

2. LANDASAN TEORI

2.1. Pendahuluan

Pada awalnya kekuatan manusia ditambah dengan bantuan tenaga hewan menjadi sarana untuk mengangkat beban baik itu berat maupun ringan. Dengan perkembangan teknologi penanganan beban menjadi lebih mudah dengan adanya sistem otomatisasi. Hal ini sangat berpengaruh pada penanganan material proyek konstruksi terutama untuk ukuran bangunan dan kecepatan pekerjaan. Perkembangan pemakaian *tower crane* dimulai setelah perang dunia II dimana dipakai untuk membangun kembali daerah luas yang terdiri dari apartemen-apartemen dan kantor-kantor yang rusak akibat perang dunia II (Bauer,1973).

Tower crane (TC) banyak digunakan pada konstruksi bangunan bertingkat banyak karena ketinggiannya yang dapat disesuaikan dengan ketinggian bangunan yang diinginkan dan *jib* yang panjang terletak diatas TC memungkinkan jarak jangkauan yang cukup jauh dan bebas hambatan (Gambar 2.1).

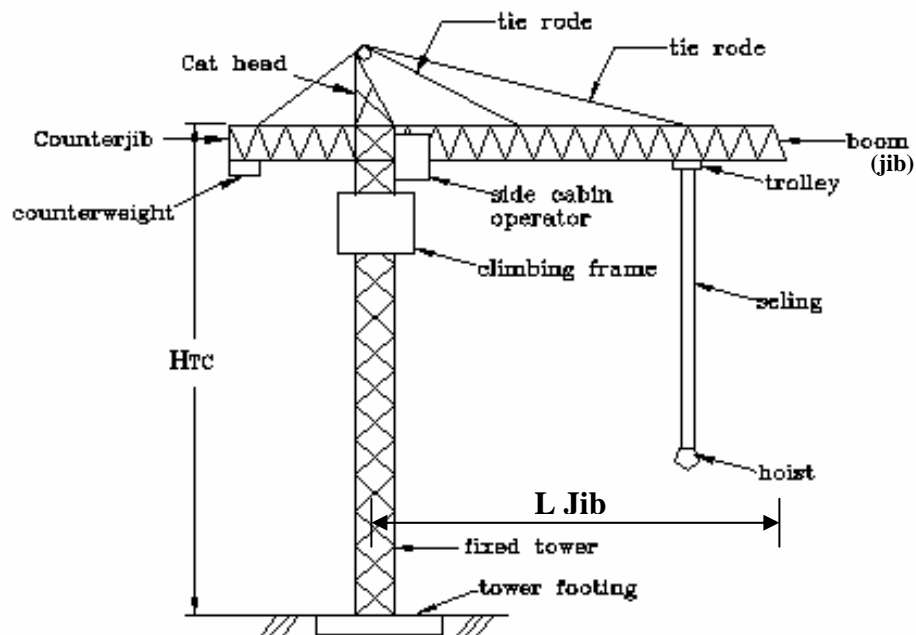


Gambar 2.1. *Tower Crane*

2.2. Bagian-Bagian TC

Spesifikasi TC yang berkaitan dengan operasi pemindahan material meliputi ketinggian TC, jangkauan *jib*, *hoist*, *trolley*, dan *seling* (Lu,1990): (Gambar 2.2)

- Ketinggian TC bergantung dari ketinggian yang ingin dicapai. Jika perlu ketinggian TC ini dapat ditambah dengan mengikatkannya ke bangunan.
- *Jib* atau *boom* merupakan lengan TC yang terdiri dari elemen-elemen besi yang tersusun menjadi satu bagian rangka batang. Pemasangan *jib* harus sesuai dengan keperluan dan persyaratannya baik itu dengan panjang yang standar maupun yang mencapai maksimum. Pemasangan panjang *jib* ini selanjutnya mempengaruhi terhadap beban yang diangkat. Untuk tiap panjang *jib* tertentu ada batasan beban maksimum. *Counterjib* berfungsi sebagai *jib* penyeimbang terhadap boom yang terpasang. *Counterjib* dilengkapi dengan *counterweight* yang berfungsi sebagai bebannya.
- *Hoist* adalah bagian TC yang berfungsi sebagai alat angkat arah vertikal.
- *Trolley* adalah bagian TC yang berfungsi sebagai alat angkat arah horisontal.



