

BAB II

KAJIAN PUSTAKA

2.1 Pendahuluan

Bab ini berisi kajian pustaka yang diambil dari berbagai sumber tertulis seperti literatur, jurnal-jurnal dan penelitian-penelitian terdahulu yang relevan dengan topik penelitian ini. Bab ini disusun dalam empat sub bab dimana pada sub bab 2.2. akan dijelaskan tentang pengertian proyek konstruksi, karakteristik proyek konstruksi, sasaran proyek dan tiga kendala (*Triple Constraint*), Manajemen Proyek. Selanjutnya pada sub bab 2.3. dijelaskan tentang perencanaan dan penjadwalan proyek konstruksi. Pada sub bab 2.4 dijelaskan tentang Metode Penjadwalan dan Pengendalian. Pada Sub bab 2.5 akan dibahas teori-teori yang menjadi landasan penelitian ini, yaitu metode critical chain, pada sub bab 2.6 berisi ringkasan dari studi pustaka yang telah dijabarkan, dan pada sub bab 2.7 berisikan kerangka pemikiran

2.2 Proyek Konstruksi

2.2.1 Definisi Proyek Konstruksi

Proyek adalah kegiatan sementara yang dilakukan untuk menciptakan suatu produk atau jasa yang unik.⁸ Menurut Iman Suharto, Proyek adalah Gabungan dari berbagai sumber daya berupa manusia, material dan alat untuk melaksanakan serangkaian kegiatan yang dihimpun dalam suatu wadah organisasi sementara guna mewujudkan gagasan yang timbul karena naluri manusia untuk berkembang dengan batasan biaya, waktu dan mutu yang telah ditentukan. Kegiatan Proyek dapat diartikan sebagai suatu kegiatan sementara yang berlangsung dalam jangka waktu yang terbatas, dengan alokasi sumber daya tertentu dan dimaksudkan untuk melaksanakan tugas yang sarasanya telah digariskan dengan jelas⁹

⁸ A Guide to the Project Management Body of Knowledge (PMBOK® Guide) Third Edition, Project Management Institute, 2004 , hal. 5

⁹ Suharto, Iman, “*Manajemen Proyek (Dari Konseptual sampai Operasional)*”, Jakarta, Erlangga, 1995, hal 1

2.2.2 Karakteristik Proyek Konstruksi

Dari pengertian di atas terlihat bahwa ciri pokok proyek adalah :¹⁰

1. Memiliki tujuan yang khusus dan produk akhir atau hasil kerja akhir;
2. Jumlah biaya, sasaran, jadwal, serta kriteria mutu dalam proses mencapai tujuan telah ditentukan;
3. Bersifat sementara, dalam artian umumnya dibatasi oleh waktu selesainya tugas. Titik awal dan akhir ditentukan dengan jelas;
4. Non-rutin, tidak berulang-ulang. Jenis dan intensitas kegiatan berubah sepanjang proyek berlangsung.

Secara sederhana proyek memiliki ciri:¹¹

1. non rutin; tidak berulang, kadangkala diikuti oleh ketidakpastian
2. melibatkan koordinasi dari individu dari berbagai departemen dan dukungan dari institusi diluarnya
3. hubungan dalam proyek bersifat dinamis, temporer, dan fleksibel.

Adapun karakteristik dari proyek adalah :¹²

1. Unik

Pada dasarnya tidak pernah ada dua proyek yang benar-benar sama karena dipengaruhi oleh berbagai factor (tujuan, lokasi proyek, prasarana yang tersedia, teknologi yang digunakan serta waktu penyelenggaraannya).

2. Tidak berulang.

Kegiatan Penyelenggaraan proyek adalah kegiatan yang sekali selesai dan bersifat spesifik . Dengan demikian pengalaman yang diperoleh tidak selalu dapat digunakan sepenuhnya pada proyek lainnya meskipun sejenis.

2.2.3 Sasaran Proyek dan Tiga Kendala (*Triple Constraint*)

Di dalam proses mencapai tujuan proyek memiliki tiga kendala (*triple constraint*), dimana telah ditentukan batasan yaitu besar biaya

¹⁰ Soeharto, Iman, Ibid, hal 1

¹¹ Prasanna Chandra. "Projects: Preparation, Appraisal, Budgeting, and Implementation", McGraw Hill, New York, 1987, hal. 43

¹² Widadi W. Widayat, "Pengantar Manajemen Proyek & Ekonomi Teknik", Depok, 1996, hal. 19

(anggaran) yang dialokasikan, dan jadwal serta mutu yang harus dipenuhi.¹³ Ini merupakan parameter penting bagi penyelenggara proyek yang sering diasosiasikan sebagai sasaran proyek.

- *Anggaran* Proyek harus diselesaikan dengan biaya yang tidak melebihi anggaran.
- *Jadwal* Proyek harus dikerjakan sesuai dengan kurun waktu dan tanggal akhir yang telah ditentukan.
- *Mutu* Produk atau hasil kegiatan proyek harus memenuhi spesifikasi dan kriteria yang dipersyaratkan.

2.2.4 Manajemen Proyek

Manajemen adalah proses merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan kegiatan anggota serta sumber daya yang lain untuk mencapai sasaran organisasi (perusahaan) yang telah ditentukan.¹⁴ Manajemen proyek adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan. Lebih jauh manajemen proyek menggunakan pendekatan sistem dan hirarki (arus kegiatan) vertikal maupun horisontal.¹⁵

Pengertian manajemen proyek menurut Harold Kerzner adalah merencanakan, mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan sumber daya perusahaan untuk mencapai sasaran jangka pendek yang telah ditentukan.¹⁶

Manajemen proyek bertujuan untuk bagaimana sumber daya yang tersedia dapat diaplikasikan dengan baik. Apabila berbicara sumber daya untuk konstruksi kita berpikir pada 4 hal yaitu manpower, mesin, material dan uang¹⁷

¹³ Soeharto, Iman, Ibid, hal 2

¹⁴ Soeharto, Iman, Ibid, hal 17

¹⁵ Soeharto, Iman, Ibid, hal 24

¹⁶ Harold Kerzner, Ph.D., Project Management A System Approach to Planning, Scheduling, and Controlling, Ninth Edition, John Wiley & Sons, Canada, 2006, page 4

¹⁷ Daniel W. Halpin, Ronald W. Woodhead, "Construction Management", Second Edition, John Wiley & Sons, Canada, 1998, page 9

2.3 Perencanaan dan Penjadwalan Proyek Konstruksi

2.3.1 Pengertian Perencanaan Proyek Konstruksi

Dalam manajemen konstruksi, perencanaan dan penjadwalan adalah tahap yang sangat penting dalam menentukan keberhasilan proyek konstruksi. Perencanaan dan pendawalan yang baik adalah panduan untuk melaksanakan pekerjaan proyek secara efektif dan efisien. Masalah akan timbul apabila terjadi ketidaksesuaian antara rencana awal dengan realisasi yang ada dalam pelaksanaan proyek, perencanaan awal berupa penyusunan (anggaran biaya, jadwal induk/waktu, penetapan spesifikasi/mutu)

Dalam manajemen proyek, perencanaan menempati urutan pertama dari fungsi-fungsi manajemen seperti mengorganisir, memimpin, dan mengendalikan. Perencanaan adalah suatu proses yang mencoba meletakkan dasar tujuan dan sasaran termasuk menyiapkan langkah-langkah kegiatan beserta segala sumber daya untuk mencapai tujuan tersebut.

Secara lebih spesifik, perencanaan proyek konstruksi mencakup proses penetapan lingkup proyek, perumusan struktur dan hirarki proyek, pemilihan jenis teknologi dan metode konstruksi, perumusan kegiatan, perkiraan sumberdaya yang dibutuhkan berikut durasi untuk setiap kegiatan, dan identifikasi keterkaitan diantara kegiatan-kegiatan.¹⁸

Menurut Michael B. Stanford dan Linn C. Stuckenbruck, perencanaan proyek memiliki tujuan dan kegunaan sebagai berikut :

a. Mengarahkan tujuan proyek.

Dalam mengarahkan maksud atau tujuan dari proyek, rencana harus mengidentifikasi secara jelas sasaran, tujuan dan pengaruh khusus lainnya atau hambatan-hambatan dalam lingkup proyek.

b. Mengidentifikasi tindakan, resiko dan tanggung jawab dalam proyek.

Identifikasi tindakan, resiko dan tanggung jawab menyediakan substansi bagi rencana proyek. Hal ini diterjemahkan menjadi penentuan aktifitas dan alokasi sumber daya proyek.

¹⁸ Michael T. Callahan, Daniel G. Quakenbush and James E. Rowings, "Construction Project Scheduling", McGraw-Hill : 1992.

- c. Memandu aktifitas-aktifitas proyek yang tengah berlangsung.

Dasar lainnya untuk membangun tujuan proyek adalah dengan memandu aktivitas-aktivitas yang tengah berlangsung, melalui identifikasi yang layak akan seluruh aktivitas yang dibutuhkan untuk dapat mempertemukan tujuan dan sasaran serta penentuan prosedur yang *workable* untuk menghasilkan dinamika proyek.

- d. Mempersiapkan perubahan-perubahan proyek.

Tujuan akhir dari perencanaan proyek adalah untuk mempersiapkan perubahan-perubahan proyek. Rencana harus memiliki fleksibilitas yang cukup untuk mengadaptasi perubahan tapi masih mempertahankan kualitas keutuhan dan durabilitas.

2.3.2 Pengertian Penjadwalan Proyek Konstruksi

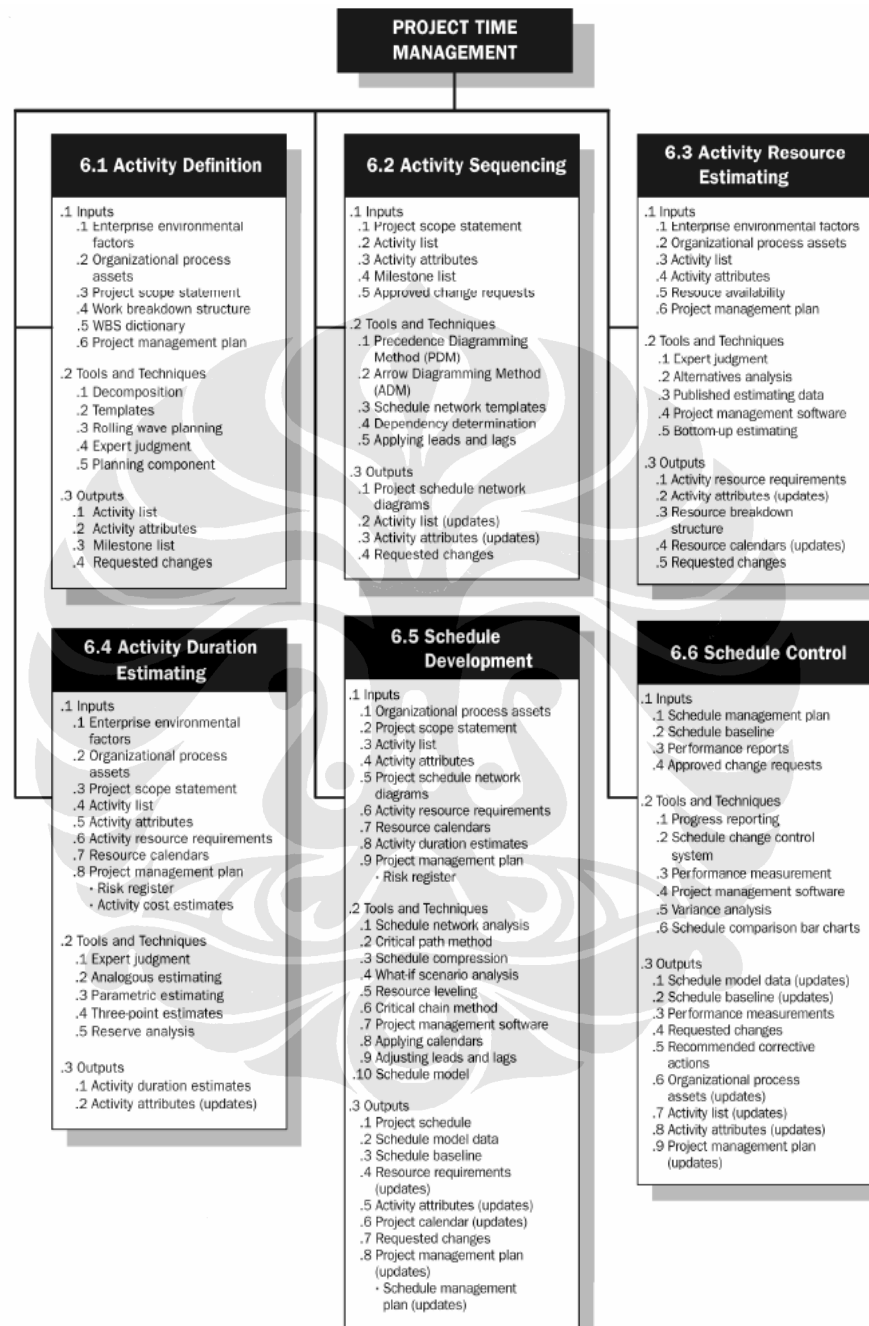
Jadwal adalah Penjabaran perencanaan proyek menjadi urutan langkah-langkah pelaksanaan pekerjaan yang telah dimasukkan faktor waktu untuk mencapai sasaran. Secara umum dapat dikatakan bahwa penjadwalan adalah perhitungan pengalokasian waktu yang tersedia kepada pelaksanaan masing-masing bagian pekerjaan atau kegiatan, dalam rangka penyelesaian proyek sedemikian rupa, sehingga tercapai hasil yang optimal, dengan mempertimbangkan keterbatasan- keterbatasan yang ada.¹⁹

2.3.3 Bakuan Proses Penjadwalan

Proses-proses yang digunakan pada penjadwalan proyek yang lazim digunakan dapat dilihat dalam acuan proyek secara umum, seperti pada *Project Management Body of Knowledge (PMBOK)*. Pembahasan penjadwalan proyek konstruksi dalam PMBOK, yaitu *Project Time Management* meliputi proses yang diperlukan untuk memastikan bahwa proyek diselesaikan dalam waktu yang disetujui yang meliputi lima prosesnya: activity definition, activity sequencing, activity duration

¹⁹ Michael T. Callahan, Daniel G. Quakenbush and James E. Rowings, “*Construction Project Scheduling*”, McGraw-Hill : 1992.

estimating, schedule development dan schedule control.²⁰ Dengan adanya acuan tersebut kita dapat mengetahui pekerjaan mana yang lebih diutamakan sehingga penjadwalan dapat disusun dengan baik.



