

PROGRAM PERHITUNGAN EFEKTIVITAS WAKTU DAN BIAYA PEMAKAIAN TOWER CRANE

Paulus Eric Hartono¹, Noviyanti², Ratna S. Alifen³

ABSTRAK: Pada pelaksanaan proyek gedung bertingkat, *Tower Crane* (TC) merupakan alat untuk mengangkat material baik arah vertikal maupun horisontal. Untuk efisiensi biaya proyek, perkiraan jadwal dan waktu penggunaan TC perlu direncanakan sebelum pelaksanaan konstruksi. TC umumnya digunakan pada banyak pekerjaan dengan karakteristik berbeda seperti pekerjaan pengangkatan tulangan, *bekisting*, pengecoran, dan lain-lain, sehingga perlu diperhatikan waktu penggunaan TC yang berkaitan dengan schedule proyek, dimana keterlambatan waktu pekerjaan di lapangan dapat mengakibatkan durasi yang lebih untuk TC dan akan mempengaruhi penambahan biaya yang dikeluarkan pada proyek. Oleh sebab itu, diperlukan program yang dapat menghitung efektivitas waktu dan biaya pemakaian TC. Dengan mempelajari karakteristik dan spesifikasi TC serta observasi lapangan pada proyek *Educity Residence*, Surabaya, maka dibuatlah program perhitungan efektivitas waktu dan biaya pemakaian TC. Perkiraan waktu mencakup gerakan horisontal (*Trolley*), vertikal (*hoist*), dan rotasi (*swing*) yang dihitung secara matematis untuk setiap jenis pekerjaan dengan memperhatikan kondisi manajemen dan kondisi pekerjaan. Hasil dari program ini diharapkan dapat membantu kontraktor dalam mengatur pemakaian TC di lapangan.

KATA KUNCI : *tower crane*, *trolley*, *hoist*, *swing*, biaya, efektivitas

1. PENDAHULUAN

Kegiatan pemindah material merupakan salah satu kebutuhan utama untuk berlangsungnya kegiatan proyek. *Tower Crane* (TC) merupakan motor utama pada sebuah pekerjaan proyek konstruksi dalam skala besar yang bekerja sebagai alat untuk membantu mengangkat material baik arah vertikal maupun horisontal.

Dalam menggunakan TC, ada dua hal yang perlu diperhatikan oleh kontraktor yaitu biaya dan waktu. Biaya tersebut terdiri dari biaya kepemilikan (biaya investasi, biaya depresiasi, pajak, biaya asuransi alat) dan biaya operasional TC (biaya bahan bakar, biaya pelumas, biaya operator, biaya mobilisasi dan demobilisasi, serta biaya perawatan dan perbaikan). Selain itu hal yang perlu diperhatikan adalah waktu penggunaan TC yang terdiri dari waktu siklus dan waktu total, hal ini erat kaitannya dengan schedule proyek dimana keterlambatan waktu pekerjaan yang muncul di lapangan dapat mengakibatkan diperlukannya juga durasi waktu yang lebih untuk TC. Bertambahnya durasi waktu pemakaian TC dengan sendirinya akan mempengaruhi penambahan biaya yang dikeluarkan pada proyek. Untuk dapat memperkirakan durasi pemakaian TC pada suatu proyek, maka diperlukan suatu program pemakaian TC secara efektif untuk memperkirakan durasi penggunaan TC pada setiap aktifitas proyek. Program ini dilengkapi dengan perhitungan biaya operasional TC, serta menampilkan site layout proyek untuk mempermudah menghitung waktu pemakaian TC. Dengan adanya program ini diharapkan dapat membantu kontraktor sebagai *planning* dalam mengatur pemakaian TC di lapangan.