Gambar 2.2. Bagian-bagian TC

- *Seling* adalah bagian TC yang berupa kabel baja dan merupakan bagian dari hoist. Pemakaian seling bisa diubah-ubah diameternya atau dapat ditambahkan (*double seling*), tergantung pada kebutuhan di lapangan.

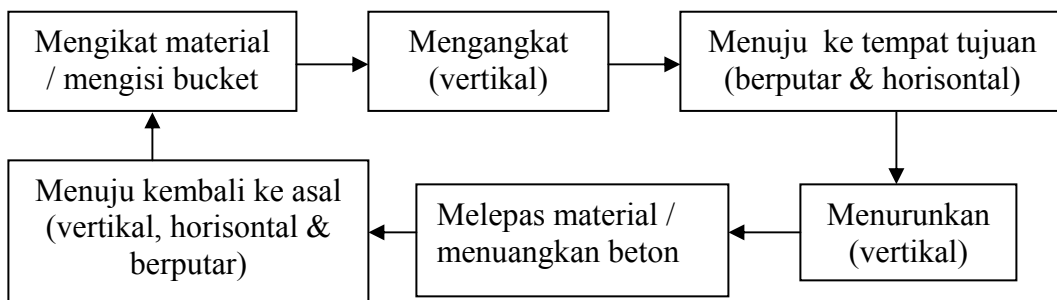
2.3 Penggunaan TC

TC dapat mengangkat berbagai macam material dengan batasan beban maximum, selain itu material juga harus dapat diikat dengan kuat agar tidak jatuh. Beberapa contoh material yang dapat diangkat oleh TC adalah material campuran beton *ready-mix* untuk pekerjaan pengecoran dengan menggunakan bucket beton, pengangkatan scaffolding, batu bata, tulangan, peralatan, besi beton, besi baja WF, bekisting, wiremesh, kayu, beton precast (plat, balok, dinding dan kolom) dan lain-lain. Untuk pekerjaan pengecoran dengan menggunakan TC dilakukan untuk mengecor kolom, dinding geser, lantai dan balok, khusus lantai dan balok dapat memakai TC apabila sudah tidak dapat dijangkau oleh *concrete pump* lagi.

Pada saat memperkirakan produktivitas dalam penggunaan TC ada beberapa hal yang perlu diperhatikan, adalah: waktu siklus, jarak tempuh, dan waktu tempuh.

2.4. Waktu Siklus

Waktu siklus adalah waktu tempuh yang diperlukan TC untuk melakukan 1 kali pekerjaan dimana TC melakukan 3 gerakan utamanya, yaitu vertikal (*hoist*), horisontal (*trolley*), dan berputar (*swing*), dimana ketiga gerakan utama ini terdiri dari 6 tahap pekerjaan (Gambar 2.3).



Gambar 2.3. Waktu Siklus TC

2.5. Jarak Tempuh

Jarak tempuh adalah jarak total yang diperlukan TC untuk melakukan 1 kali siklus pekerjaan. Jarak tempuh TC terdiri dari: jarak tempuh vertikal, jarak tempuh horisontal, dan besarnya sudut putar.