Gambar 2.1 Gambaran *Management Waktu Proyek*

Sumber: *PMBOK guide, Third Edition, 2004*

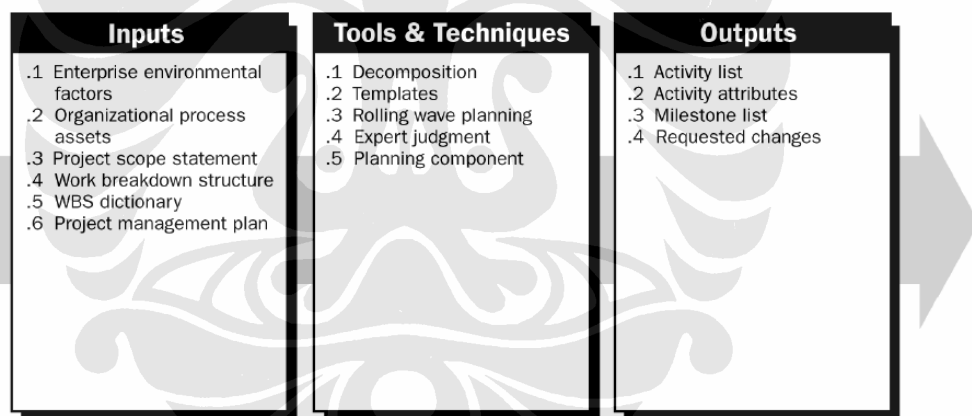
²⁰ PMBOK[®] Guide, Ibid

2.3.4 Penyusunan Jadwal Pelaksanaan Proyek²¹

a. Pendefinisian Kegiatan Proyek

Pendefinisian Kegiatan Proyek (Activity Definition) yaitu melakukan identifikasi dan mendokumentasikan pekerjaan atau kegiatan-kegiatan yang direncanakan dimana akan diidentifikasi di tingkatan yang paling rendah atau spesifik di dalam WBS untuk dilakukan pendefinisian / ketentuan setiap aktivitas pekerjaan. Fungsi Pendefinisian Kegiatan Proyek yaitu :

- sebagai dasar untuk estimasi durasi pekerjaan
- sebagai dasar untuk penyusunan urutan pekerjaan dalam penjadwalan
- sebagai dasar untuk pelaksanaan, monitoring dan mengendalikan pekerjaan proyek yang akan dijumpai.
- Proses Penyusunan Pendefinisian Kegiatan Proyek



Gambar 2.2 Pendefinisian Kegiatan : *Inputs, Tools & Techniques, and Outputs*

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

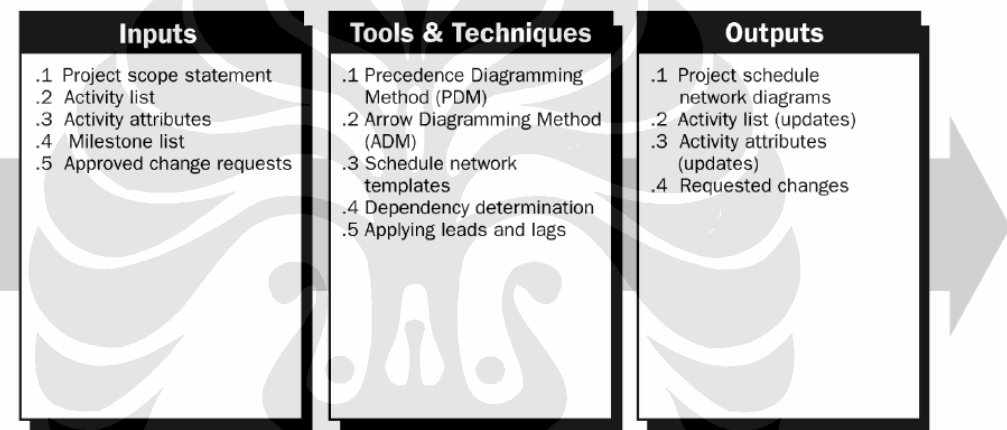
b. Penyusunan Urutan Kegiatan Proyek

Penyusunan Urutan Kegiatan Proyek (Activity Sequencing) yaitu Pengurutan kegiatan yang melibatkan identifikasi dan mendokumentasikan hubungan-hubungan yang logis antara kegiatan dalam penjadwalan.

²¹ PMBOK[®] Guide, Ibid

Penjadwalan kegiatan dapat secara logis di urutkan dengan hubungan ketergantungan dan interaksi kegiatan. seperti pekerjaan mana yang lebih dulu dan belakangan dikerjakan. Pengurutan pekerjaan dapat dilakukan dengan menggunakan softwear manajemen proyek atau dengan teknik-teknik manual. Fungsi Penyusunan Urutan Kegiatan Proyek yaitu :

- Untuk mengetahui hubungan ketergantungan dan interaksi antar pekerjaan
- Untuk mengetahui pekerjaan mana yang lebih dulu dan belakangan dikerjakan
- Sebagai dasar pelaksanaan.



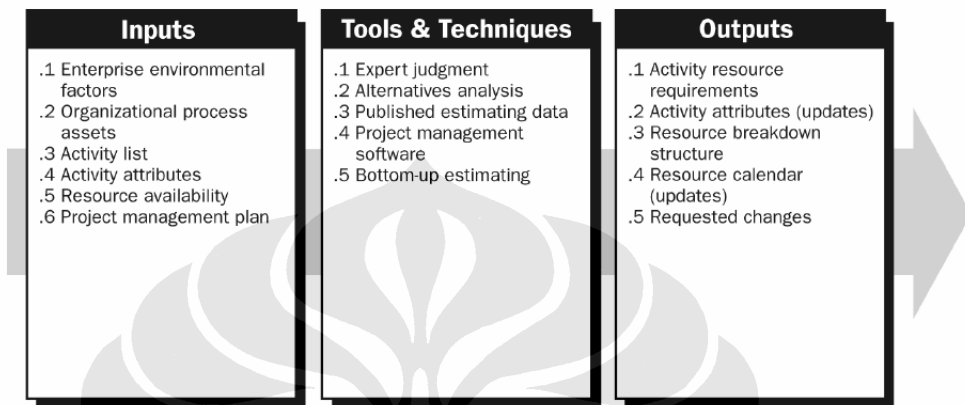
Gambar 2.3 Penyusunan Urutan Kegiatan : Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

c. Estimasi Kebutuhan Sumberdaya Kegiatan Proyek

Estimasi Kebutuhan Sumberdaya Kegiatan Proyek yaitu melakukan estimasi perkiraan kebutuhan sumber daya kegiatan proyek meliputi menentukan sumber daya apa yang digunakan (tenaga kerja, peralatan, material) dan berapa jumlah dari setiap sumber daya yang akan digunakan, dan kapan masing-masing sumber daya disediakan untuk melaksanakan aktivitas proyek.. Estimasi kebutuhan sumber daya berkaitan dengan proses perhitungan perkiraan biaya. Fungsi Estimasi Kebutuhan Sumberdaya Kegiatan Proyek yaitu :

- Untuk mengetahui berapa jumlah dari setiap sumber daya yang akan digunakan
- Untuk mengetahui kapan masing sumber daya disediakan untuk melaksanakan aktivitas/pekerjaan proyek.
- Untuk Perhitungan perkiraan biaya (RAB)



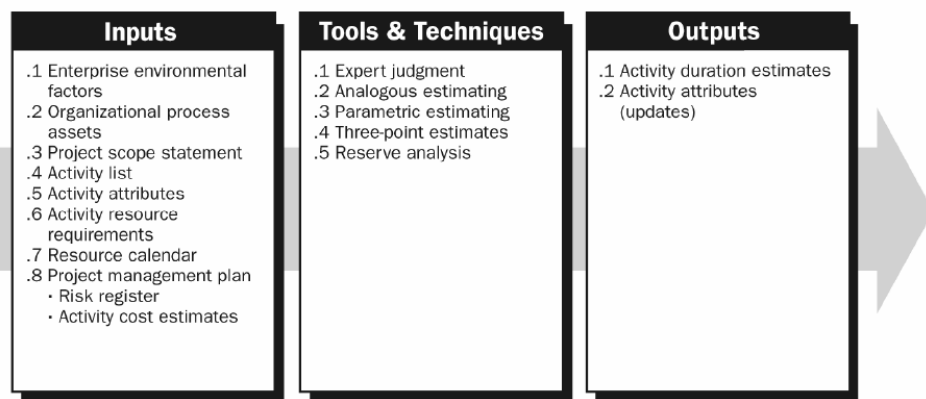
Gambar 2.4 Estimasi Kebutuhan Sumberdaya Kegiatan : Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

d. Estimasi Durasi Kegiatan Proyek (Duration Estimating)

Perhitungan Durasi Kegiatan Proyek yaitu Proses perhitungan (estimasi) periode waktu pelaksanaan pekerjaan yang dibutuhkan untuk menyelesaikan masing-masing kegiatan. Dimana Proses perhitungan durasi kegiatan memerlukan jumlah pekerja dalam usaha menyelesaikan jadwal pekerjaan yang telah diperhitungkan dengan menggunakan informasi sesuai dengan jadwal linkup aktivitas dari pekerjaan, sumber daya yang diperlukan, perkiraan jumlah sumberdaya, dan kalender sumber daya dengan ketersediaan sumber daya yang ada. Fungsi Estimasi Durasi Kegiatan Proyek yaitu :

- Untuk mengetahui durasi menyelesaikan setiap item pekerjaan
- Untuk mengetahui waktu kapan pekerjaan harus mulai dan selesai
- Untuk memperhitungkan kapan proyek selesai.



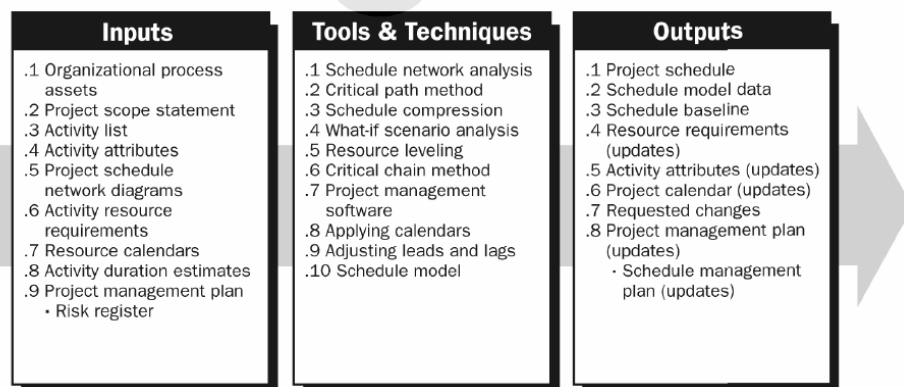
Gambar 2.5 Estimasi Durasi Kegiatan : Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

e. Penyusunan Jadwal Proyek (Awal)

Penyusunan Jadwal Proyek yaitu Suatu proses dalam menentukan tanggal rencana mulai dan selesai untuk suatu aktivitas Proyek dan Pengalokasian waktu yang tersedia kepada aktifitas pekerjaan dalam rangka penyelesaian suatu proyek dengan mengikuti logika dari proses perencanaan, dan dilakukan sedemikian rupa sehingga tercapai hasil yang optimal dengan mempertimbangkan keterbatasan-keterbatasan yang ada.

Fungsi Penyusunan Jadwal Proyek yaitu untuk menentukan aktivitas yang diperlukan dalam menyelesaikan proyek dan urutan serta durasi di dalam aktivitas yang harus diselesaikan untuk mendapatkan penyelesaian yang tepat waktu dan ekonomis



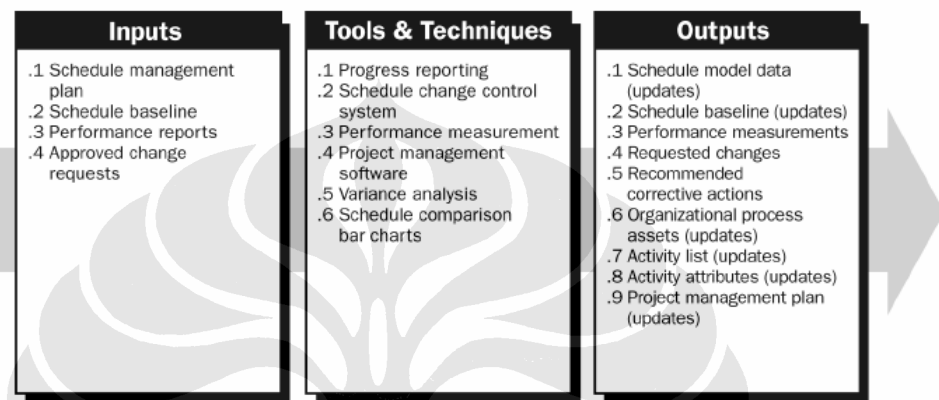
Gambar 2.6 Penyusunan Jadwal : Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

f. Kontrol Jadwal

Kontrol jadwal mempunyai kaitan dengan:

- Menentukan status saat ini dari jadwal proyek
- Faktor yang mempengaruhi pembuatan perubahan jadwal
- Menentukan bahwa jadwal proyek setelah diubah
- Mengatur saat terjadi perubahan aktual.



Gambar 2.7 Kontrol Jadwal : Inputs, Tools & Techniques, and Outputs

Sumber: PMBOK guide, Third Edition, 2004

2.3.5 Ketidakpastian dalam penjadwalan²²

Ketidakpastian dapat mempengaruhi proses penjadwalan tradisional yang nampaknya sudah terprediksi dengan presisi. Untuk menyediakan kerangka bagi penilaian ketidakpastian jadwal kerja yang terstruktur dan sistematis, telah ditentukan empat dimensi ketidakpastian dalam penjadwalan, yaitu :

- Tahap Perencanaan Teknik

Kendala ketidakpastian disini ditandai dengan derajat pengalaman yang berbeda-beda dari para desainer, jenis kontrak, dan perubahan rancangan.

²² Mulholand, B. & Christian J., Risk Assessment in Construction Schedule, ASCE Journal of Construction Engineering and management Vol. 125 No. 1, 1999, page 8-15.

- Tahap Pengadaan

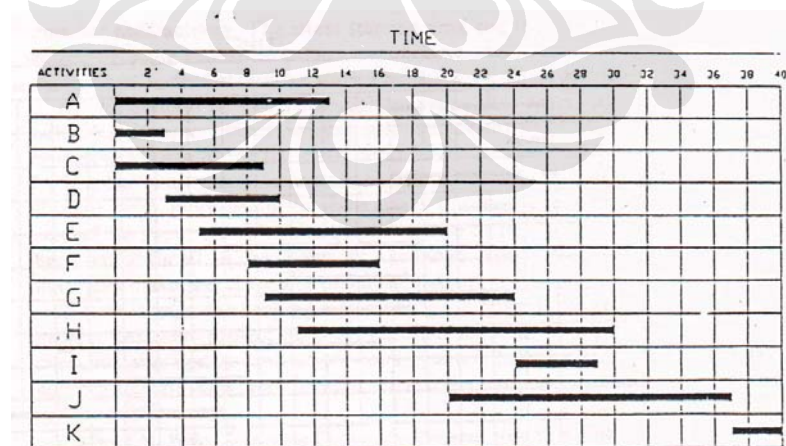
Ditandai dengan banyak sekali kegiatan pada lokasi yang berbeda-beda dimana membutuhkan SDM pada pelaksanaannya. Faktor resiko pada tahap ini menyangkut proses pemilihan kontraktor, vendor, dan pengantaran tepat yang waktu.

- Tahap Konstruksi

Satu dari faktor kritis untuk sukses pada tahap ini adalah kebutuhan akan strategi kontrak yang fair dalam mempertimbangkan resiko. Salah satu penyebab kegagalan pada proyek konstruksi adalah pemilihan format kontrak yang kurang sesuai dengan karakteristik proyek.