2. LANDASAN TEORI

¹ Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Paulus-eric90@yahoo.com

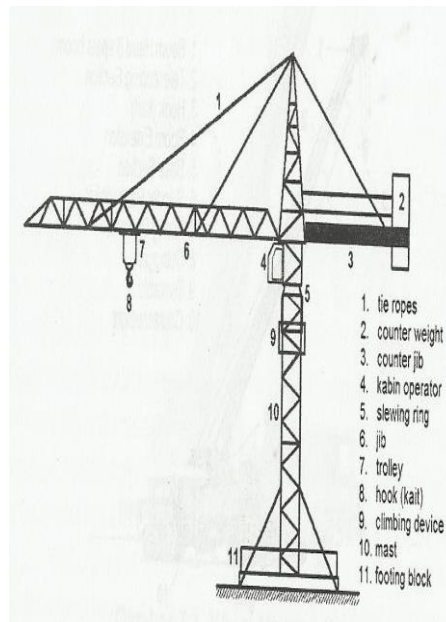
² Mahasiswa Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, Noviyanti2511@yahoo.com

³ Dosen Program Studi Teknik Sipil Universitas Kristen Petra, alifrat@petra.ac.id

2.1. Bagian-Bagian TC

Jenis TC bermacam-macam dengan ukuran yang ditentukan oleh panjang *jib* atau *boom*. TC memiliki beberapa bagian, yaitu : (Fatena, 2008) **Gambar 1.**

1. *Tie ropes* merupakan kawat yang berfungsi untuk menahan *jib* supaya dalam tetap dalam kondisi lurus 90° terhadap tiang utama.
2. *Counter weight* adalah penyeimbang beban.
3. *Counter jib* adalah tiang penyeimbang.
4. Kabin operator adalah ruang untuk operator mengoperasikan TC
5. *Slewing ring* berfungsi untuk memutar *jib*
6. *Jib* merupakan tiang horisontal yang panjangnya ditentukan berdasarkan jangkauan yang diinginkan.
7. *Trolley* merupakan alat yang bergerak sepanjang *jib* yang digunakan untuk memindahkan material secara horisontal dan biasanya dipasangkan *hook* atau kait.
8. *Hook* merupakan pengaman pada *hook crane* yang berguna untuk mengunci beban yang dikaitkan pada *hook* agar tidak terlepas dari *hook* itu sendiri.
9. *Climbing device* merupakan alat untuk menambah ketinggian *crane*.
10. *Mast* merupakan tiang vertikal yang berdiri di atas base atau dasar.
11. *Footing block* adalah tempat pijakan TC



Gambar 1. Bagian-Bagian TC

2.2. Penggunaan TC

TC digunakan untuk mengangkat material konstruksi bangunan dari bawah menuju bagian yang ada di atas, juga dipakai untuk mengangkat bahan *concrete bucket* pada proses pengecoran dan mampu mengangkat aneka jenis alat bantu maupun bahan untuk membuat *bekisting* kolom, besi beton, dan lain sebagainya. Cara kerja TC dibagi menjadi tiga gerakan, yaitu :

- **Gerakan vertikal angkat dan turun (*Hoist*)** : Gerakan mengangkat dan menurunkan beban diatur oleh kerja motor penggerak yang berfungsi menggulung tali baja. Tali baja ini akan menggerakkan beban yang digantungkan kait (*hook*) yang akan bergerak naik-turun. Bila posisinya telah sesuai dengan yang dikehendaki maka gerakan akan dihentikan oleh operator dengan menarik tuas (*handle*) yang terhubung dengan rem.
- **Gerakan Horisontal (*Trolley*)** : Gerakan ini adalah gerakan *trolley* yang berjalan / berpindah dalam arah mendatar (*horisontal*) atau melintang. Gerakan ini diatur oleh motor yang berfungsi *trolley* berjalan disepanjang rel yang terletak diatas *girder* dan *boom*.

- **Gerakan Memutar (Swing)** : Gerakan ini terjadi akibat putaran motor yang memutar gigi *jib* sehingga *jib* dapat berputar ke arah kanan atau kiri dengan sudut 360° .

