam Pembelajaran Pemrograman Linear*. Prosiding Seminar Nasional Penelitian, Universitas Negeri Yogyakarta.
- Maddeppungeng, Andi, Irma Suryanidan Dadan Febriana. 2017. *Optimalisasi Komposisi Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Pelabuhan PT Cemindo Gemilang*. Jurnal Konstruksia.
- Nugraha, Devid, Rian Trikomara dan Sri Djuniati. 2018. *Analisa Biaya dan Produktivitas Pemakaian Alat Berat pada Kegiatan Pembangunan Jalan Akses Siak IV Pekanbaru*. Jom FKTEKNIK.
- Pemerintah Indonesia. 2013. *Peraturan Menteri Pekerjaan Umum No.11/PRT/M/2013 tentang Pedoman Analisis Harga Satuan Pekerjaan Bidang Pekerjaan Umum*. Indonesia. Jakarta.
- Rachmadi, Adi. 2016. *Pengembangan Infrastruktur Pelabuhan Panjang Sebagai Pelabuhan Cargo Bertaraf Internasional*. Semarang: Biro Penerbit Planologi Undip.
- Ramadhani, Afifah. 2017. *Optimalisasi Penggunaan Alat Berat pada Pekerjaan Galian Tanah di Proyek Tol Nganjuk-Kertosono*. Skripsi Universitas Brawijaya Malang.
- Rasyid, R, M., 2008. *Analisa Produktivitas Alat-alat Berat Proyek Studi Kasus Proyek Pengembangan Bandar Udara Hassanuddin, Maros, Makassar*. Tugas Akhir Universitas Islam Indonesia: Yogyakarta.
- Rochmanhadi. 1982. *Alat-alat berat dan Penggunaannya*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum, Jakarta.
- Rostiyanti, Susy F. 1990. *Alat Berat Untuk Proyek Konstruksi*. Badan Penerbit Pekerjaan Umum. Jakarta.



Saefudin, Achmad Hidayat, Arif Mudianto dan Puji Wiranto. 2016. *Kajian Penggunaan Alat-Alat Berat Pada Proyek Pembangunan Jalan Raya Ditinjau dari Aspek Teknis dan Ekonomi*. Artikel Program Studi Teknik Sipil, Unpak.

Setiadi, Dicky. 2016. *Perhitungan Kebutuhan Alat Berat pada Pekerjaan Tanah Proyek Pembangunan Pabrik Precast Di Sentul*. Skripsi Program Studi Teknik Sipil, FT-UNPAK.

Sjachdirin, M. 1998. *Pemindahan Tanah Mekanis*. Bagian Penerbit Institut Teknologi Nasional Malang.
Sopa, M.R.. 2013. *Perbandingan Biayadan Waktu Pemakaian Alat Berat Bulldozer dan Excavator Dibandingkan dengan Backhoe Loader pada Pembangunan Peternakan Ayam DayeuhManggung*. *Jurnal Konstruksi*. Sekolah Tinggi Teknologi Garut.

Sudjaja, Gaston dan Iwan B. Santoso. 2018. *Optimasi Pendistribusian Tanah dengan Menggunakan Metode Linear Programming*, Hlm 92-101. *Jurnal Mitra Teknik Sipil*.

Turalaki, Sylvester S, Jermias Tjakra, Revo L. Inkiriwang. 2016. *Optimalisasi Penggunaan Alat Berat Terhadap Biaya Cut & Fill Proyek Perumahan Holland Boulevard Manado*. *Jurnal Sipil Statik*.

Waris, A., Khamidi, MF, dan Idrus, A. 2013. *Alat berat akuisisi di industri konstruksi Malaysia, di Proceedingso fSimposium Internasional tentang Bisnis, Teknik dan Aplikasi Industri*. Kuching, Malaysia.

Yeo, KT, Ning, JH, 2006. *Mengelola ketidakpastian dalam peralatan utamapengadaandalam proyek-proyek rekayasa*. *Eur. J. Oper. Res.* 17(1), 123-134.