Untuk menghitung jarak tempuh TC dibutuhkan beberapa data, antara lain:

- Koordinat Tujuan (X_t, Y_t)
- Koordinat Asal (X_a, Y_a)
- Koordinat TC (X_{TC}, Y_{TC}) dianggap sebagai titik (0,0)
- Panjang jib TC (L_{Jib})
- Ketinggian TC (H_{TC})
- Ketinggian Bangunan (H_b)
- Ketinggian tiap lantai (H_L)
- Jumlah lantai (N_L)

2.5.1. Jarak Tempuh Vertikal

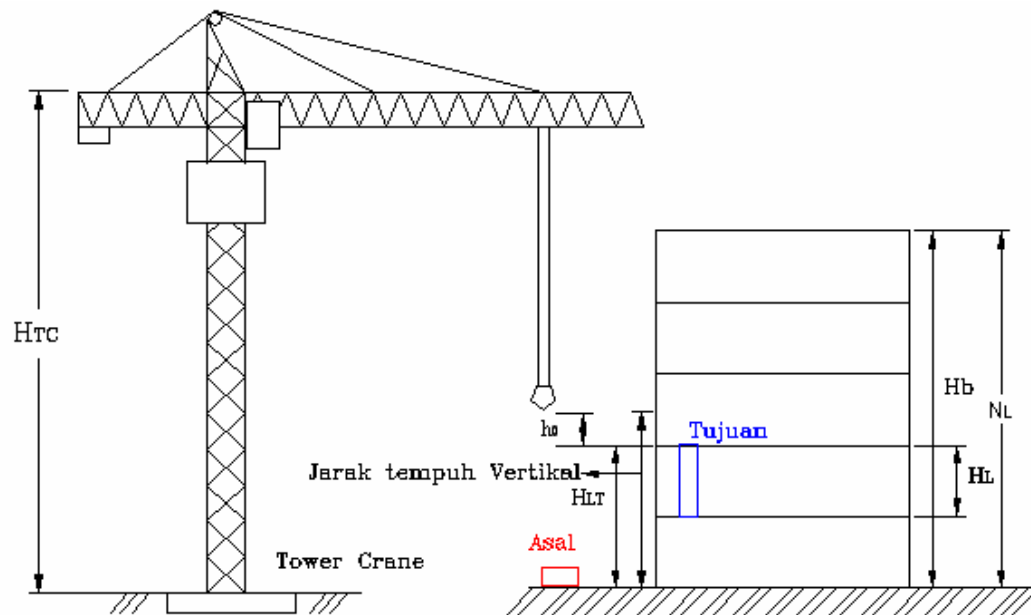
Jarak tempuh vertikal TC adalah jarak total yang ditempuh oleh *hoist* secara vertikal, (Gambar 2.4).

- Jarak tempuh Vertikal = $H_{LT} + h_0$ (2.1)

dimana :

H_{LT} = ketinggian lantai tujuan (m)

h_0 = tinggi tambahan yang diperlukan (m)



Gambar 2.4. Jarak Tempuh Vertikal TC

2.5.2. Jarak Tempuh Horizontal

Jarak tempuh horisontal TC adalah jarak total yang ditempuh oleh *troelly* secara horisontal, (Gambar 2.5).

- Jarak tempuh horizontal = $|D_1 - D_2|$ (2.2)

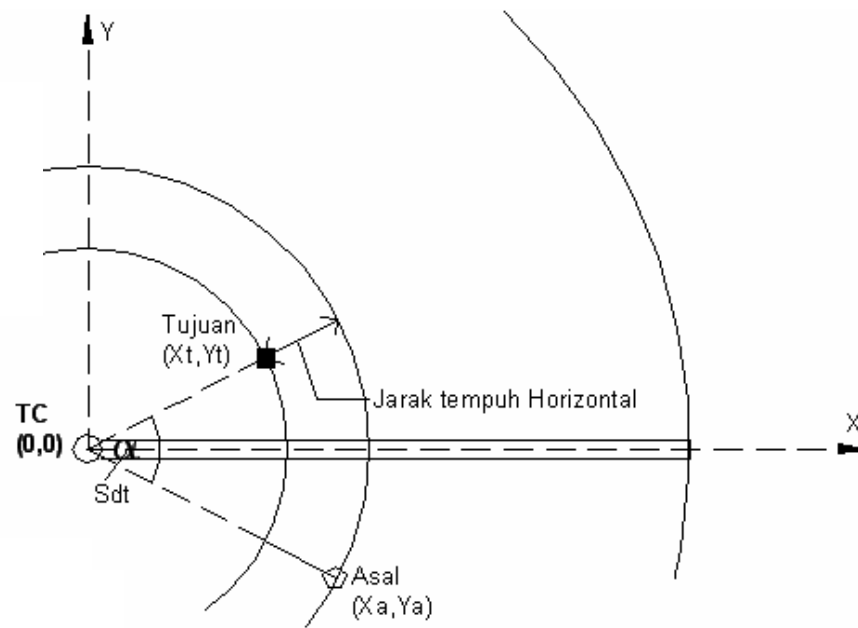
- $D_1 = \sqrt{X_t^2 + Y_t^2}$ (2.3)

