Perbandingan Durasi Waktu Proyek Konstruksi Antara Metode *Critical Path Method* (*CPM*) dengan Metode *Critical Chain Project Management* (Studi Kasus: Proyek Pembangunan Apartamen Menara Rungkut)

Mohamad Aulady[1], Cesaltino Orleans [2]
Jurusan Teknik Sipil-InstitutTeknologi Adhi Tama Surabaya [1] [2]
Email : mohamadaulady@itats.ac.id

ABSTRACT

The schedule delays on construction project is one of the case that inflict a financial loss towards stakeholders. Critical Chain Project Management (CCPM) is a scheduling methode that can be alternative solution from schedule controlling. This methode is done by reducing the multitasking, student syndrom, parkinson's law and giving the buffer in the end of time project. The aim of this study is comparing CCPM methode to Critical Path Methode (CPM) methode on Menara Rungkut apartment construction, Surabaya. CPM its self is the traditional project schedule that still use alternative time on each activity to protect the activities. The initial project schedule employ the traditional schedule methode by gantt chart that is then divided into detail and comprehensive by the relation among their activites in CPM form. Futhermore, it will be compared to CPPM schedule result that have reduced multitasking, safetytime on each activity and have given buffer on their work. Compared to the times, this study elucidate time duration for CCPM is 121 days that 48 days prior to CPM methode.

Keywords : Time duration, CCPM, CPM, the end of time project, traditional schedule.

ABSTRAK

Keterlambatan jadwal pada proyek konstruksi merupakan salah satu masalah yang dapat merugikan berbagai pihak pada proyek. *Critical Chain Project Management* (*CCPM*) adalah suatu metode penjadwalan yang dapat menjadi solusi alternatif dari permasalahan pengendalian jadwal tersebut. Metode ini ditempuh dengan cara menghilangkan *multitasking*, *student syndrome*, *parkinson's law* serta memberi *buffer* di waktu akhir proyek. Penelitian ini bertujuan untuk membandingkan metode *CCPM* tersebut dengan metode *Critical Path Method* (*CPM)* pada studi kasus proyek Pembangunan Apartamen Menara Rungkut, Surabaya yang tengah berjalan. *CPM* sendiri adalah metode penjadwalan tradisional yang masih menggunakan waktu cadangan pada setiap aktivitas untuk melindungi aktivitas-aktivitasnya. Penjadwalan awal proyek menggunakan metode penjadwalan tradisional berupa *gantt chart* yang kemudian di-*breakdown* lebih detail dan lengkap dengan hubungan antar aktivitasnya ke dalam bentuk *CPM*, dan kemudian akan dibandingkan dengan hasil dari penjadwalan *CCPM* yang telah menghilangkan *multitasking*, menghilangkan *Safety time* pada tiap aktivitas dan memberi *buffer* dalam pengerjaannya. Dibandingkan dari segi waktu, hasil penelitian ini didapatkan durasi waktu untuk *CCPM* adalah 121 hari lebih cepat 48 hari jika dibandingkan dengan metode *CPM*.

Kata Kunci : Durasi Waktu, *CCPM*, *CPM*, waktu akhir proyek, penjadwalan tradisional.

PENDAHULUAN

Konflik utama yang sering dihadapi dalam sebuah proyek konstruksi adalah penjadwalan proyek [1]**.** Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen penting, karena penjadwalan memberikan informasi tentang kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya, biaya, tenaga kerja, peralatan, material serta rencana durasi proyek dan progres waktu untuk penyelesaian proyek [2]. Progres waktu yang ditampilkan dalam jadwal proyek menjadi salah satu elemen penting dalam pengendalian waktu proyek. Karena dengan mengetahui progres rencana dana aktual satu proyek, maka kita dapat mengetahui seberapa jauh proyek tersebut terlambat atau lebih cepat. Seperti masalah penjadwalan yang dialami oleh proyek Pembangunan Apartemen Menara Rungkut. Di mana proses pembangunan pada lantai 8 dan 9 tidak sesuai *schedule* (terlambat), terutama pada saat pelaksanaan *bekisting*. Pekerjaan *bekisting* membutuhkan waktu yang cukup lama yaitu 12-14 hari

per lantai. Baik buruknya pekerjaan pemasangan *bekisting* sangat berpengaruh pada mutu dan kualitas beton. Oleh karena itu penjadwalan harus di kontrol dengan baik dan benar. Karena jika pekerjaan *bekeisting* tertunda atau terlambat, maka pekerjaan pengecoran juga bisa terlambat dan dapat pula berpengaruh pada mutu beton.

Untuk mengatasi hal ini penulis mencoba menerapkan metode *Critical Chain Project Management* (*CCPM*) yang merupakan penerapan *Theory of Constrain (TOC)* dalam manajemen proyek. Dalam metode ini, proyek dapat dipandang sebagai sebuah sistem, dan setiap sistem mempunyai *konstrain*. Dalam proyek, keterbatasan sumber daya merupakan *konstrain* utama yang menghambat penyelesaian proyek secara lebih cepat. *CCPM* menerapkan langkah-langkah *TOC* untuk merekayasa manajemen pelaksanaan proyek.

TINJAUAN PUSTAKA

Penjadwalan

Jadwal proyek merupakan alat yang dapat menunjukkan kapan berlangsungnya setiap kegiatan, sehingga dapat digunakan untuk pengendalian pelaksanaan proyek secara keseluruhan [3]. Dalam penelitian lain, penjadwalan atau *scheduling* adalah pengalokasian waktu yang tersedia untuk melaksanakan masing-masing pekerjaan dalam rangka menyelesaikan suatu proyek hingga tercapai hasil optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan – keterbatasan yang ada [2]. Penjadwalan proyek merupakan salah satu elemen penting [2]. Karena penjadwalan memberikan informasi tentang kemajuan proyek dalam hal kinerja sumber daya berupa biaya,tenaga kerja,peralatan dan material serta rencana durasi proyek dan progres waktu untuk penyelesaian proyek. Penjadwalan sering terlambat dikarenakan karena pengelola proyek kurang memahami jadwal proyek dan kurangnya komunikasi antara pengelola dengan pekerja di lapangan [4].