2.3 Waktu Siklus

Waktu siklus adalah waktu tempuh yang diperlukan *TC* untuk melakukan satu kali putaran. Waktu siklus terdiri dari :

- **Waktu tetap (fixed time)** tergantung pada jenis material yang diangkat, untuk setiap pekerjaan memiliki waktu tetap yang berbeda. Waktu tetap terdiri dari waktu muat dan waktu pembongkaran.
- **Waktu variabel** bergantung pada waktu tempuh vertikal yang berdasarkan tinggi angkat, waktu tempuh rotasi tergantung sudut putar, dan waktu tempuh horisontal tergantung pada jarak titik tujuan dan sumber material serta kecepatan *TC*.

2.4. Biaya Operasional Alat (Operational Cost)

Biaya operasi adalah biaya-biaya yang berkaitan dengan pengoperasian suatu peralatan, dimana biaya operasi ini terjadi hanya pada waktu peralatan tersebut dipergunakan. (Nunnally,2007). Biaya Operasional terdiri dari :

- **Biaya Operator Alat**
Biaya ini adalah biaya untuk sumber daya manusia yang mengoperasikan alat. (Day, 1973).
- **Biaya Mobilisasi dan Demobilisasi Alat**
Biaya ini merupakan biaya yang dikeluarkan untuk mengangkut alat antara proyek dengan tempat penyimpanan alat.
- **Biaya Erection-Dismantle**
Biaya ini adalah biaya yang dikeluarkan untuk proses pemasangan dan pembongkaran *TC* yang dipakai pada proyek.
- **Biaya Pelumas**
Jumlah minyak pelumas yang digunakan oleh suatu mesin akan berubah-ubah terhadap ukuran mesin, kondisi cincin-piston, dan selang waktu penggantian minyak. Umumnya penggantian minyak dilakukan setiap 100 hingga 200 jam..
- **Biaya Bahan Bakar (Fuel Cost)**
Jumlah bahan bakar untuk alat berat yang menggunakan bensin atau solar berbeda-beda. Rata-rata alat yang menggunakan bahan bakar bensin 0,06 galon per horse-power per jam, sedangkan alat yang menggunakan bahan bakar solar mengkonsumsi bahan bakar 0,04 galon per *horse-power* per jam.
- **Biaya Listrik**
Biaya ini adalah biaya yang dikeluarkan oleh kontraktor apabila sumber listrik yang digunakan pada proyek berasal dari PLN .

2.5 Faktor yang Mempengaruhi Produktivitas TC.

Di dalam perhitungan program ada 3 faktor yang dipakai, yaitu: faktor kondisi alat, kondisi pekerjaan, dan kondisi management proyek. Di dalam *Job Management Factor* menurut *Peurifoy*(1985) ada 2 kondisi yaitu *Job conditions* dan *Management conditions*, sehingga faktor dari kondisi alat dan management proyek di masukkan didalam *Management conditions*, sedangkan kondisi pekerjaan di dalam *Job conditions*.