2.4 Metode Penjadwalan dan Pengendalian

Pemilihan metode penjadwalan pada suatu pekerjaan konstruksi dapat dipengaruhi oleh jenis pekerjaan konstruksi apakah merupakan pekerjaan berulang atau tidak, besar atau kecilnya proyek, ataupun sifat/karakteristik dari proyek yang lain. Perkembangan metode penjadwalan, secara garis besar terdapat empat kategori metode penjadwalan, yaitu:²³



Gambar 2.8 Contoh Barchart

Sumber: *Construction Project Scheduling* (Callahan 1992)

²³ Rully Andhika, "Pengkajian Pemanfaatan Idle Time dalam Linear Scheduling Method. Studi Kasus Proyek Pemipaan di Indonesia", Tesis, Fakultas Teknik Universitas Indonesia : 2006

2.4.1 Metode Diagram Batang (Bar Graph Method)

Diperkirakan sebagai metode penjadwalan formal yang pertama diperkenalkan. Dikembangkan oleh Henry L. Gantt saat Perang Dunia I. Metode Barchart ini sangat mudah untuk dibuat, dibaca dan dimengerti. Karena mudahnya untuk dibuat dan dibaca, maka metode ini berkembang dengan cepat dan banyak diminati di dunia konstruksi.

Biasanya daftar kegiatan itu disusun menurut urutan waktu agar lebih memudahkan untuk dilihat. Tiap batang juga menandakan kapan suatu kegiatan dimulai serta kapan kegiatan tersebut berakhir, tetapi tidak menunjukkan apakah kegiatan tersebut dilaksanakan secara kontinu. Dalam perkembangannya, tampilan barchart mengalami perbaikan sedikit demi sedikit dalam hal informasi yang dapat diberikan.

Tetapi, walaupun mudah dalam pembuatannya, karena kesederhanaannya, penggunaan Barchart hanya bisa terbatas pada proyek-proyek sederhana saja, dengan jumlah kegiatan yang tidak terlalu banyak. Sebagai aturan umum kegiatan dalam suatu Barchart sebaiknya tidak lebih dari seratus kegiatan. Barchart dengan lebih dari seratus kegiatan menjadi sulit untuk dibaca dan dipergunakan. Barchart juga kurang bisa menggambarkan hubungan dari banyak kegiatan yang saling berinteraksi (*multiple activity interaction*). Selain itu Barchart juga kurang bisa menggambarkan logika yang dipakai oleh orang yang membuatnya (*scheduler*).

2.4.2 Diagram Jaringan (Network Diagram)

Metode network diagram menyajikan model penjadwalan proyek dalam bentuk jaringan yang terdiri dari simpul (node) dan anak panah (arrow). Pertama kali dikembangkan oleh E.I. Du Pont bekerja sama dengan UNIVAC Applications Research Center, pada tahun 1956 – 1958. Kemudian teknik ini dikembangkan oleh John W Maulchy dari UNIVAC Applications Research Center, James E Kelly, Jr. dari Remington Rand dan Morgan Walker dari Du Pont antara tahun 1958 dan 1960. Pada awalnya metode ini kurang berkembang karena proses pembuatannya yang

rumit. Metode ini baru mulai berkembang seiring dengan mulai berkembangnya dunia konstruksi pada tahun 1970, dikarenakan mulai dirasa adanya keterbatasan pada metode Barchart.

Ada dua macam bentuk yang umum digunakan dari metode diagram jaringan ini, yang pertama menggunakan panah sebagai pelambang kegiatan atau disebut *activity on arrow* (dikenal sebagai Metode I-J), sedangkan yang kedua menggunakan simpul sebagai pelambang kegiatan atau disebut *activity on node* (dikenal sebagai PDM). Keduanya disebut Critical Path Method (CPM).

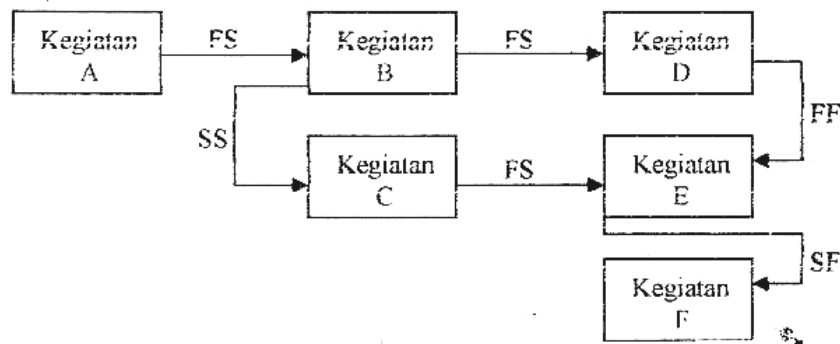
- a. Metode I-J. Pada metode ini kegiatan dilambang.kan dengan panah sedangkan simpul hanya sebagai penanda mulai dan berakhirnya suatu kegiatan. Hubungan logika antar kegiatan hanya dimtmngkinkan benipa hubungan *finish to start*.



Gambar 2.9 Contoh *Activity on Arrow* (I-J Method)

Sumber: *Construction Projecct Scheduling* (Callahan 1992)

- b. *Precedence Diagramming Method* (PDM). Pada metode ini simpul dijadikan sebagai pelarubang kegiatan sedangkan panah digunakan sebagai penunjuk hubungan logis antar dua kegiatan. Pada awalnya hubungan logika antar kegiatan juga hanya berupa hubungan finish to start seperti pada Metode tetapi pada perkembangannya, karena dimungkinkan, hubungan kegiatannya bisa menjadi 4 macam, yaitu: *start to finish* (SF), *finish to start* (FS), *start to start* (SS), *finish to finish* (FF).



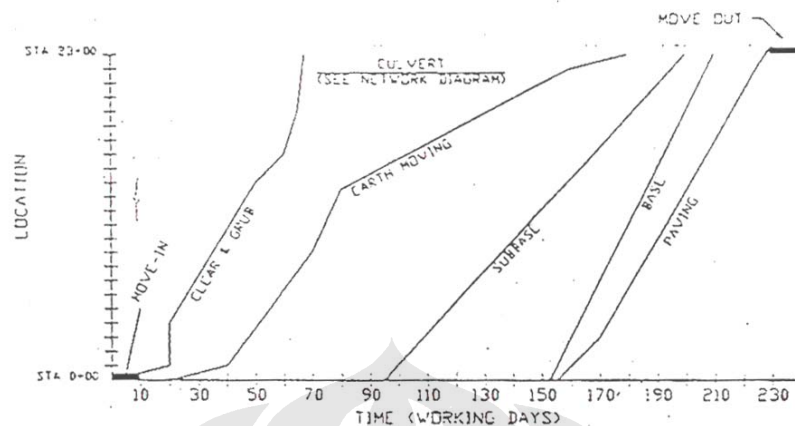
Gambar 2.10 Contoh *Activity on Node* (PDM)

Sumber: *Construction Project Scheduling* (Callahan 1992)

Pada intinya semua jenis metode jaringan ini didasarkan pada pencarian jalur kritis dari kegiatan-kegiatan yang ada. Kegiatan kritis adalah waktu minimal proyek tersebut dapat diselesaikan. Jadi apabila ada keterlambatan pada kegiatan di jalur kritis maka akan mengakibatkan penambahan durasi proyek secara keseluruhan. Jadi secara umum, keuntungan dari teknik diagram jaringan ini adalah bahwa hubungan antar kegiatannya dapat terlihat dengan jelas dan juga dapat menunjukkan kegiatan kritis dari proyek yang direncanakan.

2.4.3 Metode Linear (Linear Scheduling Method)

Metode ini biasa digunakan pada proyek-proyek repetitif. Proyek repetitif adalah suatu jenis proyek yang kegiatan-kegiatan didalamnya dilakukan berulang-ulang per satu segmen tertentu. Jadi sumberdaya pada satu kegiatan tertentu akan mengerjakan pekerjaan yang sama secara berulang-ulang, bergerak dari satu segmen ke segmen berikutnya. Metode penjadualan ini timbul karena metode penjadualan yang sudah ada dirasa mempunyai banyak kelemahan unik menjadualkan proyek yang bersifat repetitif.



Gambar 2.11 Contoh LSM

Sumber: *Construction Project Scheduling* (Callahan 1992)

Macam-macam teknik penjadualan linier yang pernah ada adalah :

Line of Balance (LOB), dikembangkan pada tahun 1974, oleh Carr dan Meyer. Merupakan suatu pendekatan grafis dan matematis yang awalnya dipergunakan di industri manufaktur untuk menjadualkan produksi. Sumbu vertikal menyatakan jumlah unit yang dapat diselesaikan, sedangkan sumbu horizontal menyatakan waktu. Metode ini dikhususkan untuk proyek repetitif jenis typical. Artinya kegiatan-kegiatannya mempunyai production rate yang tetap.

- a. *Linear Scheduling Method* (LSM), dikembangkan tahun 1981 oleh Johnston, merupakan pendekatan grafis dari teknik linier. Pertama kali digunakan pada proyek pembangunan jalan. (Manila and Abraham, 1998)
- b. *Repetitive Project Modelling*, dikembangkan oleh Rehab M. Reda (1990). Adalah pengembangan dari LSM yang menggabungkan metode grafis dan analitis yaitu dengan menambahkan penggunaan linear programming untuk mengoptimalkan durasi dan biaya dari suatu proyek selmbungan dengan penerapan crashing. Untuk menerapkan metode ini, diperlukan input data mengenai biaya dan durasi dad

kondisi normal dan kondisi crashing, yang sangat sulit pada praktek penerapan manajemen konstruksi. Tetapi apabila data-data tersebut bisa didapatkan, maka metode ini akan sangat membantu (Leen S. Kang 2001).

- c. *Multiple Repetitive Construction Process* (MRCP), dikembangkan oleh Leen S. Kang, Il C. Park dan Bae H. Lee. Metode ini juga merupakan pengembangan dari metode LSM, yang diperuntukkan bagi proyek repetitif yang dikerjakan secara paralel. Misalnya pembangunan 4 tower di satu lokasi secara bersamaan. Jadi kegiatan repetitifnya bersifat horizontal dan sekaligus vertikal.

2.4.4 Metode Probabilitas (PERT)

Metode penjadwalan probabilitas yang paling terkenal adalah *Project Evaluation and Review Technic* (PERT). PERT digunakan untuk memperhitungkan unsur ketidakpastian (*uncertainty*) pada durasi kegiatan-kegiatan yang menyusun suatu proyek. Dengan metode ini dapat dihitung probabilitas dari waktu penyelesaian suatu proyek. Biasanya juga sering digunakan metode simulasi forecasting seperti Monte Carlo. Secara garis besar metode ini sama seperti CPM, perbedaan hanya terletak pada durasinya yang bersifat probabilistik. Durasinya terdiri dari 3 jenis perkiraan, *pessimistic*, *optimistic* dan *most likely* yang kemudian akan dirata-rata. Hasil durasi rata-rata inilah yang akan dipakai menentukan jalur kritis sama seperti pada CPM. Kemudian hasil dari jalur tersebut dibuat distribusinya dengan distribusi normal untuk mengetahui kemungkinan waktu penyelesaian proyeknya.

2.4.5 Konsep Nilai Hasil (Earned Value Concept)

Konsep ini mula-mula diterapkan oleh pemerintah Amerika Serikat pada tahun 1967 sewaktu terjadi transaksi dalam jumlah besar untuk membiayai berbagai pembelian dan proyek. Dari sini timbul pemikiran untuk mencari cara pemantauan dan pengendalian yang efektif.²⁴ Dengan

²⁴ Soeharto, Iman, Ibid, hal. 274

memakai asumsi tertentu, metode tersebut dapat dikembangkan untuk membuat prakiraan atau proyeksi keadaan masa depan proyek. Dengan kata lain, metode ini menjawab pertanyaan apakah proyek pada saat pelaporan masih sesuai dengan anggaran atau jadwal. Asumsi yang digunakan konsep nilai hasil adalah bahwa kecenderungan yang ada dan terungkap pada saat pelaporan akan terus berlangsung. Keterangan yang memberitahukan proyeksi masa depan penyelenggaraan proyek merupakan masukan yang sangat berguna bagi pengelola maupun pemilik, karena dengan demikian mereka memiliki cukup waktu untuk memikirkan cara-cara menghadapi segala persoalan di masa yang akan datang.

Konsep nilai hasil adalah konsep menghitung besarnya biaya yang menurut anggaran sesuai dengan pekerjaan yang telah diselesaikan atau dilaksanakan (Budget Cost Work Performannce (BCWP)).²⁵ Bila ditinjau dari jumlah pekerjaan yang diselesaikan maka berarti konsep ini mengukur besarnya unit pekerjaan yang telah diselesaikan, pada suatu waktu bila dinilai berdasarkan jumlah anggaran yang disediakan ini diketahui hubungan antara apa yang sesungguhnya telah dicapai secara fisik terhadap jumlah anggaran yang telah dikeluarkan.

$$\text{Nilai Hasil} = (\% \text{Penyelesaian}) \times (\text{Anggaran})$$

Konsep nilai hasil dapat digunakan untuk menganalisis kinerja dan membuat perkiraan pencapaian sasaran. Untuk itu digunakan 3 indikator, yaitu :²⁶

a. ACWP (Actual Cost of Work Performed)

ACWP adalah jumlah biaya aktual dari pekerjaan yang telah digunakan untuk melaksanakan pekerjaan pada kurun waktu tertentu. Biaya ini diperoleh dari data-data akuntansi atau keuangan proyek pada tanggal pelaporan (misalnya akhir bulan), yaitu catatan segala pengeluaran biaya aktual dari paket kerja atau kode akuntansi termasuk perhitungan overhead dan lain-lain.

²⁵ Soeharto, Iman, Ibid, hal. 268

²⁶ Soeharto, Iman, Ibid, hal. 270

b. BCWP (Budgeted Cost of Work Performed)

BCWP adalah indikator yang menunjukkan nilai hasil dari sudut pandang nilai pekerjaan yang telah diselesaikan terhadap anggaran yang disediakan untuk melaksanakan pekerjaan tersebut.

c. BCWS (Budgeted Cost of Work Scheduled)

Ini sama dengan anggaran untuk suatu paket pekerjaan, tetapi disusun dan dikaitkan dengan jadwal pelaksanaan. Jadi di sini terjadi perpaduan antara biaya, jadwal, dan lingkup kerja, di mana pada setiap elemen pekerjaan telah diberi alokasi biaya dan jadwal yang dapat menjadi tolak ukur dalam pelaksanaan pekerjaan.

Dengan menggunakan tiga indikator diatas, dapat dihitung berbagai faktor yang menunjukkan kemajuan dan kinerja pelaksanaan proyek seperti :²⁷

- a. Varians biaya (CV) dan jadwal (SV) terpadu;
- b. Memantau perubahan varians terhadap angka standar;
- c. Indeks produktivitas dan kinerja;
- d. Prakiraan biaya penyelesaian proyek.