Critical Path Method (*CPM*)

CPM (*Critical PathMethod*) adalah metode penjadwalan tradisional yang masih menggunakan waktu cadangan pada setiap aktivitas untuk melindungi aktivitas-aktivitas tersebut [5]. *CPM* atau disebut juga metode jalur kritis merupakan salah satu metode yang menggunakan estimasi waktu secara *deterministik*. Jalur (lintasan) kritis suatu proyek adalah jalur dalam suatu jaringan kerja sedemikian hingga kegiatan pada lintasan ini memiliki kelembanan nol [6]. Jaringan kerja merupakan salah satu metode yang menjelaskan hubungan antara kegiatan dan waktu yang secara grafis mencerminkan urutan rencana kegiatan atau pekerjaan proyek [5]. Kegunaan jalur kritis tersebut untuk mengetahui kegiatan yang memiliki kepekaan sangat tinggi atas keterlambatan penyelesaian pekerjaan, atau disebut juga kegiatan kritis. Apabila kegiatan keterlambatan proyek maka akan memperlambat penyelesaian proyek secara keseluruhan meskipun kegiatan lain tidak mengalami keterlambatan.

Perhitungan Jalur Kritis

Perhitungan jalur kritis mencakup dua tahap. Tahap pertama disebut perhitungan maju (*forward pass*), di mana perhitungan dimulai dari node "awal" dan bergerak ke node "akhir". Di setiap node, sebuah angka dihitung yang mewakili waktu yang tercepat untuk suatu kejadian yang bersangkutan. Tahap kedua yang disebut perhitungan mundur (*backward pass*), memulai perhitungan dari node "akhir" dan bergerak ke node "awal" [7].

Perhitungan Maju

Pada perhitungan maju dimaksudkan untuk menghitung saat yang paling awal terjadinya dan penyelesaian kegiatan suatu proyek. Waktu mulai paling awal ES (*Earliest Start Time*) suatu kegiatan j didapatkan dari rumus:

$$\boldsymbol{ES_t = \left\{ max_t \left\{ \frac{0}{ES_t} - D_{tf} \right\}, j = 0 \right\}, j \neq 0} \quad (1)$$

Di mana:
ES_j adalah waktu mulai paling awal suatu kegiatan *j*,
ES_i adalah waktu mulai paling awal kegiatan *predecessor* dari kegiatan *j*,
D_{ij} adalah durasi kegiatan *i* yang merupakan *predecessor* dari kegiatan *j*

Waktu penyelesaian paling awal EF (*Earliest Finish Time*) suatu kegiatan *j* didapatkan dari rumus:$EF_j =$

$$\boldsymbol{EF_j = ES_j + D_j} \quad (2)$$

Di mana:
EF_j adalah waktu penyelesaian paling awal suatu kegiatan *j*,
ES_j adalah waktu mulai paling awal dari kegiatan *j*,
D_j adalah durasi dari kegiatan *j*

Perhitungan Mundur

Pada perhitungan mundur dimaksudkan untuk menghitung saat yang paling akhir penyelesaian dan terjadinya dari kegiatan suatu proyek. Waktu penyelesaian paling akhir LF (*Latest Finish Time*) suatu kegiatan i didapatkan dari rumus:

$$\boldsymbol{LF_t = \left\{ min_t \left\{ \frac{E_{sn}}{LF_t} - D_{tf} \right\}, j = n \right\}, j \neq n} \quad (3)$$

dimana:
LF_t adalah waktu penyelesaian paling akhir suatu kegiatan *i*,
E_{sn} adalah waktu mulai paling awal dari kegiatan *n*,
LF_t adalah waktu penyelesaian paling akhir kegiatan *successor* dari kegiatan *i*,
N_{tf} adalah durasi kegiatan *j* yang merupakan *successor* dari kegiatan *i*

Waktu mulai paling akhir LS (*Latest Start Time*) suatu kegiatan *i* didapatkan dari rumus:

$$\boldsymbol{LS_t - LF_t - D_t} \quad (4)$$

dimana:
LS_t adalah waktu mulai paling akhir suatu kegiatan ke-*i*,
LF_t adalah waktu penyelesaian paling akhir dari kegiatan *i*,
D_t adalah durasi dari kegiatan *i*

Suatu kegiatan berada di jalur kritis bila kegiatan tersebut memenuhi ketiga kondisi berikut ini:

ES = LS
EF=LF
LF-ES= Durasi Kegiatan (5)

Kondisi ini sebenarnya menyatakan bahwa tidak ada waktu senggang atau waktu mengambang antara awal tercepat (penyelesaian) dan awal terakhir (penyelesaian) dari kegiatan kritis yang bersangkutan.

Metode *Critical Chain Project Management* (CCPM)

Critical Chain Project Management (CCPM) merupakan metode penjadwalan proyek yang diperkenalkan oleh Goldratt pada tahun 1997, namun penggunaannya kurang dimanfaatkan dalam proyek konstruksi di Indonesia [8]. Metode CCPM melakukan pendekatan yang berbeda dalam perencanaan waktu dengan metode pemodelan dan analisa manajemen proyek konvensional. Salah satu penyebab utama rendahnya kinerja perencanaan proyek konvensional adalah besarnya tambahan

safety time saat penjadwalan waktu . Dengan pertimbangan untuk mencegah proyek dari risiko keterlambatan, tim yang terlibat di proyek menambahkan *safety time* dalam estimasi waktu setiap aktivitasnya. Penanggung jawab aktivitas memperbesar *safety time* pada jadwal pekerjaannya untuk mengantisipasi jika terjadi kondisi terburuk yang tidak terduga sebelumnya. Masalah penambahan *safety time* yang berlebihan inilah yang diperbaiki oleh metode CCPM [9].