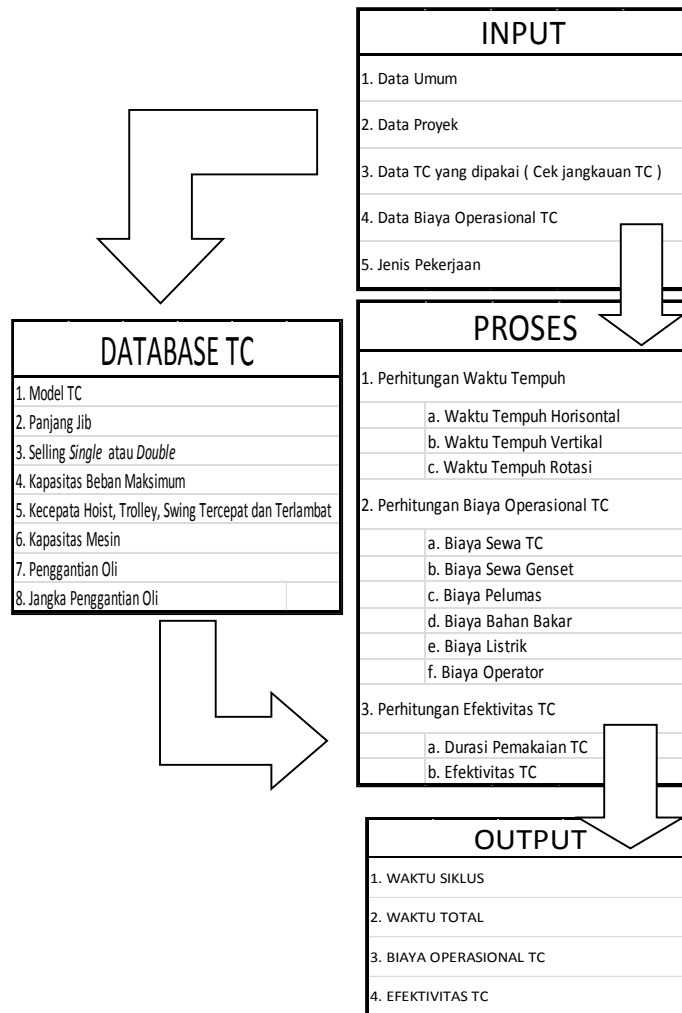
Dari kedua faktor diatas didapat perpaduan nilai efisiensi dari keduanya yaitu nilai efisiensi yang mempengaruhi perhitungan dalam mencari waktu tempuh *TC*. (**Tabel 1.**)

Tabel 1 *Job-Management Factor* (Peurifoy, 1985)

<i>Job Conditions</i>	<i>Management Conditions</i>			
	<i>Excellent</i>	<i>Good</i>	<i>Fair</i>	<i>Poor</i>

<i>Excellent</i>	0.84	0.81	0.76	0.70
<i>Good</i>	0.78	0.75	0.71	0.65
<i>Fair</i>	0.72	0.69	0.65	0.60
<i>Poor</i>	0.63	0.61	0.57	0.52

3. ALUR KERJA PROGRAM (Gambar 2.)



Gambar 2. Alur Kerja Program

4. PROGRAM

4.1 Input Program

- **Data Umum**
Pada data umum ini berisikan gambaran secara umum mengenai proyek yang akan ditinjau dalam program. Data umum terdiri dari Nama Proyek, Lokasi proyek, Tanggal, Jumlah jam kerja, jumlah hari kerja, durasi sewa TC dan Luas tanah proyek.
- **Data Proyek**
Dalam data proyek ini akan diisi beberapa data yang berhubungan di lapangan sebagai data untuk pembuatan denah gedung yang terdiri dari Nama tower, nama Zona, koordinat awal untuk pembuatan denah gedung, ukuran gedung, jarak dan ukuran kolom serta ketinggian lantai.
- **Data Tower Crane yang dipakai**
Pada data TC proyek dalam program ini berisikan tentang semua TC yang akan digunakan dalam proyek yang nantinya akan dimunculkan pada denah gedung yang terdiri dari Nama dan jenis TC yang akan dipakai, letak TC, Efisiensi kerja serta cek jangkauan TC terhadap luas gedung.

- Data Biaya Operasional TC
Dalam tahap data biaya operasional TC ini program akan meminta data-data biaya operasional yang terdiri dari biaya sewa TC, biaya operator, biaya mob-demob, biaya erection dan dismantle, harga pelumas, sumber listrik (PLN atau Genset) dan tarif dasar listrik.
- Jenis Pekerjaan
Jenis Pekerjaan dibagi menjadi empat garis besar yaitu : Pekerjaan Tulangan, Pekerjaan *bekisting*, Pekerjaan Pengecoran dan lain-lain. Pada pekerjaan tulangan, *bekisting* dan pengecoran meliputi kolom, balok, shearwall dan plat.