- $D_2 = \sqrt{X_a^2 + Y_a^2}$ (2.4)

dimana :

D_1 = jarak antara TC dengan tujuan.

D_2 = jarak antara TC dengan asal



Gambar 2.5. Jarak Tempuh Horizontal TC

2.5.3. Sudut Rotasi

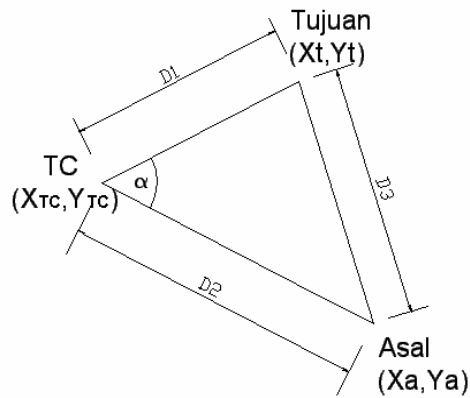
Sudut rotasi TC adalah sudut yang terbentuk antara Asal-TC-Tujuan, (Gambar 2.6).

$$\bullet \cos \alpha = \frac{D1^2 + D2^2 - D3^2}{2 \times D1 \times D2} \dots\dots\dots (2.5)$$

$$\bullet D_3 = \sqrt{(X_t - X_a)^2 + (Y_t - Y_a)^2} \dots\dots\dots(2.6)$$

dimana :

D_3 = jarak antara asal dengan tujuan.



Gambar 2.6. Sudut Rotasi TC

2.6. Waktu Tempuh

- $Eff\ time\ TC = \sum_{i=1}^m \{n \times (T_0 + T_h + T_v + T_r)\}_i \dots\dots\dots (2.7)$

- $Waktu\ Tempuh\ TC = \frac{Eff\ time\ TC}{F_e} \dots\dots\dots (2.8)$

dimana:

Eff time TC = Waktu efektif dari *Tower Crane* [menit].

m = jumlah banyaknya titik koordinat tujuan

n = jumlah banyaknya angkat ke titik tujuan

T_0 = waktu tuang dan tunggu atau waktu ikat [menit]

T_h = waktu tempuh arah horizontal (*Trolley*) [menit]

T_v = waktu tempuh arah vertikal (*Hoist*) [menit]

T_r = waktu tempuh rotasi (*swing*) [menit]

F_e = *Job Management Factor* (Tabel 1)

- $T_h = \frac{D_h}{V_{hp}} + \frac{D_h}{V_{hk}} \dots\dots\dots (2.9)$

- $T_v = \frac{D_v}{V_{vp}} + \frac{D_v}{V_{vk}} \dots\dots\dots (2.10)$

$$\bullet \quad T_r = \frac{D_r}{V_{rp}} + \frac{D_r}{V_{rk}} \dots\dots\dots (2.11)$$

$$\bullet \quad n = \frac{W_{tot}}{W_0} \dots\dots\dots (2.12)$$

dimana:

D_h	= jarak tempuh horizontal (<i>Trolley</i>) [m]
V_{hp}	= kecepatan horizontal dalam keadaan penuh beban [m/menit]
V_{hk}	= kecepatan horizontal dalam keadaan kosong [m/menit]
D_v	= jarak tempuh vertikal (<i>Hoist</i>) [m]
V_{vp}	= kecepatan vertikal dalam keadaan penuh beban [m/menit]
V_{vk}	= kecepatan vertikal dalam keadaan kosong [m/menit]
D_r	= jarak tempuh rotasi (<i>Swing</i>) [rad]
V_{rp}	= kecepatan rotasi dalam keadaan penuh beban [rpm]
V_{rk}	= kecepatan rotasi dalam keadaan kosong [rpm]
W_{tot}	= beban total yang akan diangkat oleh TC [ton]
W_0	= beban maksimum per angkat [ton]

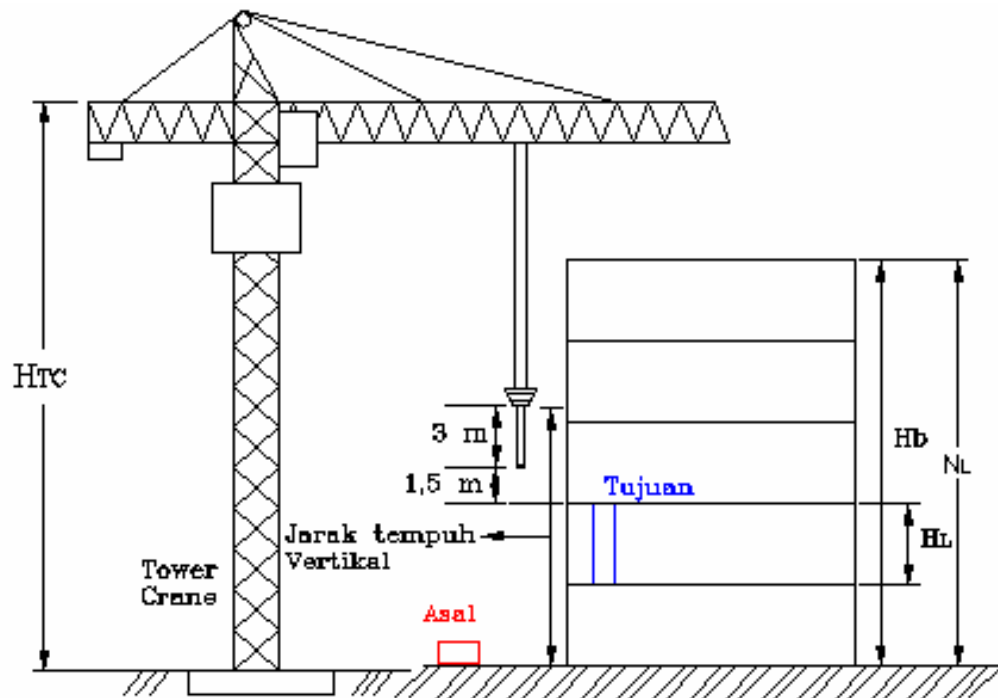
Catatan:

- Kecepatan dalam keadaan penuh diperoleh dari hubungan antara beban dengan kecepatan dari brosur TC (Lampiran 1).
- Kecepatan dalam keadaan kosong adalah kecepatan tercepat dari TC
- Beban maksimum per angkat diperoleh dari hubungan antara beban dengan jarak angkat dari brosur TC (Lampiran 1).