Penyelesaian aktivitas-aktivitas individual proyek bukanlah target utama, sebab metode CCPM lebih memprioritaskan kesuksesan proyek secara keseluruhan. Sehingga metode CCPM menghilangkan *safety time* untuk aktivitas-aktivitas individual dan memfokuskan pada penyelesaian *critical chain* proyek. Untuk menjamin *critical chain* tepat waktu, metode CCPM mengganti *safety time* dengan *buffer time*. *Buffer time* terdiri dari *feeding buffer* dengan *project buffer*. *Feeding buffer* adalah waktu peyangga yang menghubungkan aktifitas non-*critical chain* dengan aktivitas *critical chain*. Selain itu *feeding buffer* juga berfungsi sebagai waktu cadangan jika terdapat keterlambatan pada aktifitas non-*critical chain*. *Project buffer* adalah waktu penyangga yang di letakkan di akhir *critical chain* suatu proyek sebagai cadangan waktu untuk keseluruhan proyek. Kedua *buffer time* inilah yang akan menjamin *critical chain* dan integritas jadwal proyek secara keseluruhan [9].

Estimasi Tugas

Ketika kita diminta untuk mengestimasi tugas coba tanya diri kita sendiri apakah tugas tersebut *familiar* bagi kita. Kita berpikir tentang tugas tersebut dan usaha yang dibutuhkan dan memutuskan kita dapat menyelesaikan tugas dalam 5 hari. Kemudian, kita berpikir lagi. Bisa saja ada beberapa hal yang tidak *familiar* dalam tugas tersebut. Kita khawatir tentang kemungkinan adanya interupsi dari pekerjaan yang tidak direncanakan sebelumnya. Akhirnya, kita ingin memastikan untuk tidak melampaui perkiraan waktu. Berdasarkan semua ketidakpastian ini, akhirnya kita memutuskan dapat mengerjakan tugas tersebut dalam 10 hari.

Estimasi tugas dalam *Critical Chain* membutuhkan perubahan perilaku individu dan perusahaan agar bisa berhasil. Kita menghilangkan *hidden safety* dalam waktu penyelesaian tugas. Karena *safety* di sini tersembunyi, kita harus mengembangkan suatu budaya organisasi untuk menghilangkan ketakutan untuk menghilangkan *safety* ini dari estimasi tugas.

Menurut [10] menyebutkan bahwa filosofi *CCPM* terdiri dari lima(5) bagian, yaitu:

1. Perkiraan waktu tiap aktivitas
2. Mendefinisikan dan menghitung *criticalchain*
3. Mendefinisikan, menempatkan dan menentukan besarnya *buffer*
4. Pembagian Sumber daya manusia

Metode ini menggunakan dua parameter durasi/waktu.Parameter pertama adalah durasi yang masih memiliki waktu cadangan untuk melindungi ketidakpastian dalam keterlambatan sumber daya, dilambangkan dengan huruf S (*safe estimate*). Parameter kedua dilambangkan dengan huruf A, di mana durasi yang terbentuk tanpa waktu cadangan. Pada penelitian kali ini, A diasumsikan sebagai durasi yang memiliki *rate output* maksimal. Sebagai batasan tambahan, diasumsikan bahwa semua aktivitas bekerja pada taraf maksimal, tidak ada gangguan dari faktor eksternal. Perbedaan pada kedua parameter (D), dirumuskan sebagai berikut:

$$D = S - A \qquad (6)$$

Di mana

A = durasi yang terbentuk tanpa waktu cadangan.

S = durasi yang masih memiliki waktu cadangan untuk melindungi ketidakpastian dalam keterlambatan sumber daya (*Safety time*).

Di mana besarnya dipengaruhi oleh variasi pada durasi aktivitas. Besar *buffer* yang dibutuhkan kemudian didefinisikan sebagai jumlah akar kuadrat variasi masing-masing aktivitas. Metode ini memberikan asumsi bahwa masing-masing aktivitas proyek adalah *independent.*

Asumsikan setiap aktivitas akan diselesaikan pada selang kepercayaan sebesar 90-98%, ditentukan pula bahwa perbedaan waktu yang direncanakan dengan kenyataan akan berada pada nilai 2 SD (standar deviasi). Untuk masing-masing aktivitas pemakanan *buffer* dilambangkan dengan i, besarnya standar deviasi diberikan pada rumus berikut:

$$\left(\frac{(S_i - A_i)}{2}\right) \quad (7)$$

Dengan nilai S_i adalah waktu keluaran terburuk dan A_i adalah waktu rata-rata. Asumsi selanjutnya, besarnya *buffer* dirumuskan sebagai berikut:

$$\boldsymbol{B = 2 \times \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 \ldots + \left(\frac{S_i - A_i}{2}\right)^2}} \quad (8)$$

Pada metode *critical chain* tersebut, *buffer* di letakkan di beberapa tempat tertentu, antara lain:

FeedingBuffer

Pada rangkaian *nun critical chain*, atau disebut dengan rantai krisis. *Buffer* di sini dimaksud untuk menjaga rantai *critical chain* dari pengaruh variasi rantai *non* krisis tadi. Pada rangkaian *CCPM* yang baru dibentuk dengan durasi tanpa aktivitas cadangan, diteruskan dengan penempatan *buffer*, yang diimbangi dengan membuat stabil beban pekerja terlebih dahulu. Pada perencanaan dengan menggunakan metode ini, *feeding buffer* diletakkan pada tiap akhir rantai *non* kritis yang akan menuju rantai kritis [9].