Penggabungan dua buah kinerja yakni jadwal dan biaya dalam satu grafik akan memudahkan dalam melakukan analisa pengukuran kinerja suatu pekerjaan. Dua buah analisa yang biasa dipakai dalam mengukur kinerja suatu pekerjaan yakni analisa varians yang bertujuan untuk mngukur kinerja pekerjaan sampai dengan tanggal pelaporan. Varian-varian yang dianalisa adalah jadwal (schedule) dan biaya (cost).

$$\text{Varians biaya, CV (Cost Varians)} = \text{BCWP} - \text{ACWP}$$

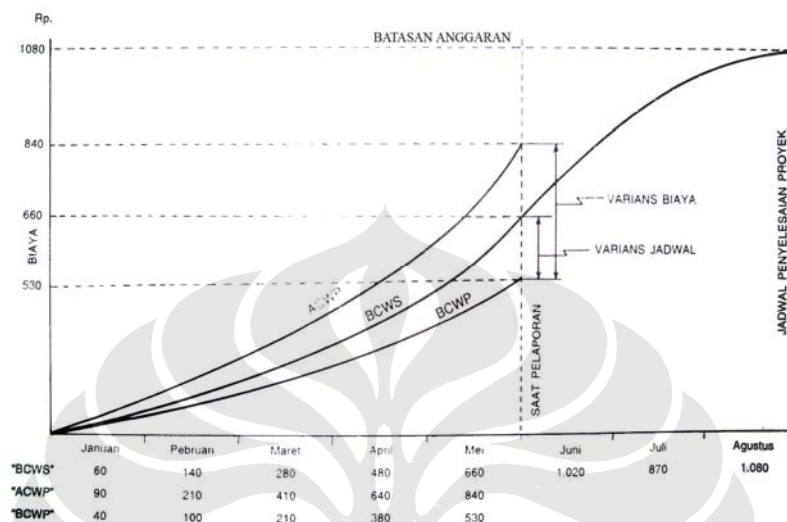
$$\text{Varian jadwal, SV (Schedule Varians)} = \text{BCWP} - \text{BCWS}$$

Pengelolaan proyek sering kali ingin mengetahui efisiensi penggunaan sumber daya. Ini dinyatakan sebagai indeks produktivitas atau indeks kinerja. Adapun rumus – rumusnya adalah sebagai berikut :

²⁷ Soeharto, Iman, Ibid, hal. 271

$$\text{Indeks Kinerja Biaya, CPI (Cost Performance Index)} = \frac{\text{BCWP}}{\text{ACWP}}$$

$$\text{Indek Kinerja Jadwal, SPI (Schedule performance Index)} = \frac{\text{BCWP}}{\text{BCWS}}$$



Gambar 2.12 Analisa varians terpadu disajikan dengan grafik "S"

Sumber : Iman Soeharto, "Manajemen Proyek" (1995)

2.5 Metode *Critical Chain Project Management* (CCPM)

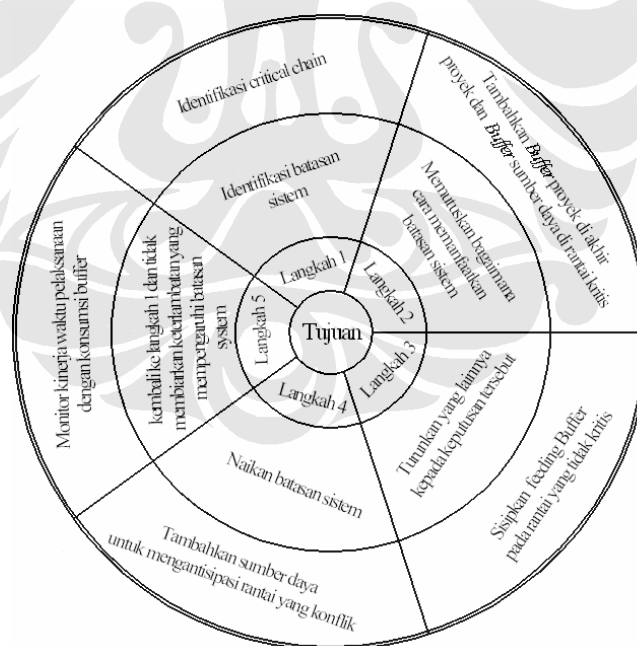
2.5.1 Latar Belakang *Critical Chain Project Management*

Pada tahun 1997, Dr. Eliyahu Goldratt memperkenalkan suatu metode penjadwalan baru untuk manajemen proyek yaitu *Critical Chain Project Management* (CCPM). *Critical Chain Project Management* adalah metode penjadwalan dan pengendalian proyek yang dikembangkan dari sebuah metodologi yang disebut *Theory of Constraints* (Goldratt, 1990). Goldratt menguraikan secara singkat bagaimana *Theory of Constraints* diberlakukan bagi proyek-proyek untuk memperbaiki kinerja proyek kedepan. Pendekatan *Theory of Constraints* memfokuskan pada sukses penyelesaian pekerjaan yang tepat waktu pada proyek secara keseluruhan.²⁸

²⁸ Eliyahu M. Goldratt, *Theory of Constraints*, Croton-on-Hudson, NY: North River Press, 1990

Hakekat dari *Theory of Constraints* adalah untuk memfokuskan pada model batasan kunci yang mana secara langsung berkontribusi ke sistem kinerja, mengatur *buffer* sumber daya untuk mengoptimalkan proses, dan membuat optimal penggunaan kapasitas yang sudah ada.²⁹ Menurut *theory of constraints* setiap proyek akan dipengaruhi oleh satu atau beberapa batasan-batasan sumber daya dimana kapasitas batasan di dalam aktivitas mempengaruhi keseluruhan durasi-durasi proyek. Untuk menjabarkan penyelesaian masalah digunakan pendekatan *Theory of Constraints*, Goldratt mengaplikasikan 5 langkah berikut, langkah tersebut adalah³⁰ :

- Mengidentifikasi batasan sistem.
- Memutuskan bagaimana cara memanfaatkan batasan sistem.
- Turunkan yang lainnya kepada keputusan tersebut
- Naikan batasan sistem.
- Kembali ke langkah awal dan tidak membiarkan keterlambatan yang menyebabkan batasan system



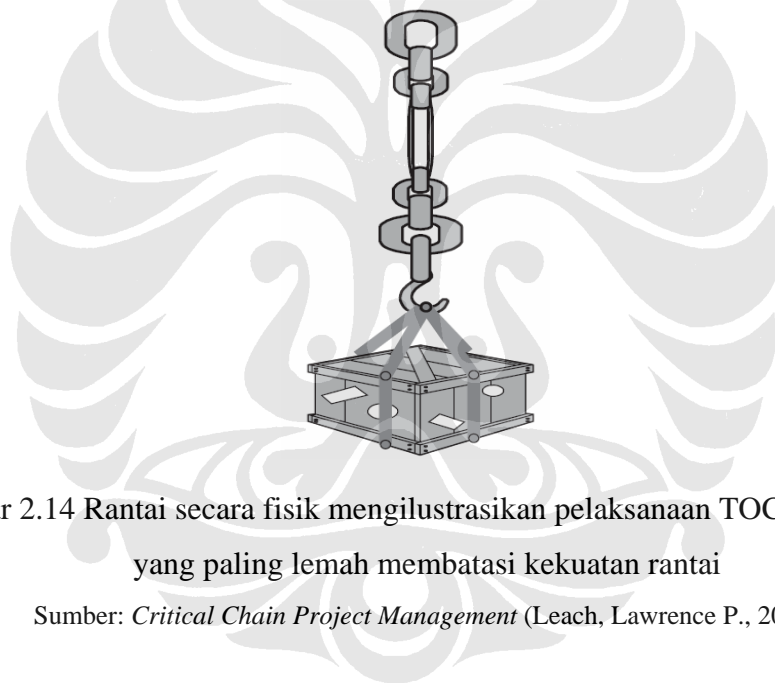
Gambar 2.13 Prosedur aplikasi TOC dan CCPM

Sumber: Diolah dari Steyn, H., 2002

²⁹ D. K. H. Chua, M.ASCE, and L. J. Shen, *Key Constraints Analysis with Integrated Production Scheduler*, the Journal of Construction Engineering and Management, Vol. 131, No. 7, July 1, 2005.

³⁰ Eliyahu M. Goldratt, *Ibid*

Secara umum, sasaran dari perencanaan konstruksi dan pengendalian jadwal adalah untuk menghasilkan penyelesaian pekerjaan yang tepat waktu dari tiap-tiap aktivitas di dalam proyek³¹. Batasan utama di dalam setiap proyek adalah perkiraan waktu penyelesaian aktivitas yang kritis. Oleh karena itu, penekanan dilakukan pada penyelesaian aktivitas di dalam rantai kritis tanpa adanya pemborosan waktu³². Setiap orang setuju bahwa mata rantai yang paling lemah menentukan kekuatan suatu jaringan, Siapapun dapat lihat bahwa meningkatkan kekuatan sambungan selain dari mata rantai yang paling lemah tidak memiliki dampak berdasarkan jaringan yang dapat dilihat pada gambar 8.³³



Gambar 2.14 Rantai secara fisik mengilustrasikan pelaksanaan TOC, Mata rantai yang paling lemah membatasi kekuatan rantai

Sumber: *Critical Chain Project Management* (Leach, Lawrence P., 2000)

2.5.2 Pengertian *Critical Chain Project Management*

Dalam berbagai proyek, *Critical Chain Project Management* didefinisikan sebagai rantai terpanjang dari kejadian - kejadian yang saling berkaitan, dimana keterkaitan satu sama lain tersebut terletak pada

³¹ Jan, Shu-Hui, *Construction Project Buffer Management In Scheduling Planning And Control*, ISARC, Taiwan, 2006.

³² Jan, Shu-Hui, *Ibid*

³³ Leach, Lawrence P, *Ibid*

pekerjaan atau sumber daya yang saling berhubungan.³⁴ Persyaratan dalam metode *Critical Chain Project Management* ini adalah tidak adanya *multitasking*, *Student's Syndrome*, *Parkinson's law*, *As late as possible*, menghilangkan hidden safety dan memindahkannya dalam bentuk buffer di belakang proyek, dan menitik beratkan pada penyelesaian akhir proyek. Metodologi dengan manajemen *buffer* digunakan untuk mengintegrasikan pekerjaan-pekerjaan dengan batasan-batasan (*constrains*) terhadap ketersediaan sumber daya yang menjadi penyebab terjadinya penundaan/keterlambatan pelaksanaan di dalam proyek konstruksi.

Batasan pada suatu proyek konstruksi dapat digolongkan pada beberapa cara yang berbeda, meskipun demikian sedikitnya tiga jenis yang biasanya dihadapi. Paling umum dikenal adalah batasan hak yang lebih tinggi yang menentukan waktu awal / selesai, urutan dari aktivitas dan pekerjaan. Kedua adalah batasan sumber daya meliputi pengadaan material, tenaga kerja dan peralatan, yang sering ditangani di masalah alokasi sumber daya. Ketiga adalah menunjukkan informasi ketersediaan batasan sebagai keterangan yang diperlukan seperti permintaan untuk informasi, shop drawings, dan persetujuan disain, yang biasanya diabaikan pada penjadwalan model tradisional.³⁵

Critical Chain Project Management dengan tidak sengaja menarik dan tampil untuk menawarkan sejumlah keuntungan atas penjadwalan tradisional dan metoda pengendalian lainnya. Ini meliputi eliminasi dari variasi penyebab khusus seperti halnya pengumpulan waktu pengaman proyek dalam suatu buffer proyek, perlindungan terhadap rantai kritis melalui *buffer proyek*, memindahkan pekerjaan yang tidak mendesak ke belakang (*As late as possible*) dengan memberikan *feeder-feeder buffer*, penggunaan *buffer* sumber daya untuk mengantisipasi pekerjaan yang akan datang, dan memonitor pemakaian buffer untuk mengendalikan jadwal proyek.³⁶

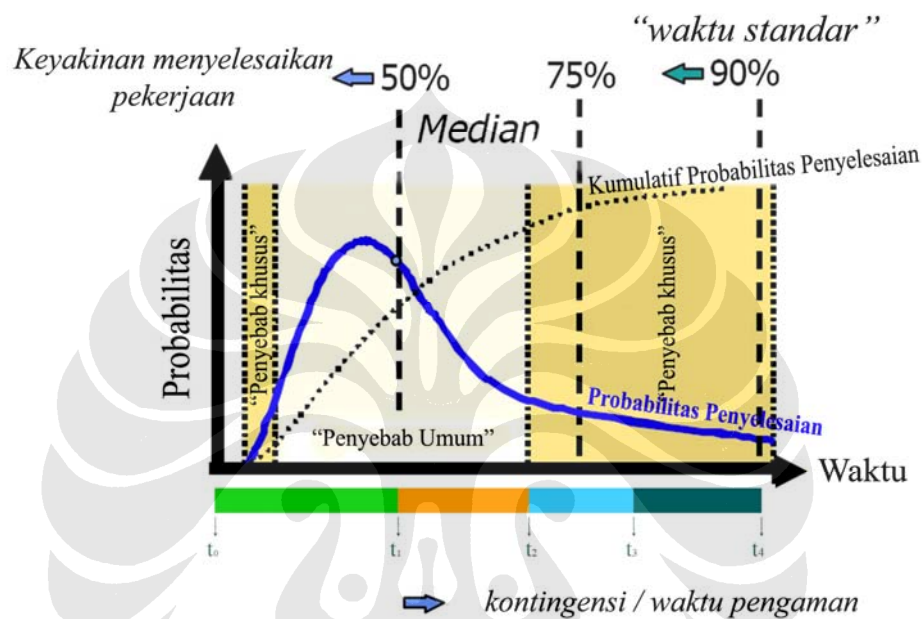
³⁴ Harold Krezner, Ph.D., Op.cit. hal. 912, 2006

³⁵ D. K. H. Chua, M.ASCE, and L. J. Shen, Op.cit. hal. 1, 2005.