4.1 Proses Pengolahan Program

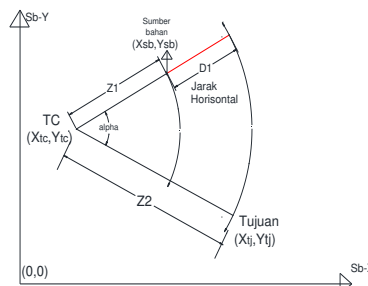
4.1.1 Perhitungan Waktu Tempuh, Waktu Siklus dan Waktu Total

A. Waktu Tempuh

I. Perhitungan Waktu Tempuh Horizontal

Dalam perhitungan waktu tempuh horizontal membutuhkan perhitungan jarak tempuh horizontal dan perhitungan kecepatan horizontal (*Trolley*).

- Perhitungan Jarak tempuh horizontal :
 1. Perhitungan Jarak TC dengan Sumber Bahan (**Gambar 3.**)
 - Koordinat TC (X_{TC}, Y_{TC}) pada proses perhitungan adalah titik pusat (0,0)
 - Koordinat TC ke sumber bahan (X_{SB}, Y_{SB})
 - $Z1$ = Jarak TC dengan sumber bahan
Rumus perhitungan Jarak TC ke sumber bahan :
 $Z1 = [(Y_{TC} - Y_{SB})^2 + (X_{SB} - X_{TC})^2]^{1/2}$
 2. Perhitungan Jarak TC dengan Lokasi Tujuan (**Gambar 3.**)
 - Koordinat TC (X_{TC}, Y_{TC}) pada proses perhitungan adalah titik pusat (0,0)
 - Koordinat TC ke lokasi tujuan (X_{TJ}, Y_{TJ})
 - $Z2$ = Jarak TC dengan lokasi tujuan
Rumus perhitungan Jarak TC ke lokasi tujuan:
 $Z2 = [(Y_{TC} - Y_{TJ})^2 + (X_{TJ} - X_{TC})^2]^{1/2}$
 3. Perhitungan Jarak Tempuh Horizontal (**Gambar 3.**)
 $D_1 = |Z2 - Z1|$



Gambar 3. Jarak Tempuh Horizontal TC

- Perhitungan kecepatan horizontal (*Trolley*)
Kecepatan horizontal TC :
Kecepatan *trolley* max = $\frac{(kec. trolley\ max - kec. trolley\ min)}{(kapasitas\ maximum\ beban\ TC - 0)}$ x berat yang diangkat TC
- Perhitungan berat material yang diangkat TC
 - Volume x berat jenis
- Perhitungan waktu tempuh horizontal
 - Waktu tempuh horizontal angkat = $\frac{jarak\ horizontal}{kecepatan\ trolley\ yang\ digunakan}$

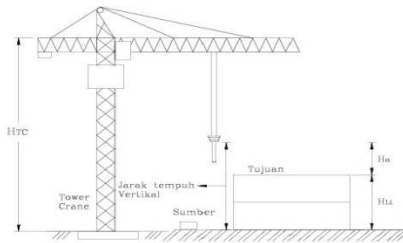
- Waktu tempuh horisontal kembali = $\frac{\text{jarak horisontal}}{\text{kecepatan trolley tercepat}}$

II. Perhitungan Waktu Tempuh Vertikal

- Perhitungan jarak tempuh vertikal (**Gambar 4.**)

Jarak tempuh vertikal adalah jarak total yang ditempuh hoist secara vertikal. Dalam proses perhitungan jarak tempuh vertikal dibutuhkan :

- Elevasi Gedung 0,0
- Elevasi Sumber Bahan (H_{SB})
- Elevasi Lantai tujuan (H_{LT})
- Tinggi Penambahan (H_0)



Gambar 4. Jarak Tempuh Vertikal

- Jarak Tempuh Vertikal = $H_{LT} - H_{SB} + H_0$

- Perhitungan kecepatan vertikal (*Hoist*)

Kecepatan vertikal TC:

$$\text{Kecepatan hoist max} = \frac{(\text{kec. hoist max} - \text{kec. hoist min})}{(\text{kapasitas maximum beban TC} - 0)} \times \text{berat yang diangkat TC}$$

- Perhitungan berat material yang diangkat TC = perhitungan berat material yang diangkat TC pada waktu tempuh horisontal.