Project Buffer

Pada akhir rantai kritis, terdapat penyangga yang diletakkan pada akhir criticalchain, dimana besarnya ditentukan 30-50% panjang *critical chain*. Namun karena standar deviasi *buffer* tidak terlalu lebar, maka penentuannya dilakukan dengan menjumlahkan *buffer* pada masing-masing aktivitas di lintasan kritis. Besarnya *buffer* proyek yang terbentuk pada setiap proyek berbeda, meskipun ketiganya memiliki struktur yang hampir identik [9].

Student Syndrome

Student Syndrom, dapat diilustrasikan sebagai berikut seorang dosen memberikan tugas kelas yang harus selesai dalam 1 Minggu kepada para mahasiswanya. Kemudian para mahasiswa protes dan mengatakan bahwa tugas tersebut sangat berat dan mereka membutuhkan lebih banyak waktu untuk mengerjakannya. Dosen tersebut setuju dan memberi tambahan waktu. Kemudian, ketika Mahasiswa melihat kembali bagaimana mereka dapat mengerjakan tugas itu dengan tambahan waktu yang diberikan, mereka berpikir bahwa mereka memiliki cukup banyak waktu yang aman untuk mengerjakan sehingga mereka menetapkan awal pengerjaan sampai pada menit-menit terakhir. Dari Ilustrasi tersebut kita bisa melihat bahwa *student syndrome* ini dapat mempengaruhi tugas kita dan proyek secara keseluruhan [9].

Parkinson's Law

Dapat diilustrasikan sebagai berikut, jika sebuah proyek tradisional ditekankan untuk tidak terlambat, namun para pekerja tidak mendapat promosi bila dapat menyelesaikan tugas atau proyek lebih cepat dari tenggat waktu yang ditentukan. Kenyataan ini mendorong efek dari *hidden safety*, *student syndrome* dan *parkinsons's las* [9].

Multi- tasking

Kebanyakan dari kita bekerja dalam lingkungan *multi-project*. Kita mungkin pernah mengalami menghentikan kerja pada satu tugas untuk dapat menyelesaikan tugas dari proyek lain. sering kita bertanya-tanya apakah tindakan lompat sana-sini sudah benar karena mengakibatkan kurang fokus dan tidak efisien. Ini menjadi salah satu kendala seorang pekerja tidak dapat menyelesaikan pekerjaannya tepat waktu [9].

No Early Finishes

Kalau kita perhatikan biasanya penyelesaian tugas selalu tepat waktu atau terlambat,jarang sekali terjadi lebih cepat dari jadwal. Ini disebabkan beberapa hal di atas *(Student Syndrom* dan *Parkinson law)* yang mengakibatkan sebuah jadwal jarang sekali selesai lebih cepat. Jika kita

menyelesaikan tugas lebih cepat, kemungkinan kita akan dituduh memanipulasi estimasi bukannya diberi penghargaan atas penyelesaian proyek yang lebih cepat dari tenggat waktu [9] .

Backward Planning

Pada saat *Critical Chain Project Management* (CCPM) diaplikasikan pada perencanaan *critical chain*, kita mengembangkan rencana mundur dari target pada proyek kita. Ketika kita menandatangani proyek baru kita biasanya diberi tahu kapan hasil-hasil di harapkan harus tersedia. Untuk itu kita perlu menentukan kapan kita harus memulai bekerja untuk mencapai target akhir. Ini bukan berartiu kita berpikir mundur. Melainkan ini berarti ketika kita menjabarkan proyek kita dengan tugas-tugas, durasi dan hubungan ketergantungan. Ketika perencanaan selesai dilaksanakan, perkiraan tanggal proyek dimulai menunjukkan tanggal maksimal. Kita harus memulai proyek agar memenuhi target akhir. berdasarkan pengalaman yang sudah ada, kita memulai proyek dengan tujuan dan bekerja secara mundur, maka kecil kemungkinan kita akan menmbahkan tugas-tugas yang tidak mempunyai nilai tujuan [9].

As-Late -As Possible Sheduling

Dalam penjadwalan *Critical Path traditional* ,tugas-tugas di jadwalkan secepat mungkin *(As Soon As Possible)* dari tanggal proyek dimulai. Penjadwalan ini menempatkan kerja sedekat mungkin dengan awal dari jadwal kita. Dalam perencanaan *Critical Chain,*tugas-tugas di jadwalkan selambat mungkin *(As Late As Possible)* berdasarkan tanggal akhir target. Penjadwalan ini menempatkan kerja sedekat mungkin dengan akhir *scehedule* kita. Dengan *CCPM* kita dapat memasukkan *buffer* / penyangga pada titik kunci dalam rencana proyek yang akan berfungsi sebagai penyerap untuk menjaga waktu batas akhir proyek terhadap peningkatan waktu pengerjaan suatu tugas [9].

METODE PENELITIAN

Dalam penyelesaian untuk mendapatkan penjadwalan *CCPM* pada Proyek Apartamen Menara Rungkut, terdapat beberapa tahapan-tahapan yang harus dikerjakan terlebih dahulu. Untuk lebih jelas dan menganai beberapa tahapan tersebut, maka dapat dibuat Diagram Alir seperti pada Gambar 1.