³⁶ A. Geekie and H. Steyn, *Buffer Sizing For The Critical Chain Project Management Method*, South African Journal Of Industrial Engineering May 2008 Vol 19(1): 73-88

2.5.3 Estimasi Waktu Pengaman

Dalam mengestimasi durasi proyek harus didasarkan pada pengalaman perencana, dimana kebanyakan dari perencana penjadwalan cenderung untuk menambahkan durasi keamanan yang tersembunyi ke dalam penilaian - penilaian mereka untuk setiap ketidakpastian pada kinerja aktual.³⁷



Gambar 2.15 Kurva Distribusi Penyelesaian Pekerjaan

Sumber: Diolah dari Ernst Meijer., 2003 dan Ted Hutchin., 2007

Keterangan .³⁸

t_0-t_1 = Sejumlah waktu pekerjaan yang akan diambil jika segalanya berjalan dengan baik

t_1-t_2 = Sejumlah waktu untuk mengatasi ketidakpastian didalam melakukan pekerjaan

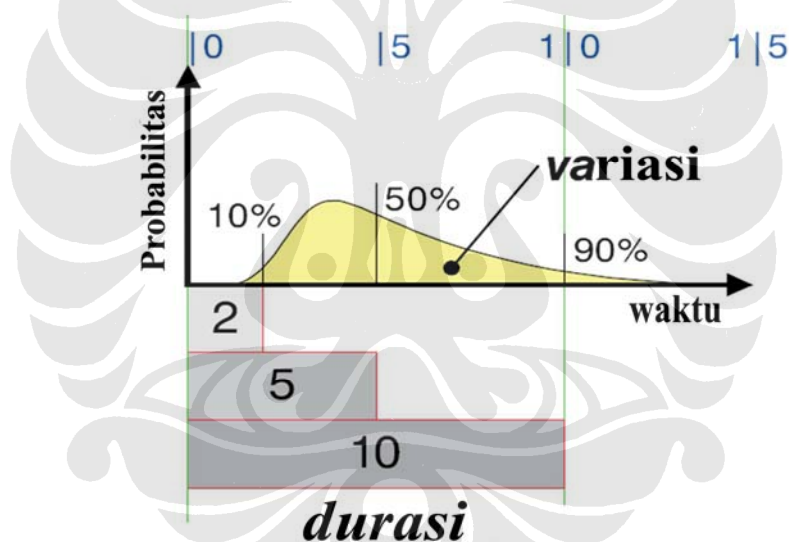
t_2-t_3 = Sejumlah waktu yang dihabiskan berkerja di aktivitas yang lain

³⁷ Leach L. P., Ibid

³⁸ Ted Hutchin, *Execution Management Systems through the application of Critical Chain Project Management*, TOC-Lean Institute, www.toc-lean.com, 2007, Diakses 18 Juni 2008 Pkl 11.24 WIB

t_3-t_4 = Sejumlah waktu yang dipertimbangkan untuk gangguan-gangguan yang mungkin terjadi

Seperti yang diperlihatkan di dalam Gambar 2.16, ada kemungkinan 10% menyelesaikan pekerjaan di dalam dua hari, kemungkinan 50% menyelesaikan pekerjaan di dalam lima hari, dan kemungkinan 90% menyelesaikan pekerjaan di dalam 10 hari. Jika anda mengambil “estimasi” sembilan diantara sepuluh hari, lalu perkiraan mu tidak 50% kemungkinan waktu yang diharapkan, tetapi 90% kemungkinan waktu yang dijanjikan. Hal inilah yang kebanyakan orang pakai ketika mereka diminta untuk mengestimasi suatu pekerjaan.³⁹



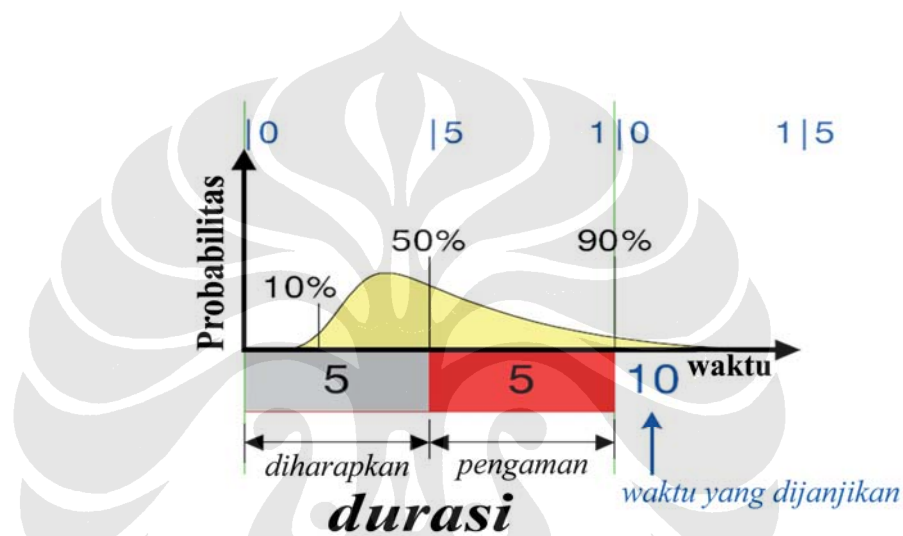
Gambar 2.16 Estimasi variasi pekerjaan

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Seperti yang diperlihatkan di dalam Gambar 2.17. Untuk memenuhi waktu penyelesaian pekerjaan yang telah dijanjikan, maka seseorang memberikan waktu keamanan yang signifikan untuk memberikan perlindungan pada waktu pelaksanaan karena ia harus

³⁹ Richard E. Zultner, Op.cit. hal. *Getting Projects Out of Your System: A Critical Chain Primer*, Cutter IT Journal, 2003, Vol. 16, No. 3, 11

mempertimbangkan kondisi kerja aktual termasuk banyaknya berbagai pekerjaan mendesak yang akan timbul atau pekerjaan tersebut bisa menjadi lebih sulit dibanding kelihatannya ketika anda melakukannya, dan untuk mengantisipasi hal-hal yang tidak terduga. Seperti pada umumnya, kebanyakan software penjadwalan memperkirakan 90% kemungkinan waktu yang dijanjikan dan sekitar separuh jangka waktu itu adalah waktu keamanan atau perlindungan untuk memastikan pekerjaan tersebut dapat selesai tepat waktu.⁴⁰



Gambar 2.17 Pengembangan dari waktu yang dijanjikan

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Di dalam Gambar 2.18 a, kita mempunyai suatu proyek dengan tiga pekerjaan serupa dengan waktu yang dijanjikan 10 hari termasuk keamanan di masing-masing pekerjaan. Manager proyek mencoba untuk memastikan bahwa proyek dapat selesai tepat waktu dengan menjaga setiap pekerjaan agar selesai tepat pada waktunya.⁴¹

Dengan menggunakan penjadwalan tradisional, tiga pekerjaan yang masing-masing mempunyai durasi 10 hari, dimana waktu pelaksanaan dan keamanan yang diperlukan akan menghabiskan waktu keseluruhan selama 30 hari. Masing-masing dari ke tiga pekerjaan mempunyai 90%

⁴⁰ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 11

⁴¹ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 11

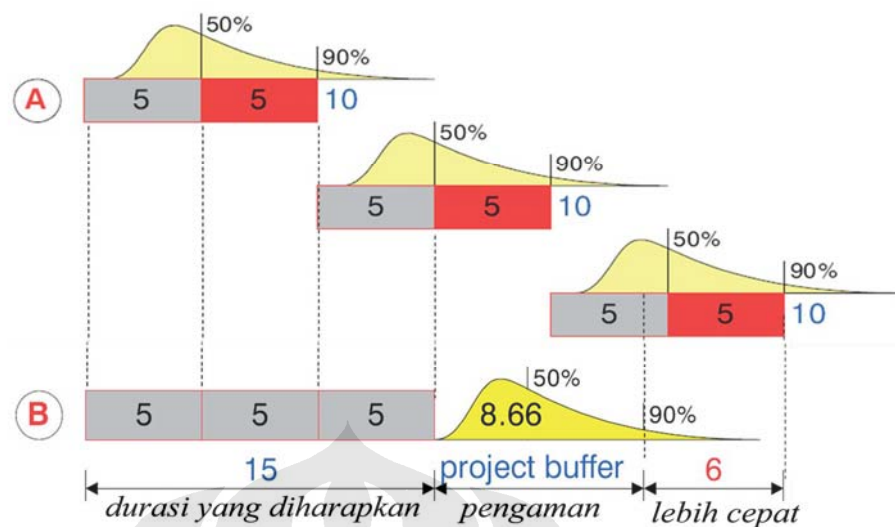
kemungkinan menyelesaikan pekerjaan tepat waktu. Tetapi kenyataannya kemungkinan dari penyelesaian proyek tepat waktu kurang dari 90%. Sehingga berdasarkan pengalaman tersebut manajer proyek cenderung untuk menambahkan suatu ketidakpastian (*contingency*) cadangan hingga berakhirnya proyek. Namun hal ini adalah karena jalan yang terbaik untuk memperbaiki kinerja proyek adalah dengan mengatur ketidakpastian yang ada didalam proyek.⁴²

Sedangkan didalam gambar 2.18 b, penjadwalan yang menggunakan metode *critical chain project management* memakai satu analogi asuransi (*concepts of insurance*) yang menyatukan segala resikonya, berdasarkan pemikiran dari tiga rumah yang masing-masing pemilik rumah berusaha mengasuransikan rumahnya untuk mencegah kemungkinan resiko yang akan terjadi. Karena mereka tidak mampu untuk menyisihkan dana secukupnya untuk mengatasi suatu masalah serius yang tidak terduga dalam waktu lebih dari lima hari.

Ketika satu perusahaan asuransi menyatukan keselamatan dari ke tiga pemilik rumah tersebut, pemilik rumah membayar lebih sedikit kepada perusahaan asuransi yang kemudian mereka mendapatkan perlindungan terhadap rumah mereka masing-masing dibanding mereka merencanakan untuk menyisihkan dana sebelumnya yang cukup besar dalam waktu kurang dari lima hari. Hal ini dapat dilakukan Karena perusahaan asuransi mengetahui bahwa bagaimana mungkin ketiga rumah tersebut akan mendapatkan masalah yang serius pada waktu yang bersamaan.⁴³

⁴² Francis S. "Frank" Patrick, *Critical Chain Scheduling and Buffer Management*, www.focusedperformance.com, 1998

⁴³ Richard E. Zultner, *Ibid*, hal. 11



Gambar 2.18 Perbedaan waktu pengaman pada tiga proyek

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

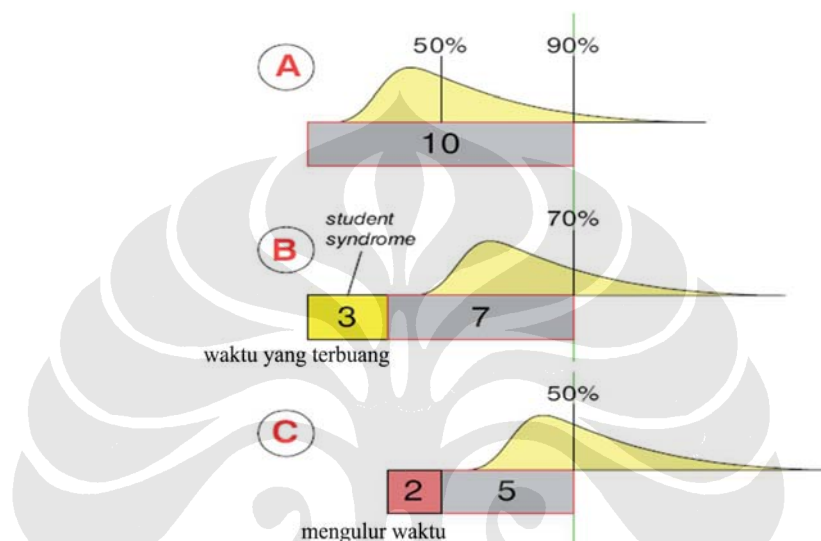
Seperti contoh diatas efisiensi dari waktu keamanan yang disatukan sehingga waktu keamanan yang tersedia untuk dibagi bersama 8,66 hari, namun hal ini sama dengan perlindungan untuk proyek (90% kemungkinan) seperti lima hari waktu keamanan di dalam masing-masing tugas. Namun sekarang, waktu keamanan di luar masing-masing tugas, tanpa membuat proyek terlambat sehingga membuat proyek lebih cepat 6 hari atau dapat mereduksi 15% dibanding penjadwalan tradisional. Inilah alasan kenapa kita dapat mengatakan waktu pelaksanaan proyek dengan menggunakan metode critical chain dapat 15%-25% lebih pendek atau cepat dibanding penjadwalan traditional.

2.5.4 Student's Syndrome

Student's Syndrome serupa dengan ketika para siswa diberikan suatu tugas, mereka biasanya memulai mengerjakan tugas tersebut dimenit-menit terakhir, bahkan panjangnya waktu yang diberikan tidak cukup untuk menyelesaikan tugas-tugas tersebut lebih cepat.⁴⁴ Oleh karena itu, waktu keamanan yang ditambahkan menjadi semacam barang sisa karena

⁴⁴ Leach L. P., Ibid

untuk memulai mengerjakan tugas tersebut tidak dilakukan pada waktu awal. Perilaku ini dapat menyebabkan waktu keamanan yang terdapat didalam pekerjaan terbuang percuma bahkan sebelum kita memulai pekerjaan untuk melakukan pekerjaan, sehingga kita tidak lagi mempunyai 90% kemungkinan waktu yang dijanjikan untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Sebagai contoh dapat dilihat pada gambar 2.19.⁴⁵



Gambar 2.19 Hilangnya waktu pengaman pekerjaan akibat *student syndrome*

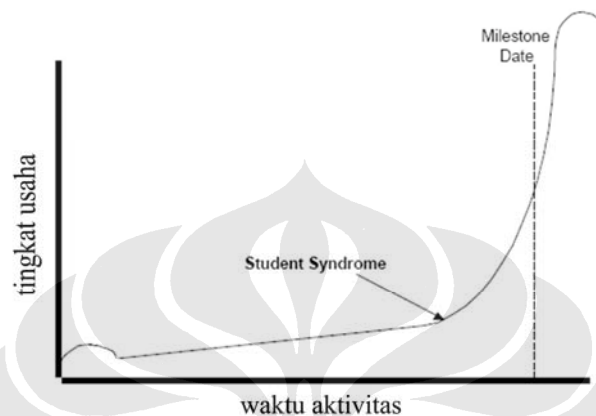
Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Didalam Gambar 2.19 a, terdapat 90% kemungkinan waktu yang dijanjikan, mereka mempunyai banyak waktu untuk menyelesaikan pekerjaan. Jadi mereka berpikir dapat menyelesaikan pekerjaan tersebut dalam waktu 7 hari, yaitu dengan mengerjakan sedikit beberapa pekerjaan yang mendesak atau mengulur waktu memulai pekerjaan.⁴⁶ Permulaan ini tidak masalah karena masih ada waktu pengaman 5 hari. Didalam gambar 2.19 b, dapat dilihat bahwa waktu keamanan telah terbuang dengan percuma selama 3 hari. Sayangnya pada hari berikutnya seperti yang dapat dilihat dalam gambar 2.19 c ketika mereka mulai melakukan pekerjaan terjadi masalah yang tidak terduga sehingga waktu yang tersisa berkurang

⁴⁵ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 13

⁴⁶ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 11

menjadi 5 hari, yang berarti waktu keamanan yang disediakan telah habis.⁴⁷ Oleh karena itu mereka berusaha mempercepat untuk menyelesaikan pekerjaan dengan mengambil waktu malam, tidak peduli seberapa besar usaha yang ia lakukan.



Gambar 2.20 Curva dari efek student syndrome

Sumber: *Critical Chain Project Management* (Leach, Lawrence P., 2000)

2.5.5 Parkinson's law

Parkinson's Law adalah Kecenderungan seorang pekerja untuk menghabiskan waktu pekerjaannya walaupun dia dapat menyelesaikan pekerjaan itu sebelum waktunya. Jika sebuah aktivitas di estimasi untuk mendapatkan durasi yang direncanakan, biasanya dia tidak mengambil lebih sedikit dari durasi tersebut.⁴⁸ Seorang pekerja hanya melakukan penyesuaian tingkat usaha / kemampuannya untuk menjaga kesibukannya pada keseluruhan jadwal penyelesaian pekerjaan. Karena biasanya, kalau seorang pekerja dapat menyelesaikan pekerjaannya lebih cepat dari waktu yang direncanakan mereka tidak mendapatkan balas jasa atau dengan kata lain seorang pekerja menyelesaikan pekerjaannya lebih cepat namun ia tidak melaporkannya kepada perusahaan sehingga ini merugikan perusahaan.