- Perhitungan waktu tempuh vertikal (*Hoist*)

- Waktu tempuh vertikal angkat = $\frac{\text{jarak tempuh vertikal}}{\text{kecepatan hoist yang digunakan}}$

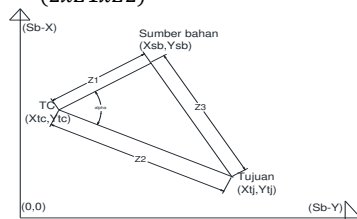
- Waktu tempuh vertikal kembali = $\frac{\text{jarak tempuh vertikal}}{\text{kecepatan hoist tercepat}}$

III. Perhitungan Waktu Tempuh Rotasi

- Perhitungan jarak tempuh rotasi (**Gambar 5.**)

Jarak tempuh rotasi berupa sudut rotasi yang terbentuk antara sumber bahan –TC- lokasi tujuan (°/menit).

$$\text{Sudut tempuh rotasi} = \cos \alpha = \frac{Z_1^2 + Z_2^2 - Z_3^2}{(2 \times Z_1 \times Z_2)}$$



Gambar 5. Jarak Tempuh Rotasi

- Perhitungan kecepatan rotasi (*swing*)

Kecepatan rotasi TC :

$$\text{Kecepatan swing max} = \frac{(\text{kec. swing max} - \text{kec. swing min})}{(\text{kapasitas maximum beban TC} - 0)} \times \text{berat yang diangkat TC}$$

- Perhitungan berat material yang diangkat TC = perhitungan berat material yang diangkat TC pada waktu tempuh horisontal

• Perhitungan waktu tempuh rotasi (*Swing*)

- Waktu tempuh rotasi angkat = $\frac{\text{jarak rotasi}}{\text{kecepatan swing yang digunakan}}$
- Waktu tempuh rotasi kembali = $\frac{\text{jarak rotasi}}{\text{kecepatan swing tercepat}}$

B. Perhitungan waktu siklus

Waktu siklus adalah waktu yang dibutuhkan TC untuk bergerak satu putaran, yang terdiri dari waktu tetap (*Fixed time*) dan waktu variabel.

Waktu siklus TC = waktu tempuh angkat + waktu tempuh kembali + waktu rotasi + waktu ikat + waktu lepas

C. Perhitungan waktu total jenis pekerjaan

Perhitungan waktu total pekerjaan merupakan kesuruhan total waktu yang dibutuhkan TC pekerjaan (Rekapitulasi).

Waktu Total jenis pekerjaan = \sum waktu siklus tiap jenis pekerjaan

4.1.2 Perhitungan Biaya Operasional TC

• Perhitungan biaya sewa

Durasi pemakaian TC 1 hari dalam jam.

Durasi pemakaian TC untuk 1 bulan dalam jam.

- Harga sewa TC $\frac{\text{Harga sewa TC}}{\text{durasi pemakaian TC dalam 1 bulan}}$
- Harga sewa genset : $\frac{\text{Harga sewa genset}}{\text{durasi pemakaian TC dalam 1 bulan}}$
- Total harga sewa : Harga sewa TC + Harga sewa genset

• Biaya pelumas

$$G = \frac{DK \times f}{195,5} + \frac{C}{t}$$

Dimana :

G = banyaknya minyak pelumas yang digunakan (liter/jam)

DK = daya kuda standart mesin (KVA)

C = kapasitas karter mesin (liter)

f = faktor pengoperasian

t = lama penggunaan pelumas (jam)

• Biaya bahan bakar :