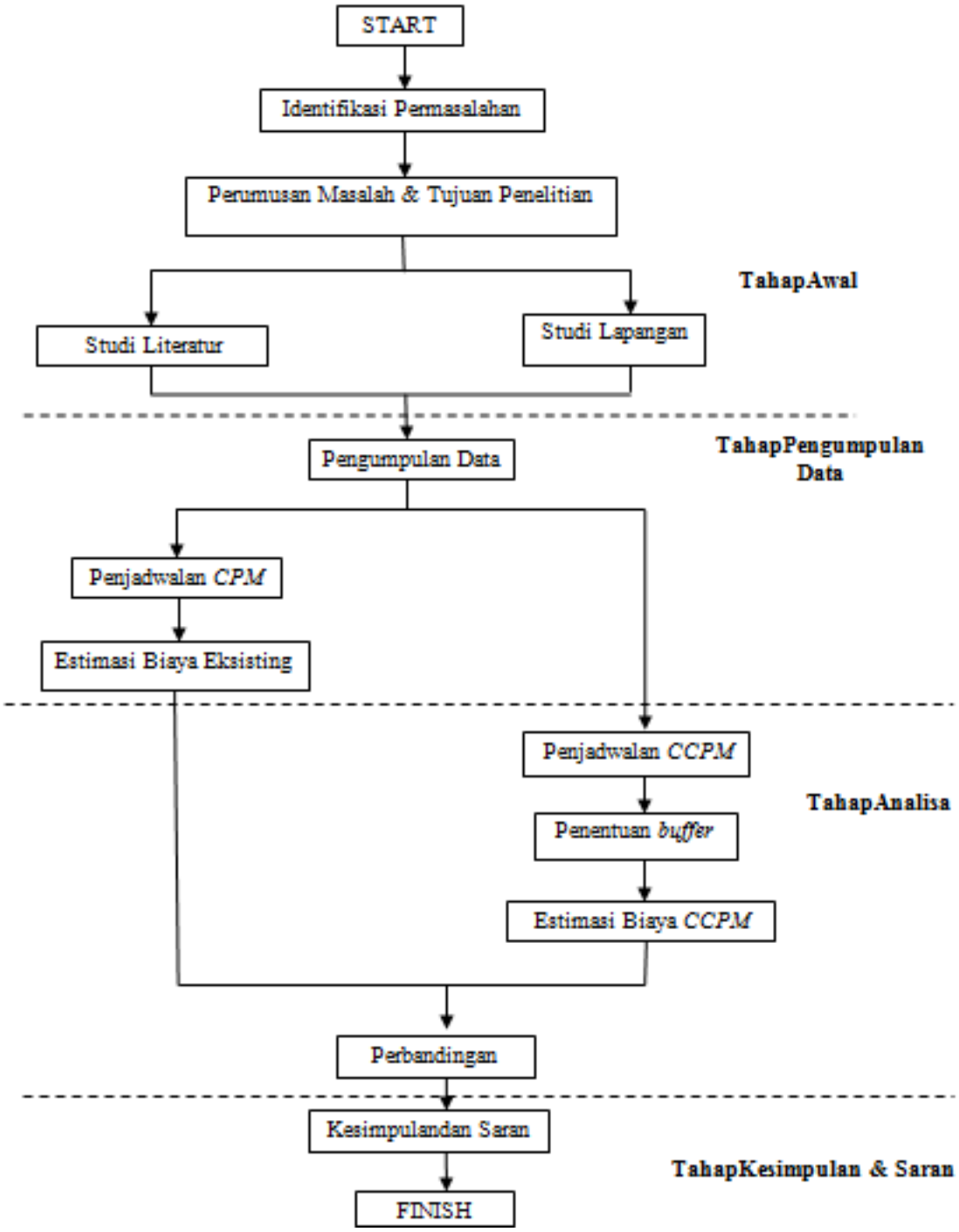
HASIL DAN PEMBAHASAN

Perhitungan Produktivitas dengan menggunakan Metode *Critical Chain Project Management* digunakan untuk menghitung nilai *standar time* suatu pekerjaan. Penggunaan metode ini dilakukan dengan pengumpulan data di lapangan, bagaimana suatu pekerjaan dilakukan dari tahap awal hingga tahap akhir. Analisa *CCPM* antara lain:

1. Penentuan Hubungan Keterkaitan Pekerjaan
2. Penentuan Produktivitas
3. Pengalokasian Sumber Daya
4. Penentuan Durasi Tampa Waktu Cadangan

Penentuan Hubungan Keterkaitan Pekerjaan

Hubungan keterkaitan pekerjaan pada *CCPM* ini akan sama seperti pada *CPM*. pada penjadwalan *CCPM* akan dilakukan *levelling* guna menghindar dari adanya waktu pengerjaan terjadi secara bersamaan (*multitasking*) dalam hari yang sama. Hal ini akan terkait dan akan dibahas pada pengalokasian sumber daya.



Gambar 1. *Flowchart* Metode Penelitian

Tabel 1. Hubungan Keterkaitan Aktivitas

Lantai Pertama

No	Aktivitas	Predecessor
A	KOLOM	
1	Pembesian	
2	Pasang Bekisting	A1
3	Pembongkaran Bekisting	A4+10d
4	Pengecoran	A2
5	Perawatan Beton	A3
B	SLAB & BEAM	
1	Pasang Bekisting	A4
2	Pasang Bondeks	B1SS
3	Pembongkaran Bekisting	B6+10d
4	Pembesian	B1
5	Pasang Wirmesh	B4SS
6	Pengecoran	B5
7	Perawatan Beton	B3
C	Tangga	
1	Pasang Bekisting	B3
2	Pembongkaran Bekisting	C4+10d
3	Pembesian	C1
4	Pengecoran	C3
5	Perawatan Beton	C2

Lantai Kedua

No	Aktivitas	Predecessor
D	KOLOM	
1	Pembesian	A1
2	Pasang Bekisting	D1
3	Pembongkaran Bekisting	A4+10d
4	Pengecoran	A2
5	Perawatan Beton	A3
E	SLAB & BEAM	
1	Pasang Bekisting	B1
2	Pasang Bondeks	E1SS
3	Pembongkaran Bekisting	E6+10d
4	Pembesian	E1
5	Pasang Wirmesh	E4SS
6	Pengecoran	E5
7	Perawatan Beton	E3
F	Tangga	
1	Pasang Bekisting	C1
2	Pembongkaran Bekisting	F4+10d
3	Pembesian	F1
4	Pengecoran	F3
5	Perawatan Beton	F2

Penentuan Produktivitas

Dari aktivitas-aktivitas awal yang telah ditentukan di atas, kemudian dicari produktivitas-produktivitas pekerjaan-pekerjaan tersebut agar perhitungan durasi nantinya dapat benar-benar real sesuai dengan keadaan produktivitas di lapangan. Penentuan produktivitas adalah berdasarkan *standard* produktivitas sumber daya di lapangan per jam yang nantinya akan dikonversikan dalam bentuk per hari. (Dalam penelitian ini 1 hari = 8 jam). Tabel 2 Menunjukkan contoh perhitungan produktivitas.