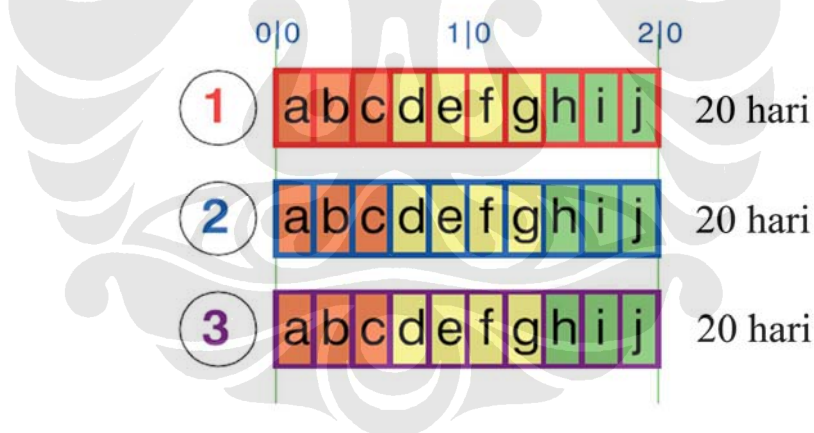
⁴⁷ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 11

⁴⁸ Leach L. P., Ibid

2.5.6 Multitasking

Multitasking adalah Mengerjakan beberapa pekerjaan dalam waktu yang bersamaan. Pengaruh dari multitasking seharusnya dipertimbangkan karena fragmentasi dari sumber daya dan waktu persiapan peralatan akan menyebabkan tugas-tugas menjadi tertunda karena kehilangan konsentrasi.⁴⁹

Gambar 2.21 menunjukkan tiga proyek yang sama, dan manager proyek bertanggung jawab untuk masing-masing proyek. Masing-masing proyek terdiri dari 10 pekerjaan dengan durasi masing-masing 2 hari. Ada tiga jenis dari sumber daya yang diperlukan. Di dalam kasus ini, karena kita mempunyai tiga jenis masing-masing proyek dari sumber daya yang tersedia, kita hanya diberikan satu dari tiap jenis sumber daya kepada masing-masing proyek. ketiga proyek tersebut masing-masing memiliki waktu 20 hari untuk diselesaikan. Jika kita hanya mempunyai satu dari tiap jenis sumber daya, bagaimana seharusnya kita melakukannya?⁵⁰



Gambar 2.21 Kebutuhan Sumber daya pada tiga proyek

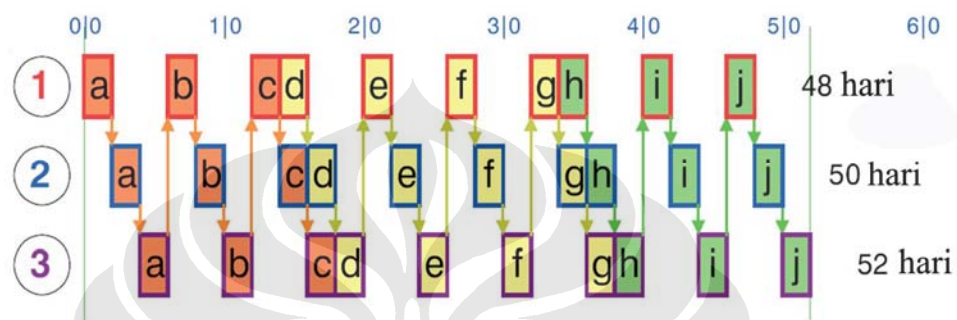
Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Di dalam Gambar 2.22, manager proyek untuk proyek 1, 2, dan 3 berusaha untuk menekankan membuat kemajuan di masing-masing proyek mereka setiap minggunya. Sehingga pekerjaan di proyek 1 belum selesai, sumber daya berpindah ke pekerjaan di proyek 2 demikian seterusnya.

⁴⁹ Tarek Hegazy, *Computer-based Construction Project Management*, Prentice Hall, 2002

⁵⁰ Richard E. Zultner, *Ibid*, hal. 16

Maka manajer proyek akan memiliki “kemajuan” dari masing-masing proyek untuk dilaporkan setiap minggunya. Tentu saja, ini memerlukan waktu yang lebih panjang ketika anda tidak mempunyai banyak sumber daya. Maka masing-masing proyek selesai dalam waktu 48, 50, dan 52 hari. Sehingga hal ini berarti mempengaruhi waktu penyerahan proyek secara keseluruhan.⁵¹



Gambar 2.22 Kebutuhan sumber daya pada tiga proyek dengan multitasking

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Sedangkan di dalam gambar 2.23, masing-masing sumber daya menyelesaikan semua pekerjaan di proyeknya sebelum berpindah kepada proyek yang lainnya, sehingga tidak ada sumber daya yang berpindah ke pekerjaan yang lain dan kemudian meneruskan kembali pekerjaan yang telah di tinggalkannya dimana hal ini lebih disukai dan dapat menghasilkan kualitas pekerjaan yang lebih baik atau dengan kata lain membedakanya dalam skala prioritas menghindari multitasking. Semua proyek diselesaikan lebih cepat di dalam waktu 20, 28, dan 36 hari. Bahkan proyek 1 yang menjadi prioritas tinggi dikerjakan 20 hari atau mengalami progres 240% dan proyek 3 lebih cepat 16 hari bila dibandingkan kasus multitasking. Sehingga dapat dikatakan “efisiensi” dari multitasking adalah suatu dongeng.

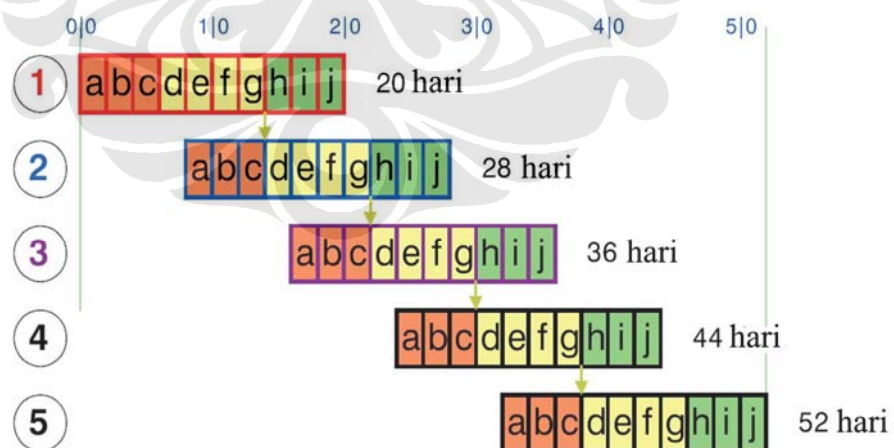
⁵¹ Richard E. Zultner, Ibid, hal. 16



Gambar 2.23 Kebutuhan sumber daya pada tiga proyek dengan Tidak menggunakan multitasking

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Maka, dari pada menyelesaikan tiga proyek yang dilaksanakan dalam 52 hari dengan multitasking. Berapa banyak yang bisa dilakukan dalam waktu yang sama tanpa multitasking?. Di dalam Gambar 2.24, kita dapat melihat keuntungan dari CCPM. Dengan jumlah sumber daya yang sama kita dapat menyelesaikan 5 proyek tanpa adanya tambahan biaya dan tidak ada resiko-resiko tambahan jika kita menghapuskan multitasking di semua proyek⁵²



Gambar 2.24 Keuntungan yang diperoleh dengan tidak menggunakan multitasking sumber daya

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

⁵² Richard E. Zultner, Ibid, hal. 17

2.5.7 Manajemen Buffer

Manajemen buffer adalah kunci untuk mengatur aktivitas pada rantai kritis jadwal proyek. Metodologi rantai kritis tidak dapat terlaksana tanpa manajemen buffer.⁵³ Ada tiga macam ketidakpastian didalam perencanaan dan penjadwalan proyek yakni ketidakpastian waktu aktivitas, ketidakpastian waktu alur, dan ketidakpastian sumber daya.⁵⁴ Untuk mengatur ketidakpastian di dalam proyek-proyek konstruksi maka digunakan manajemen buffer untuk membuat penilaian atas kebutuhan dari buffer pada setiap aktivitas.

Manajemen buffer dapat memberikan pandangan yang jelas terhadap dampak resiko yang kumulatif kepada kinerja proyek, termasuk pertimbangan tentang batasan sumber daya dan berfokus kepada menyebabkan ketidakpastian didalam manajemen proyek. Oleh karena itu, menjadwalkan tanpa mempertimbangkan batasan sumber daya menjadi sesuatu yang tak dapat dipercaya dalam menjadwalkan, karena waktu untuk memulai suatu aktivitas biasanya dipengaruhi oleh ketersediaan sumber daya.

Didalam metode *critical chain Project Management*, *buffer* ditambahkan pada durasi yang digunakan pada penjadwalan proyek untuk melindungi *critical chain* bagi suksesnya proyek.⁵⁵ Banyak faktor yang mempengaruhi ukuran suatu buffer proyek, ada faktor-faktor resiko sebagai berikut : gangguan dalam persediaan material dan alat, pembiayaan tidak beraturan, kesalahan disain, cuaca buruk, kerusakan peralatan, pemborong tidak efisien, gangguan administrasi yang sah, dan lain-lain.⁵⁶

Maka untuk menyelesaikan proyek lebih awal dari jadwal yang direncanakan dengan batasan sumber daya, aplikasi buffer/penyangga didalam Critical Chain digunakan untuk memecahkan permasalahan tersebut. Dimana buffer digunakan untuk melindungi jadwal proyek secara

⁵³ Harold Krezner, Ph.D., Ibid, hal. 923

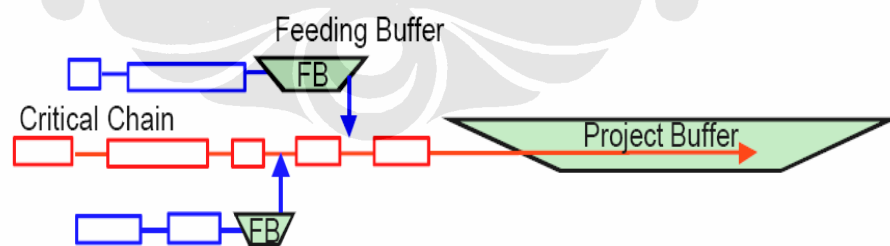
⁵⁴ Leach L. P., Ibid

⁵⁵ Leach L. P., Ibid

⁵⁶ Magdalena Rogalska, Zdzislaw Hejducki, *Time Buffers in Construction Process Scheduling*, Journal of Civil Engineering and Management, 2007, Vol XIII, No 2, 143-148.

global dari ketidakpastian-ketidakpastian pada setiap pekerjaan sehingga dapat diselesaikan tepat waktu. Buffer yang digunakan di dalam critical chain adalah sebagai berikut :

- a) *Project buffer* adalah untuk melindungi waktu penyelesaian akhir proyek dari ketidakpastian jadwal di dalam aktivitas *critical chain*. *Project buffer* ditempatkan pada akhir proyek setelah pekerjaan yang berada di dalam jaringan kritis yang terakhir.⁵⁷
- b) *Feeding buffers* adalah untuk melindungi dan menjaga kinerja aktivitas jaringan *critical chain* dari perubahan karena ketidakpastian jadwal di dalam aktivitas dari jaringan-jaringan yang tidak kritis sehingga tidak mengganggu aktivitas di dalam jaringan kritis dalam hubungan ketergantungan, Hanya ketika 100% dari *feeding buffer* dihabiskan untuk mengerjakan pekerjaan pada rantai yang tidak kritis baru akan berpengaruh pada *critical chain* dan *project buffer*.⁵⁸ *Feeding buffer* ditempatkan pada persimpangan (sambungan-sambungan) antara rantai yang tidak kritis dengan *critical chain*.
- c) *Resource buffer* adalah untuk mengantisipasi dan menjamin keamanan dari ketersediaan sumber daya, sehingga tidak ada penambahan waktu untuk *critical chain*, *Resource buffer* ditempatkan pada *critical chain*.⁵⁹



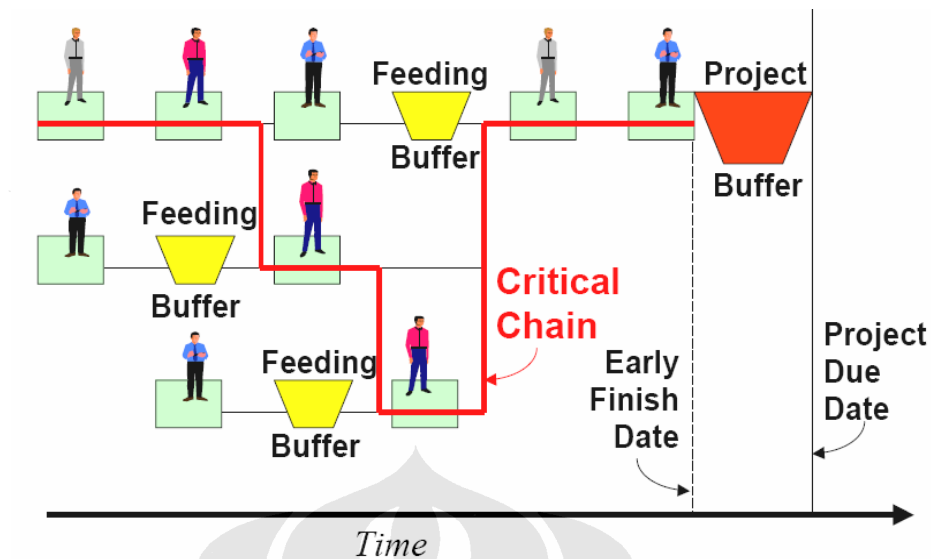
Gambar 2.25 *Feeding Buffer* dan *Project Buffer*

Sumber: *Critical Chain: A hands-on project application* (Ernst Meijer., 2003)

⁵⁷ Ribera1 J, Sachon M and Grasas A, *Buffer Management*, IESE Business School, Barcelona, Spanyol, 2003

⁵⁸ Harold Krezner, Ph.D., *Ibid* hal. 923

⁵⁹ Ribera1 J, Sachon M and Grasas A, *Ibid*



Gambar 2.26 Penempatan *Feeding Buffer* dan *Project Buffer*

Sumber: Critical Chain Scheduling for Project Management (Bob Futrell, PMP, 2001)

Manajemen *buffer* menyediakan suatu alat antisipasi yang jelas untuk mengantisipasi tindakan-tindakan dan keputusan-keputusan di dalam suatu proyek. Dimana instrumen yang digunakan adalah dengan memperlihatkan pada sejauh mana *penetrasi buffer* terhadap suatu interval waktu, yang nantinya akan memberi suatu pandangan perspektif dari tingkat konsumsi *buffer*. Sehingga tim proyek perlu memonitor *Project buffer* dan *feeder-feeder buffer* pada interval waktu tertentu pada proyek, biasanya pada *progress* mingguan. Para manajer proyek dalam melakukan monitoring dan mengontrol jadwal yaitu dengan menjaga jalur (*track*) dimana seberapa besar *Project buffer* telah dikonsumsi.⁶⁰

Project buffer dan *feeder buffer* yang harus dimonitor sedikitnya pada interval waktu 1/3 dari jumlah keseluruhan waktu *Project buffer*. Para manajer proyek harus meng-*updet buffers-buffer* setiap kali mereka memonitor pekerjaan pada masing-masing pengawas lapangan, untuk memperkirakan seberapa banyak waktu yang mereka sudah habiskan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan sampai dengan sekarang. karena proses-proses *monitoring* dan ketersediaan sumber daya adalah berdasar

⁶⁰ Herroelen, W & Leus, R., *On the merits and pitfalls of critical chain scheduling*, Journal of Operations Management, 19, 2001, page 559-577

pada laporan masing-masing pengawas lapangan.⁶¹ Dimana Sejumlah waktu yang tersedia diharapkan tidak berubah untuk menyelesaikan semua pekerjaan yang belum diselesaikan. Sehingga bukan berapa banyak pekerjaan yang mereka sudah selesaikan sejauh ini, tetapi berapa banyak waktu yang tersedia untuk menyelesaikan semua pekerjaan.