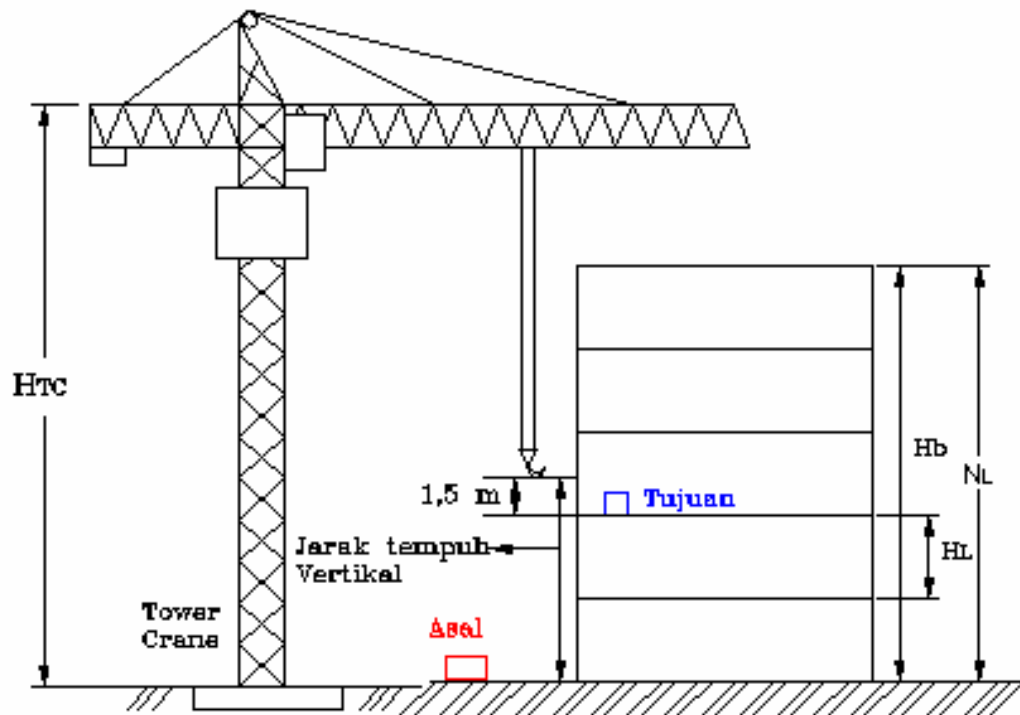
Ketentuan :

Berdasarkan pada hasil observasi di proyek pada operasi TC, ada beberapa ketentuan yang perlu ditetapkan dalam melakukan perhitungan jarak tempuh, sudut rotasi, dan waktu tempuh TC, antara lain adalah:

- Tambahan tinggi: 4,5m untuk pekerjaan pengecoran (Gambar 2.7) dan 1,5m untuk pekerjaan pengangkatan material selain pengecoran (Gambar 2.8).



Gambar 2.7. Jarak Tempuh Vertikal untuk Pengecoran



Gambar 2.8. Jarak Tempuh Vertikal untuk Pengangkatan Material

- Berat keranjang untuk pengangkatan batu bata dan bucket untuk pengecoran adalah 100 kg.
- Berat scaffolding/m² plat adalah 20kg
- Berat jenis besi baja yang dipakai adalah 7850 kg/m³
- Waktu siklus TC terdiri dari *Fixed Time* dan *Variable Time*
- *Fixed Time* adalah waktu mengikat, melepas, mengisi bucket atau menuang beton cor (tergantung dari perkiraan *user* untuk setiap pekerjaan)
- Perhitungan waktu tempuh tidak ada kombinasi antara vertikal, horisontal dan swing, karena diambil yang maksimum.
- Untuk jumlah angkat (n) pekerjaan pengecoran kolom apabila volume kolom tidak sama dengan volume *bucket* pengecoran maka menghasilkan angka desimal, angka itu tidak dibulatkan dan dipakai dalam perhitungan *Eff time TC* (Persamaan 2.7).
- Untuk jumlah angkat (n) pekerjaan pengecoran dinding geser dan pengangkatan material yang menghasilkan angka desimal, maka angka itu dibulatkan keatas dan dipakai dalam perhitungan *Eff time TC* (Persamaan 2.7)
- Pekerjaan pengecoran kolom, dinding geser, pengangkatan batu bata, pengangkatan tulangan, dan pengangkatan lain-lain dikerjakan oleh TC selalu dimulai dari lantai dasar ke lantai yang dituju.
- Pekerjaan pengangkatan scaffolding, dan pengangkatan alat dikerjakan oleh TC mulai dari lantai dasar ke lantai 2, setelah di lantai 2 selesai maka diangkat ke lantai 3 dan seterusnya secara kontinyu.