Tabel 2. Perhitungan Produktivitas

No	Pekerjaan	Uraian Pekerjaan	Waktu	Produktivitas	Volume	Pekerja	Durasi (hari)
1	KOLOM						
	Pembesian						
	Kolom Lift 20x20cm	1.Pemotongan, Pembengkokan besi	9,76 jam/unit	0,82 unit/hari	4 unit	10 orang	0,49
	Kolom K2 40x50cm		10 jam/unit	0,80 unit/hari	4 unit	10 orang	0,5
	Kolom K3 40x80cm		10,82jam/unit	0,74 unit/hari	4 unit	10 orang	0,54
	Kolom K4 50x90		11,43 jam/unit	0,70 unit/hari	5 unit	10 orang	0,71
	Kolom Lift 20x20cm	2.Pemasangan, Perakitan besi	10,26 jam/unit	0,78 unit/hari	4 unit	10 orang	0,51
	Kolom K2 40x50cm		9,52 jam/unit	0,84 unit/hari	4 unit	10 orang	0,48
	Kolom K3 40x80cm		10,26 jam/unit	0,78 unit/hari	4 unit	10 orang	0,51
	Kolom K4 50x90 cm		10,26 jam/unit	0,78 unit/hari	5 unit	10 orang	0,64
	Bekisting						
	Pemasangan Bekisting Kolom 20x20cm	1. Pemasangan Bekisting	8,51 jam/unit	0,94 unit/hari	4 unit	8 orang	0,5
	Pemasangan Bekisting Kolom 40x50cm		8,33 jam/unit	0,96 unit/hari	4 unit	8 orang	0,5
	Pemasangan Bekisting Kolom 40x80cm		9,09 jam/unit	0,88 unit/hari	4 unit	8 orang	0,56
	Pemasangan Bekisting Kolom 50x90 cm		9,52 jam/unit	0,84 unit/hari	5 unit	8 orang	0,7
	Pembongkaran Bekisting Kolom 20x20cm	2.Pembongkaran Bekisting	8,51 jam/unit	0,94 unit/hari	4 unit	8 orang	0,5
	Pembongkaran Bekisting Kolom 40x50cm		8,33 jam/unit	0,96 unit/hari	4 unit	8 orang	0,5
	Pembongkaran Bekisting Kolom 40x80cm		9,09 jam/unit	0,88 unit/hari	4 unit	8 orang	0,56
	Pembongkaran Bekisting Kolom 50x90 cm		9,52 jam/unit	0,84 unit/hari	5 unit	8 orang	0,7
	Cor						
	Pengecoran pada Kolom (1m3)	1. Pembersihan area cor	0,21 jam/m3	39 m3/hari	18,06 m3	5 orang	0,09

Pengalokasian Sumber Daya

Sumber daya dialokasikan sesuai dengan pekerjaannya dan sesuai dengan urutan hubungan keterkaitan pekerjaannya. Tenaga-tenaga kerja yang merupakan *multi tasking* perlu perhatian yang lebih khusus untuk mengalokasikan agar dapat terhindar dari *overallocated*, yaitu dengan cara *Resource Leveling*.

Tabel 3. Tampilan resource sheet pada penjadwalan CPM

	Tenaga Bekisting Kolom	Work		T		16	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Bekisting Slab & Beam	Work		T		18	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Bekisting Tangga	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembesian Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pasang Bondeks	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pasang Wirmesh	Work		T		9	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembesian Slab & Beam	Work		T		40	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga PembesianTangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Slab & Beam	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Tangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting kolor	Work		T		20	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting Slab	Work		T		28	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting Tang	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Kolom	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Slab & Beam	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Tangga	Work		T		5	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard

Tabel 4. Tampilan *resource sheet* pada penjadwalan CCPM

		Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue	Base	C
1		Tenaga Bekisting Kolom	Work		T		8	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
2		Tenaga Bekisting Slab & Beam	Work		T		18	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
3		Tenaga Bekisting Tangga	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
4		Tenaga Pembesian Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
5		Tenaga Pasang Bondeks	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
6		Tenaga Pasang Wirmesh	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
7	⚠	Tenaga Pembesian Slab & Beam	Work		T		20	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
8		Tenaga PembesianTangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
9	⚠	Tenaga Pengecoran Kolom	Work		T		5	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
10		Tenaga Pengecoran Slab & Beam	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
11		Tenaga Pengecoran Tangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
12	⚠	Tenaga Pembongkaran Bekisting ko	Work		T		6	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
13	⚠	Tenaga Pembongkaran Bekisting Sla	Work		T		14	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
14	⚠	Tenaga Pembongkaran Bekisting Tai	Work		T		4	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
15	⚠	Tenaga Perawatan Kolom	Work		T		4	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
16		Tenaga Perawatan Slab & Beam	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	
17		Tenaga Perawatan Tangga	Work		T		5	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard	

Dari gambar tampilan Tabel 4 tersebut sudah tidak ada *multitasking* lagi. Hal ini berbeda dengan