Dalam menganalisa sisa waktu yang tersedia dapat dilihat pada konsumsi buffer yang ditunjukkan pada *penetrasi buffer* terhadap suatu interval waktu. Jika penetrasi ke dalam buffer-buffer adalah hijau, hal ini menunjukkan pekerjaan terakhir pada *critical chain* diselesaikan lebih awal atau penetrasi ke dalam buffer adalah kurang dari $1/3$ *Project buffer* sehingga tidak perlu mengambil tindakan apapun.⁶² Jika penetrasi ke dalam buffer-buffer adalah kuning, hal ini menunjukkan suatu pekerjaan memerlukan waktu tambahan atau waktu penyelesaian akhir terlambat dan bila dihubungkan dengan *penetrasi buffer* adalah antara $1/3$ dan $2/3$ *Project buffer*, maka tim proyek perlu merencanakan tindakan-tindakan yang perlu dilakukan pada *critical chain* untuk mempercepat kegiatan berikutnya (mengembalikan *buffer*). Jika penetrasi ke dalam buffer-buffer adalah merah, hal ini menunjukkan penetrasi *buffer* melebihi dari $2/3$ *Project buffer*, tim proyek harus mengambil tindakan segera.⁶³

⁶¹ Jerry. Keslensky, *Delivering Successful Projects*, www.connectedconcepts.net, 1999

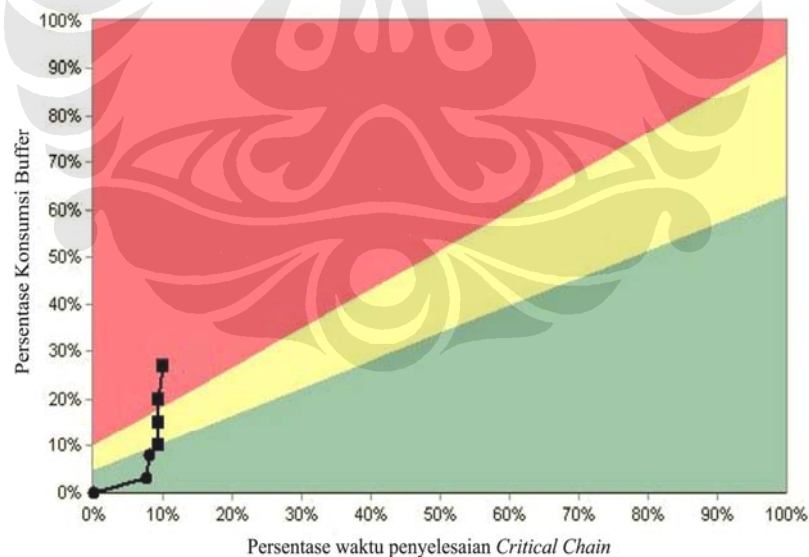
⁶² Jerry. Keslensky, *Ibid*

⁶³ Jerry. Keslensky, *Ibid*

	0/3	1/3	2/3	3/3
<i>Project Buffer</i>	X			
<i>Feeding Buffer 1</i>		X		
<i>Feeding Buffer 2</i>			X	
	Tidak perlu mengambil tindakan	Merencanakan tindakan	Melakukan tindakan	

Gambar 2.27 Penetrasi Buffer dengan menyediakan pengukuran dengan kontrol CCPM

Sumber: Diterjemahkan dari *CCPM Improves Project Performance* (Larry P. Leach, 2000)



Gambar 2.28 Contoh Grafik progres CCPM terhadap konsumsi *buffer*

Sumber: Diterjemahkan dari *EVM dan CCPM* (Larry Leach, 2005)

Untuk menjelaskan bagaimana cara buffer bekerja untuk melindungi jadwal proyek dari resiko ketidakpastian dapat dilihat pada gambar 2.29. Sebagai contoh kita kembali melanjutkan dengan proyek yang sama dengan tiga pekerjaan masing-masing mempunyai durasi 10 hari, kemudian waktu yang direncanakan sebagai suatu rantai kritis proyek adalah 15 hari jangka waktu proyek yang di harapkan dan sembilan hari waktu keamanan proyek (buffer).⁶⁴



Gambar 2.29 Perhitungan Konsumsi Buffer

Sumber: Diterjemahkan dari Richard E. Zultner, 2003

Kemajuan pekerjaan proyek aktual adalah sebagai berikut :

- Gambar 2.29 1. menjelaskan pekerjaan yang pertama menghabiskan waktu pekerjaan enam hari dari lima hari waktu yang diharapkan, maka buffer proyek berkurang satu hari menjadi delapan hari waktu keamanan proyek
- Gambar 2.29 2, menjelaskan pekerjaan yang kedua menghabiskan waktu pelaksanaan tiga hari dari lima hari sebagai ganti lima hari waktu yang diharapkan, maka buffer proyek ditambahkan dua hari dari buffer sebelumnya menjadi sepuluh hari waktu keamanan proyek

⁶⁴ Richard E. Zultner , Ibid , hal. 13

- c. Gambar 2.29 3, Menjelaskan pekerjaan yang ketiga menghabiskan waktu selama 10 hari dari lima hari waktu yang diharapkan, maka buffer proyek berkurang lima hari menjadi lima hari waktu keamanan proyek

Hasil akhir dari proyek tersebut dapat menjelaskan bahwa kita dapat menyelesaikan proyek lebih awal yaitu selama 24 hari. Itu berarti jika proyek ini dilaksanakan dalam waktu 10 hari, kita dapat mengharapkan bahwa sembilan diantara sepuluh hari, proyek itu akan selesai dalam waktu 24 hari. Tetapi karena kita mengurangi enam hari dari jadwal rencana yaitu 30 hari. Maka kita telah menginvestasikan sebagian dari buffer proyek untuk meningkatkan kemungkinan 95%, 98%, atau lebih untuk pekerjaan berikutnya.⁶⁵

2.5.8 Metode Pengukuran Buffer

Didalam literature, terdapat 2 metode pendekatan yang sering digunakan dalam menentukan ukuran buffer yang sederhana untuk menentukan buffer proyek dan feeder buffer yaitu cut and paste method (C&PM juga disebut 50% aturan) dan Root Square Error method (RSEM).⁶⁶

1. Metode cut and paste (C&PM)

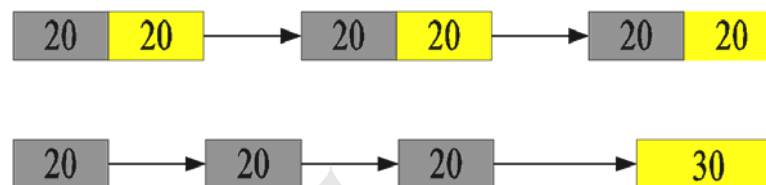
Aturan perekat yang digunakan untuk menentukan buffer proyek dan feeding buffer di dalam C&PM pada dasarnya memotong 50% dari durasi untuk semua aktivitas, dan untuk melekatkan buffer proyek dengan separuh durasi rantai kritis (critical chain) pada akhir rantai, seperti halnya untuk melekatkan buffer pengisi dengan separuh durasi aktivitas ke aktivitas pada jalur yang tidak rantai kritis (non critical chain) yang membawa kepada rantai kritis.⁶⁷ Sebagai contoh, dapat dilihat pada gambar 2.30, dalam rantai kritis dengan 3 aktivitas, setiap

⁶⁵ Richard E. Zultner , Ibid , hal. 13

⁶⁶ Herroelen, and R. Leus, *On the Merit and Pitfalls of Critical Chain Scheduling*, Journal of Operations Management, 19, 2001, page. 559-577.

⁶⁷ E.M. Goldratt, *Critical Chain*, Great Barrington, MA: North River Press, 1997

tugas dengan waktu ketidakpastian 20, yang berasal dari pemotongan sebesar 50% dari aktivitas keseluruhan waktu kerja 40, dan buffer proyek mempunyai 30 sebagai ukuran buffer yang ditambahkan pada akhir rantai kritis yang mempunyai durasi 60



Gambar 2.30 Contoh perhitungan buffer dengan metode C&PM

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

2. Metode Root Square Error (RSEM).

Aturan perekat yang digunakan untuk menentukan buffer proyek dan feeding buffer di dalam (RSEM) memerlukan 2 estimasi durasi tugas, pertama estimasi aman (S) mempunyai cukup pengaman untuk melindungi dari semua kemungkinan besar sumber keterlambatan, dan yang kedua estimasi rata-rata yaitu 50% dari durasi tugas⁶⁸ Asumsi waktu penyelesaian tugas adalah bebas, ukuran buffer ditetapkan sebagai 2 standar deviasi

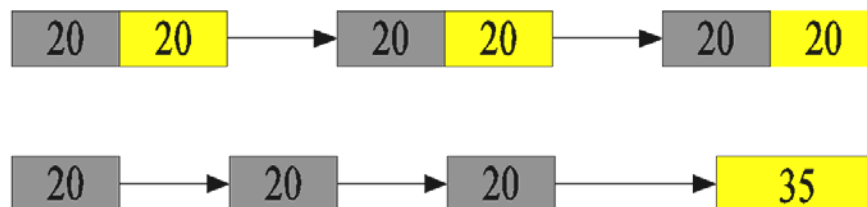
$$2\sigma = 2 \times \sqrt{\left(\frac{S_1 - A_1}{2}\right)^2 + \left(\frac{S_2 - A_2}{2}\right)^2 + \dots + \left(\frac{S_n - A_n}{2}\right)^2}$$

$$2\sigma = \sqrt{(S_1 - A_1)^2 + (S_2 - A_2)^2 + \dots + (S_n - A_n)^2}$$

Dimana n adalah banyaknya aktivitas dalam rantai kritis atau pengisi rantai. Menggunakan contoh yang sama dari kasus C&PM, ukuran buffer proyek dengan menggunakan metode RSEM adalah 35

⁶⁸ R.C. Newbold, Project Management in the Fast Lane Applying the Theory of Constraints, The St. Lucie Press, Boca Raton. 1998.

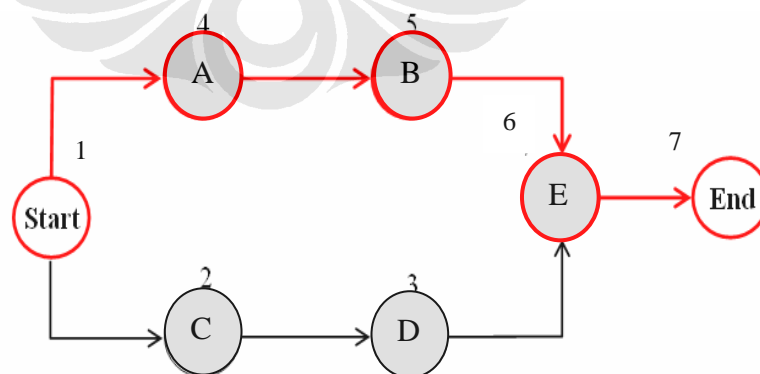
yang berasal dari setiap tugas i , $S_i = 40$, $A_i = 20$, dan $2\sigma = \sqrt{1200} \approx 35$, yang dapat dilihat pada gambar 2.31



Gambar 2.31 Contoh pengukuran buffer dengan RSEM

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

Untuk mengilustrasikan konsep dan metode perekat buffer untuk preseden dan keterbatasan sumber daya proyek, Sebuah jaringan proyek tunggal dengan 5 aktivitas yang digunakan dapat dilihat pada gambar 2.32. Estimasi dari durasi ditempatkan di atas bersesuaian dengan noda aktivitas, noda awal dan noda akhir adalah aktivitas dummy yang mempunyai durasi nol. Pada penambahan, aktivitas B dan Aktivitas D yang mengkonsumsi sumberdaya pada saat bersamaan yang hanya memiliki kapasitas 1 unit.



Gambar 2.32 Contoh Jaringan Proyek tunggal

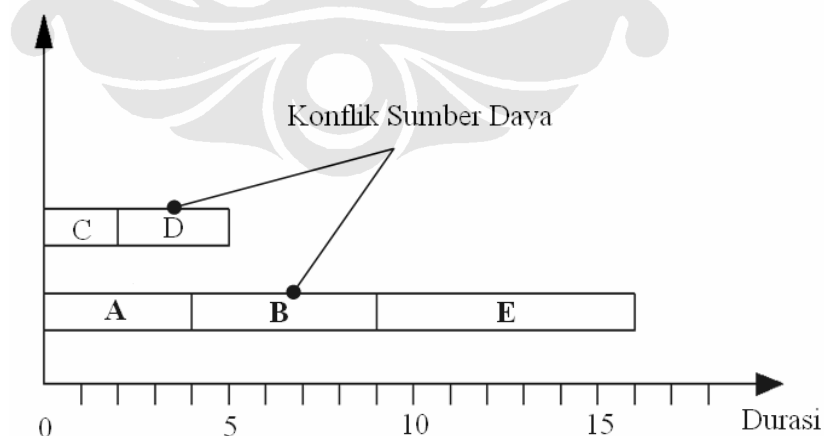
Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

Hasil analisa penjadwalan tradisional menggunakan metode Critical Path dapat dilihat pada table 2.1 dan gambar 2.33. jalur terpanjang adalah jalur kritis dengan panjang durasi 16. Bagaimanapun ketika terjadi bentrokan kebutuhan sumber daya yang telah diperhitungkan, penjadwalan dengan menggunakan CPM menyebabkan konflik sumberdaya antara aktivitas B dan aktivitas D.