2.7. Faktor-Faktor Yang Mempengaruhi Produktivitas TC.

Di dalam perhitungan program P3-TC ada 3 faktor yang mempengaruhi produktivitas TC, yaitu: faktor kondisi alat, kondisi pekerjaan, dan kondisi manajemen proyek. Di dalam *Job Management Factor* menurut *Peurifoy, 1997* ada 2 kondisi yaitu *Job conditions* dan *Management conditions*, sehingga faktor dari

kondisi alat dan manajemen proyek di masukkan di dalam *Management conditions*, sedangkan kondisi pekerjaan di dalam *Job conditions*.

Faktor dari *Management conditions* sangat mempengaruhi produktivitas TC, kondisi management yang baik dan teratur semakin memperlancar produktivitas TC, sehingga perhitungan waktu dalam penggunaan TC semakin cepat pula. Begitu pula sebaliknya yang buruk maka memperlambat produktivitas TC. Ada 4 penilaian mengenai keadaan *management*, yaitu *excellent*, *good*, *fair*, dan *poor*.

Faktor dari *Job Conditions* juga berpengaruh dalam produktivitas TC, keadaan pekerjaan dapat mencakup keadaan TC itu sendiri dan keadaan dari team pekerja (operator). Ada 4 penilaian mengenai *Job Conditions*, yaitu *excellent*, *good*, *fair*, dan *poor*.

Dari kedua faktor diatas didapat perpaduan nilai efisiensi dari keduanya yaitu nilai efisiensi yang mempengaruhi perhitungan dalam mencari waktu tempuh TC (Tabel 2.1).

Tabel 2.1. *Job-Management Factor* (Peurifoy, 1997)

<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

2.8. Penjadwalan TC.

Penjadwalan TC adalah suatu urutan waktu dari aktifitas-aktifitas TC yang direncanakan dan berguna sebagai panduan pada saat penggunaan TC pada tahap pelaksanaan proyek. Pada tahap ini harus dibuat daftar pekerjaan TC sesuai dengan

skedul aktifitas proyek, dengan tujuan untuk meningkatkan akurasi kurun waktu penggunaan TC secara keseluruhan (Clough dan Sears, 1991).

Penjadwalan penggunaan TC terhadap aktifitas yang dilakukan oleh TC dapat dibuat berdasarkan pada jadwal rencana proyek secara keseluruhan dengan tahapan sebagai berikut:

a. Identifikasi aktifitas

Proses penjadwalan diawali dengan mengidentifikasi aktifitas-aktifitas proyek yang berkaitan dengan pemakaian TC agar aktifitas yang telah ditentukan dapat terlaksana sesuai dengan jadwal proyek.

b. Perkiraan durasi

Produktifitas TC dapat dihitung dari data-data kapasitas beban TC dan kriteria dari aktifitas-aktifitas proyek yang menggunakan TC sehingga didapat durasi setiap aktifitas TC.

c. Penyusunan urutan aktifitas TC

Setelah diketahui durasi setiap aktifitas TC maka dilakukan penyusunan urutan aktifitas TC berdasarkan prioritas yang disesuaikan dengan skedul proyek. Apabila terjadi 2 atau lebih aktifitas yang bersamaan maka hanya dapat dikerjakan dengan memakai prioritas yang lebih perlu dan penting, tetapi dikerjakan bergantian.

d. Penyusunan jadwal TC

Setelah urutan aktifitas TC diketahui beserta juga durasinya maka disusun jadwal TC. Jadwal TC juga dapat berubah-ubah mengikuti skedul proyek dan *progress* di lapangan.