	Tenaga Bekisting Kolom	Work		T		16	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Bekisting Slab & Beam	Work		T		18	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Bekisting Tangga	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembesian Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pasang Bondeks	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pasang Wirmesh	Work		T		9	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembesian Slab & Beam	Work		T		40	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga PembesianTangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Slab & Beam	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pengecoran Tangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting kolor	Work		T		20	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting Slab	Work		T		28	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Pembongkaran Bekisting Tang	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Kolom	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Slab & Beam	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
	Tenaga Perawatan Tangga	Work		T		5	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard

Tabel 4. Tampilan *resource sheet* pada penjadwalan CCPM

	Resource Name	Type	Material	Initials	Group	Max. Units	Std. Rate	Ovt. Rate	Cost/Use	Accrue	Base
1	Tenaga Bekisting Kolom	Work		T		8	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
2	Tenaga Bekisting Slab & Beam	Work		T		18	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
3	Tenaga Bekisting Tangga	Work		T		4	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
4	Tenaga Pembesian Kolom	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
5	Tenaga Pasang Bondeks	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
6	Tenaga Pasang Wirmesh	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
7	Tenaga Pembesian Slab & Beam	Work		T		20	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
8	Tenaga PembesianTangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
9	Tenaga Pengecoran Kolom	Work		T		5	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
10	Tenaga Pengecoran Slab & Beam	Work		T		12	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
11	Tenaga Pengecoran Tangga	Work		T		3	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
12	Tenaga Pembongkaran Bekisting ko	Work		T		6	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
13	Tenaga Pembongkaran Bekisting Sla	Work		T		14	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
14	Tenaga Pembongkaran Bekisting Tai	Work		T		4	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
15	Tenaga Perawatan Kolom	Work		T		4	!p80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
16	Tenaga Perawatan Slab & Beam	Work		T		10	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard
17	Tenaga Perawatan Tangga	Work		T		5	Rp80,000/day	Rp0/hr	Rp0	Prorated	Standard

yang merupakan tampilan *resources sheet* pada penjadwalan CPM dari proyek, karena pada gambar tersebut masih ada banyak *multitasking* yang ditunjukkan dengan tulisan berwarna merah atau tanda peringatan.

Penentuan Durasi Tampa Waktu Cadangan

Hal selanjutnya yang penting sekali dilakukan adalah penentuan durasi sebenarnya tanpa penambahan cadangan waktu. Besarnya durasi sebenarnya ini dapat dihitung dengan cara membagi volume dengan produktivitas tenaga kerja dalam menyelesaikan pekerjaan tersebut. Nilai produktivitas yang diambil di sini adalah nilai sesuai dengan hasil perhitungan produktivitas yang sudah di alokasikan *feading buffer* dan *project buffer*.