Kebutuhan bahan bakar: FOM x FW x PBB x PK

Dimana : FOM = Faktor operasi mesin

FW = Faktor efisiensi waktu operasi (**Tabel 2**)

PBB = Kondisi standar pemakaian bahan bakar per *horse-power*

Bensin = 0.3 liter/horsepower/jam

Solar = 0.2 liter/horsepower/jam

PK = Standar mesin (KVA)

Tabel 2 Faktor Efisiensi Waktu Operasi (Rochmanhadi 1985)

Faktor waktu kerja efektif		
kondisi	waktu kerja efektif	efisiensi kerja

baik sekali	55 menit/jam	0.92
baik	50 menit/jam	0.83
sedang	45 menit/jam	0.75
jelek	40 menit/jam	0.67

Biaya bahan bakar = Kebutuhan bahan bakar x Harga bahan bakar

- Biaya Listrik
KWH Pemakaian Listrik = daya alat listrik x lama pemakaian (dalam jam)
Biaya Listrik = Pemakaian (kWH) x Tarif Dasar Listrik
- Biaya operator = $\frac{\text{biaya operator}}{\text{Jumlah jam kerja TC dalam 1 bulan}}$
- Total biaya TC per jam
Total harga sewa + Biaya operasional + Biaya operator
- Perhitungan Biaya total pemakaian TC : (**Tabel 3.**)

Tabel 3. Perhitungan Biaya Total Pemakaian TC

No	Jenis	Biaya total pemakaian TC
1	Mobilisasi dan demobilisasi	Biaya mob-demob x jumlah TC
2	Sewa TC	Biaya TC x waktu total pemakaian TC
3	Sewa genset	Biaya genset x waktu total pemakaian TC
4	Operator	Biaya operator x waktu total pemakaian TC
5	Bahan bakar	Biaya bahan bakar x waktu total pemakaian TC
6	Pelumas	Biaya pelumas x waktu total pemakaian TC
7	Listrik	Biaya listrik x waktu total pemakaian TC
		Σ Biaya total pemakaian TC

4.1.3 Perhitungan Efektivitas

- Durasi pemakaian TC : $\frac{\text{Durasi waktu total pemakaian TC(hari)}}{\text{Faktor management-pekerjaan}}$
- Durasi pemasangan-pembongkaran TC (hari)
- Efektivitas : $\frac{\text{Durasi pemakaian TC}}{\text{Durasi pemasangan-pembongkaran TC}} \times 100\%$

4.2 Output Program :

- Waktu siklus
- Waktu total
- Biaya operasional TC
- Efektivitas

5. KESIMPULAN

Pada program ini juga dapat digunakan untuk mengetahui waktu efektif dari setiap sub pekerjaan yang diinginkan. Waktu yang dihasilkan dari setiap sub pekerjaan TC dapat membantu kontraktor dalam perencanaan penggunaan TC yang optimal sehingga biaya yang dikeluarkan juga dapat diatur dengan baik. Efektivitas penggunaan TC dipengaruhi oleh beberapa faktor seperti kondisi alat, kondisi lapangan, manajemen proyek, kemampuan operator, faktor operasi mesin, dan faktor efisiensi waktu operasi.

6. REFERENSI

Day, D. A. (1973). *Construction Equipment Guide* (First). John Wiley & Sons, Inc. Canada.

- Fatena, Susy. (2008). *Alat Berat untuk Proyek Konstruksi*. Penerbit Rineka Cipta. Jakarta.
- Nunally, S. W.(2007). *Construction Methods and Management* (Ketujuh). Prentice Hall Inc. New Jersey.
- Peurifoy, R.L.; Ledbetter, W.B.; Martono, D. (1985). *Perencanaan, Peralatan, dan Metode Konstruksi* (Keempat.). Erlangga. Jakarta.
- Rochmanhadi.(1985). *Perhitungan Biaya Pelaksanaan Pekerjaan dengan Menggunakan Alat-Alat Berat*. Departemen Pekerjaan Umum. Jakarta.