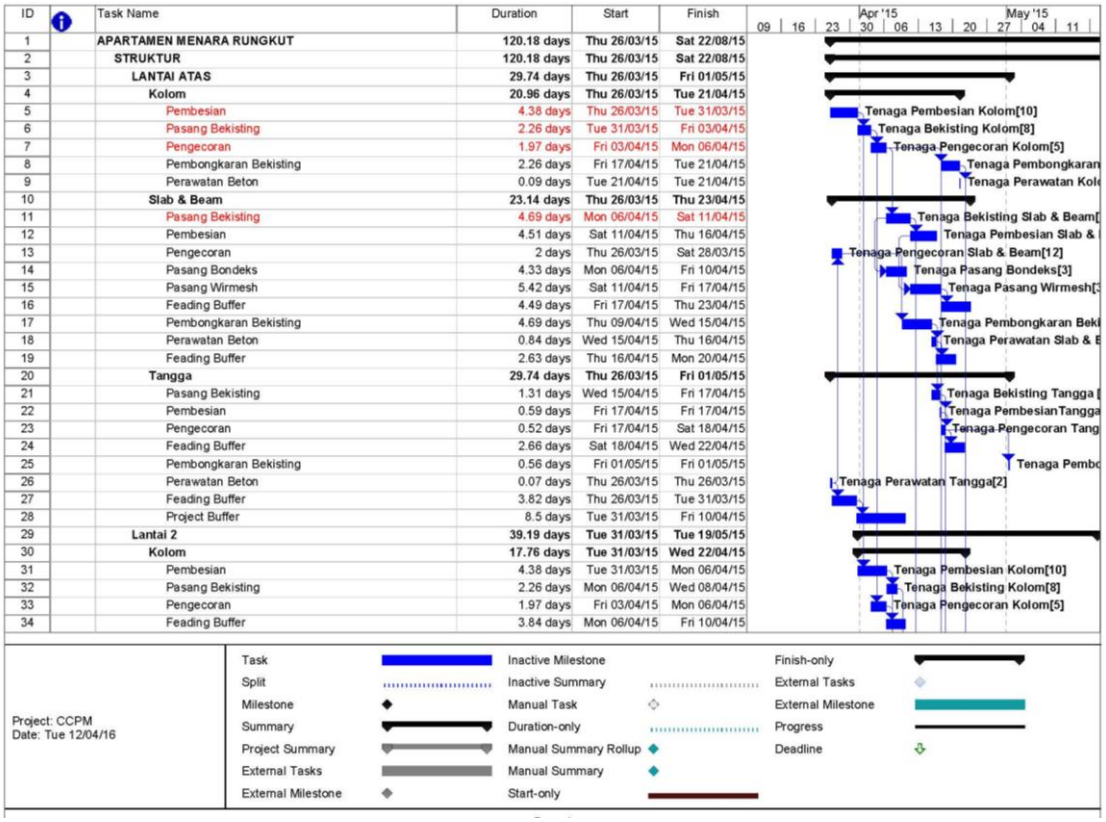
Tabel 5. Perhitungan *Feeding Buffer*

No	Pekerja	Durasi *CPM*	Durasi *CCPM*	(S-A)/2	Kuadrat	*Buffer*
1	Pekerjaan Struktur					
A	Pekerjaan Kolom					
1	Bekisting Kolom	3	2,26	0,37	0,14	
2	Pengecoran Kolom	3	1,97	0,52	0,27	
	Feeding Buffer					1,28
B	Pekerjaan Kolom					
1	Pembesian Kolom	8	4,38	1,81	3,28	
2	Bekisting Kolom	3	2,26	0,37	0,14	
3	Pengecoran Kolom	3	1,97	0,52	0,27	
	Feeding Buffer					3,84
C	Pekerjaan Kolom					
1	Pembongkaran Bekisting Kolom	3	2,26	0,37	0,14	
2	Preawatan Kolom	1	0,09	0,46	0,21	
	Feeding Buffer					1,18
D	Pekerjaan Slab & Beam					
1	Pemasangan Bondeks	8	4,33	1,84	3,39	
2	Pemasangan Wirmesh	8	5,42	1,29	1,66	
	Feeding Buffer					4,49
E	Pekerjaan Slab & Beam					
1	Bekisting slab & beam	8	4,69	1,66	2,76	
2	Pembesian slab & beam	8	4,51	1,75	3,05	
3	Pengecoran slab & beam	2	2	0	0	
	Feeding Buffer					4,82
F	Pekerjaan Slab & Beam					
1	Pembongkaran bekisting slab & beam	6	4,69	1,31	1,72	
2	Perawatan slab & beam	1	0,84	0,08	0,0064	
	Feeding Buffer					2,63
G	Pekerjaan Tangga					
1	Bekisting tangga	3	1,31	0,85	0,72	
2	Pembesian tangga	2	0,59	0,71	0,50	
3	Pengecoran tangga	2	0,52	0,74	0,55	
	Feeding Buffer					2,66
H	Pekerjaan Tangga					
1	Pembongkaran bekisting tangga	3	0,56	1,22	1,49	
2	Perawantan tangga	3	0,07	1,47	2,16	
	Feeding Buffer					3,82

Tabel 6. Perhitungan *Project Buffer*

No	Pekerja	Durasi *CPM*	Durasi *CCPM*	(S-A)/2	Kuadrat	*Buffer*
1	Pekerjaan Struktur					
A	**Pekerjaan Kolom**					
1	Pembesian	8	4,38	1,81	3,3	
2	Pasang Bekisting	3	2,26	0,37	0,14	
3	PembongkaranBekisting	3	2,26	0,371	0,14	
4	Pengecoran	3	1,97	0,5	0,25	
5	Perawatan Beton	1	0,09	0,4	0,16	
B	**Pekerjaan Slab & Beam**					
1	Pasang Bekisting	8	4,69	1,7	2,9	
2	Pasang Bondeks	8	4,33	1,8	3,2	
3	Pembongkaran Bekistin	6	4,69	0,7	0,49	
4	Pembesian	8	4,51	1,7	2,9	
5	Pasang Wirmesh	8	5,42	0,74	0,5	
6	Pengecoran	2	2	0	0	
7	Perawatan Beton	1	0,84	0,08	0,0064	
C	**Tangga**					
1	Pasang Bekisting	3	1,31	0,8	0,6	
2	Pembongkaran Bekistin	3	0,56	1,2	1,44	
3	Pembesian	2	0,59	0,7	0,49	
4	Pengecoran	3	0,52	1,24	0,49	
5	Perawatan Beton	1	0,07	0,47	1,54	
					0,22	
	Project Buffer					8,55

Setelah menentukan aktivitas awal, menentukan produktivitas, menentukan hubungan keterkaitan pekerjaan, pengalokasian sumber daya dan menentukan durasi, maka dapatlah dibuat suatu bentuk pemodelan awal CCPM gambar bentuk pemodelan awal pada pekerjaan struktur atas dapat dilihat pada Gambar 2



Gambar 2. Penjadwalan CCPM

KESIMPULAN

Berdasarkan keseluruhan hasil analisa yang telah dilakukan dapat disimpulkan bahwa, dari uraian di atas untuk segi waktu diperoleh hasil bahwa durasi untuk pekerjaan Struktur atas pada penjadwalan *Critical Path Method*adalah 169 hari, sedangkan durasi untuk pekerjaan Struktur atas pada penjadwalan *Critical Chain Project Management* adalah 120,18 hari atau 121 hari.

DAFTAR PUSTAKA

[1] B. Santosa. 1997. *Manajemen Proyek.* Yogyakarta: Graha Ilmu.

[2] A. Husen. 2009. *Manajemen Proyek.*, Yogyakarta: CV.Anddi Offset.

[3] I. Dispohusodo. 1996. *Manajemen Proyek dan Konstruksi*. Yogyakarta: Kanisius.

[4] N. Susanto, R. Purwaningsih dan E. Ardiansyah, 2006. Analisis Jaringan Kerja dan Penentuan Jalur Kritis dengan Critical Path Method-CPM (Studi Kasus Pembangunan Rumah Graha Taman Pelangi Type Milano pada PT Karyadeka Alam Lestari Semarang). *J@TI*, I (1): 74-84.

[5] I. Soeharto. 1999. *Manajemen Proyek Dari Konsep Sampai Operational Jilid I*. Jakarta: Erlangga.

[6] S. Hiller dan G. Lieberman. 1994. *Pengantar Riset Operasi*. Jakarta: Erlangga.

[7] H. Taha. 1997. *Operation Research*. Jakarta: Bina Rupa Aksara.

[8] C. H. Suryansen, W. S. Martanto dan P. Nugraha, 2014. Penentuan Buffer Sizing Dalam Penerapan Critical Chain Project Management pada Sebuah Proyek Konstruksi. *Jurnal Dimensi Pratama Teknik Sipil*, III (2):1-8

[9] B. Santosa.2009. *Manajemen Proyek*. Yogyakarta: Graha Ilmu.

[10] J. Ribera. 2003. *Putting the core element CCPM into Persective: A general frame work fot Buffer Management*. Barcelona: IESE Bussiness School.