Tabel 2.1 Critical Path Analysis

Aktivitas	Estimasi Durasi	Earliest start	Latest start	Total Slack
Start	0	0	0	0
A	4	0	0	0
B	5	4	4	0
C	2	0	4	4
D	3	2	6	4
E	7	9	9	0
End	0	16	16	0

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007



Gambar 2.33 Garis dasar penjadwalan menggunakan CPM

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

Untuk mengatasi masalah konflik sumber daya, perekat buffer pada CCPM digunakan, Waktu kemungkinan dengan RSEM dan C&PM dengan berbagai pemotongan persentase meliputi 50%, 40%, 30%, 20%, 10% dieliminasi dan sisa durasi aktivitas dapat dilihat pada table 2.2 dan gambar 2.34

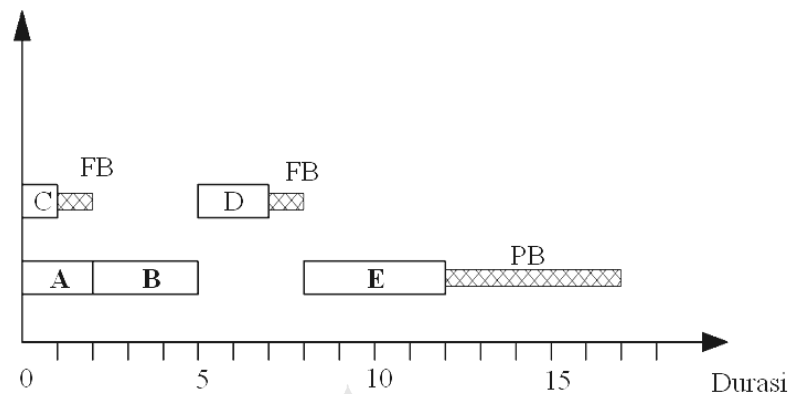
Tabel 2.2 Durasi Aktivitas menggunakan C&PM dan RSEM

Aktivitas	Sisa durasi aktivitas dengan menggunakan C&PM dan RSEM					
	C50	C40	C30	C20	C10	R
A	2	2	3	3	4	2
B	3	3	4	4	5	3
C	1	1	1	2	2	1
D	2	2	2	2	3	2
E	4	4	5	6	7	4

Keterangan :

- C50 posisi untuk C&PM 50%
- C40 posisi untuk C&PM 40%
- C30 posisi untuk C&PM 30%
- C20 posisi untuk C&PM 20%
- C10 posisi untuk C&PM 10%
- R posisi untuk RSEM

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007



Gambar 2.34 Garis dasar penjadwalan menggunakan C&PM – 50%

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

3. Metode *The square root of the sum of squares method (SSQ)*

Di dalam metoda ini, ukuran buffer adalah akar dua penjumlahan kwadrat dari perbedaan antara durasi resiko yang rendah dan durasi rata-rata untuk masing-masing tugas waktu tunggu sepanjang rantai pada buffer. Jika cabang alur yang menuju akhir, boleh digunakan hanya satu rantai yang terpanjang atau hasil yang paling besar dengan mempertimbangkan masing-masing rantai.⁶⁹

4. Metode *Bias plus SSQ*

Metoda ini adalah suatu kombinasi 50% dari metoda Rantai (C&PM) dan metoda SSQ. buffer terdiri dari suatu bagian tetap, yang ditambah pada perhitungan SSQ buffer. Bagian yang diperhitungkan meliputi variasi yang meliputi penyimpangan tetapi jauh lebih kecil dibanding 50% dari rantai (C&PM). Metode ini menyediakan beberapa petunjuk untuk menetapkan perekat atau bagian penyimpangan dari buffer, tetapi tetap penilaian pengalaman harus digunakan dalam menentukan ukuran buffer⁷⁰. Pedoman dapat dilihat pada table 2.3

⁶⁹ Leach, L.P., 2005. Ibid

⁷⁰ Leach, L.P., 2005. Ibid

Tabel 2.3 Ukuran Penyimpangan Buffer

Penyebab penyimpangan	Batasan ukuran buffer
Hubungan sesudahnya	Tidak ditetapkan
Penggabungan alur (lebih dari 5 jalur parallel)	> 20%
Kesalahan	5%-20%
Variasi Penyebab khusus	0%-30%
Kegagalan untuk melaporkan perlu pekerjaan ulang	0%-20%

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

5. Metode Adaptive procedure with resource tightness (APRT)

Tukel et al mengusulkan dua metoda perekat buffer. Metoda yang pertama mencoba untuk memperhitungkan apa yang pengarang gambarkan lebih lanjut seperti 'resource tightness'.⁷¹ Terutama mereka membuat buffernya sama dengan standar deviasi dari alur pendahulu pada buffer, skala dari suatu faktor yang dihitung dengan resource tightness ke dalam perhitungan. Ukuran buffer dihitung sebagai berikut:

$$\text{Buffer Size} = K \times \sigma_{\text{alur pengisi (feeding path)}}$$

Dimana

$$K \propto \frac{r}{R_{av}}$$

Dimana r adalah pemakaian sumber daya dan R_{av} adalah ketersediaan sumber daya. Alur pengisi standar deviasi adalah asumsi perhitungan dapat digunakan dalil batas tengah (of the central limit theorem), yang mana letak tersebut adalah rata-rata durasi alur atau rantai yang sama dengan penjumlahan rata-rata durasi tugas pembuatan rantai dan variasi rantai sama dengan penjumlahan variasi tugas pembuatan rantai⁷². Standar deviasi adalah akar dua variasi.

⁷¹ Tukel, O.I., Rom, W. R. & Duni Eksioglu, S. 2006. *An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling*, European Journal of Operational Research, 172, 401-416.

⁷² Moder, J.J. & Philips, C.R. 1985. *Project management with CPM and PERT*. Van Nostrand Reinhold Co., London.

6. *Metode Adaptive procedure with density (APD)*

Metoda tambahan yang kedua mengusulkan usaha untuk menghitung tingkat hubungan hak yang lebih tinggi dalam suatu jaringan.⁷³ Perencana membantah bahwa untuk jumlah yang ditentukan dari tugas kemungkinan suatu penundaan meningkatkan. Dimana banyaknya peningkatan hubungan hak yang lebih tinggi. yang dinyatakan dengan cara yang berbeda, ada suatu tingkatan saling ketergantungan lebih besar antar tugas dan jika satu tugas tertunda, semua dari hubungan sesudahnya tertunda. Perencana mengacu pada banyaknya hubungan preseden kepadatan jaringan. Mereka mencoba untuk mencakup efek rapatan sampai aplikasi metoda perekat buffer ini. buffer adalah standar deviasi dari skala alur oleh suatu faktor. Waktu ini faktor didasarkan pada kepadatan jaringan, dan digambarkan sebagai berikut :

$$K = 1 + \frac{TOTPRE}{NUMTASK}$$

Dimana TOTPRE adalah total jumlah hubungan preseden pada subjaringan dengan pertimbangan, dan NUMTASK adalah banyaknya tugas pada subjaringan itu. Ukuran buffer kemudian adalah sebagai berikut :

$$Buffer\ Size = K \times \sigma_{alur\ pengisi\ (feeding\ path)}$$

Dimana standar deviasi adalah alur yang terpanjang pada subjaringan dalam pertimbangan.

7. *Metode Buffer Proportional to Relative Dispersion*

Shou and Yeo menyatakan bahwa semua aktivitas harus ditempatkan ke dalam salah satu dari empat penggolongan, yang

⁷³ Tukel, O.I., Rom, W. R. & Duni Eksioglu, S.. *An investigation of buffer sizing techniques in critical chain scheduling*, European Journal of Operational Research, 2006, 172, page. 401-416.

berubah-ubah menandakan A, B, C, dan D.⁷⁴ A dikatakan mempunyai suatu tingkatan ketidakpastian sangat rendah, B dikatakan mempunyai suatu untuk tingkat ketidakpastian rendah, C dikatakan kepada mempunyai tingkat ketidakpastian yang lebih tinggi, dan D suatu tingkatan ketidakpastian sangat tinggi. Pengarang menyatakan bahwa aktivitas digolongkan didasarkan pada ‘relative dispersion (RD)’, yang mana adalah digambarkan sebagai:

$$RD = \frac{\sigma}{t_e}$$

Dimana aktivitas standar deviasi dan t_e adalah durasi aktivitas rata-rata. Disayangkan perencana tidak menyatakan seberapa batasan RD turunya nilai-nilai kedalam masing-masing kategori A, B, C, dan D. Meskipun begitu, suatu waktu aktivitas telah digolongkan dapat tugas suatu buffer menurut rekomendasi⁷⁵. rekomendasi ukuran buffer untuk tiga tingkat yang berbeda resiko diringkas dalam tabel 2.4 Dalam semua kasus persentase adalah rata-rata durasi tugas.

tabel 2.4 Ukuran Buffer untuk perbedaan kelas aktivitas

Klasifikasi	Keamanan rendah	Keamanan rata-rata	Keamanan tinggi
A	4%	8%	12%
B	12%	24%	36%
C	20%	40%	60%
D	28%	57%	85%

Sumber: Diterjemahkan dari Chien-Chih Yu dan Noppadon N, 2007

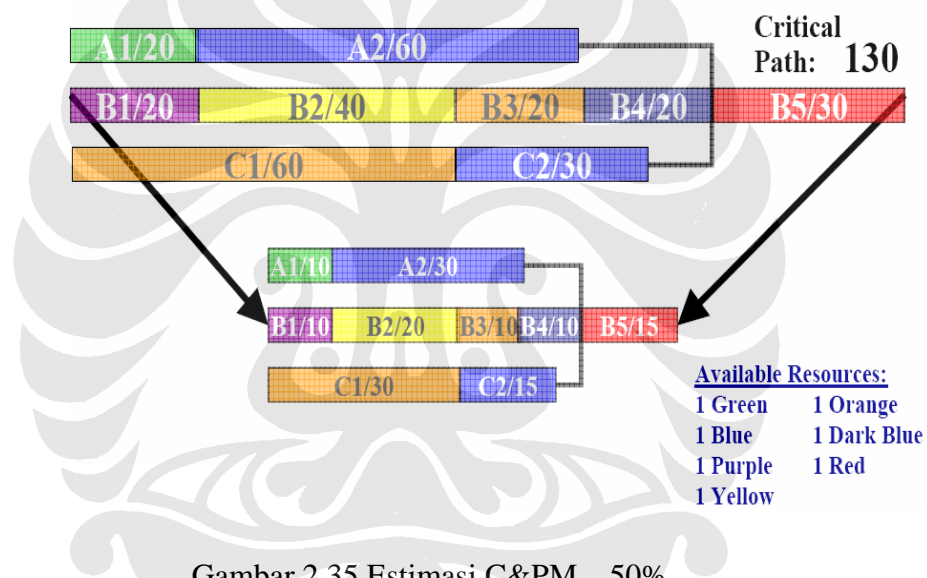
⁷⁴ Shou, Y. & Yeo, K.T., Estimation of project buffers in critical chain project management, Proceedings of the IEEE international conference, 2000

⁷⁵ Shou, Y. & Yeo, K.T., 2000. Ibid

2.5.9 Prosedur Critical Chain Scheduling.

Proses utama dalam menerapkan penyangga/buffer di dalam proyek-proyek konstruksi adalah :

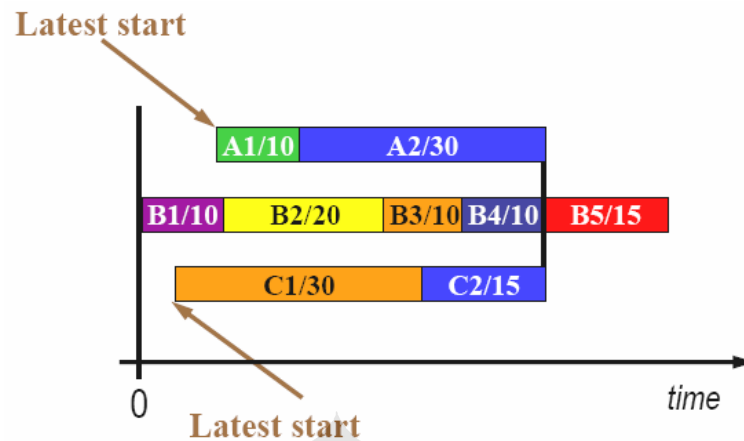
1. Rencanakan jadwal konstruksi menggunakan pendekatan CPM /PDM
2. Identifikasi dan estimasi waktu pengaman untuk masing-masing aktivitas.
3. Potong setengah waktu perkiraan pengerjaan dengan probabilitas 50% dengan menggunakan metode cut and paste (C&PM) untuk menyelesaikan tepat waktu dengan memindahkan waktu pengaman untuk masing-masing aktivitas.



Gambar 2.35 Estimasi C&PM – 50%

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

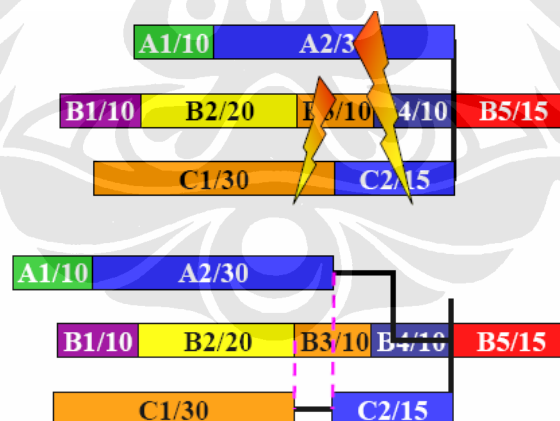
4. Jadwalkan waktu mulai pelaksanaan awal yang berada pada jalur tidak kritis ke waktu mulai pelaksanaan paling akhir (As late as possible) dalam hubungan ketergantungan dengan jalur kritis



Gambar 2.36 Jadwalkan waktu mulai pelaksanaan (As late as possible)

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

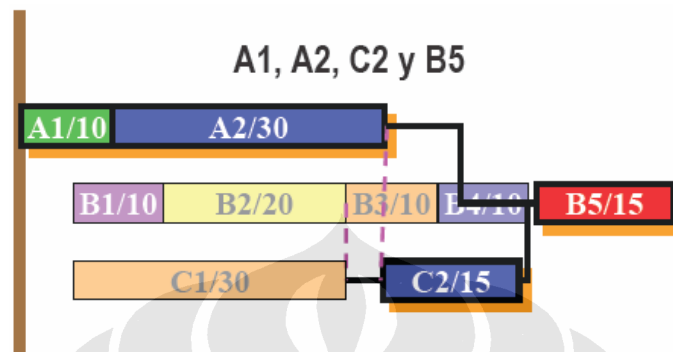
5. Pisahkan sumber daya yang mengalami konflik



Gambar 2.37 Konflik pemisahan Sumberdaya

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

6. Identifikasi jaringan yang kritis (jaringan yang terpanjang waktu pelaksanaannya) dari kejadian yang saling ketergantungan.

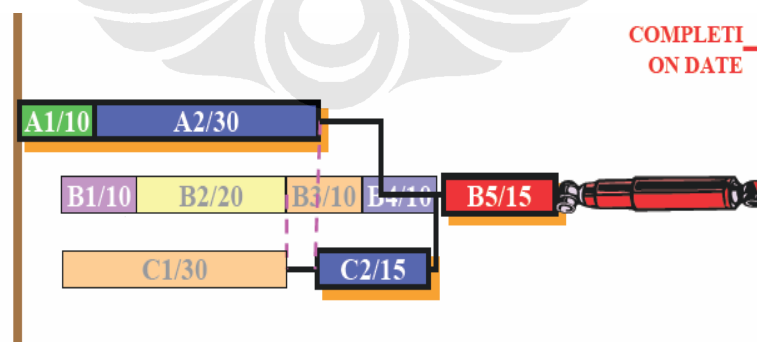


Gambar 2.38 Jaringan Kritis

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

7. Sisikan Buffer Proyek

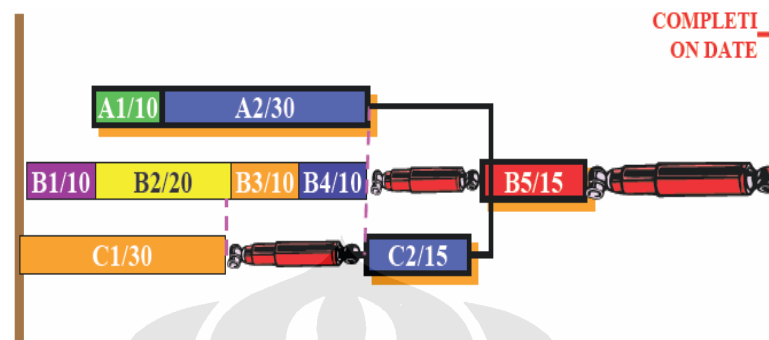
Masukan waktu pengaman (buffer proyek) separuh dari waktu pengerjaan proyek yang diambil dari masing-masing pekerjaan rantai kritis



Gambar 2.39 Penempatan Buffer

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

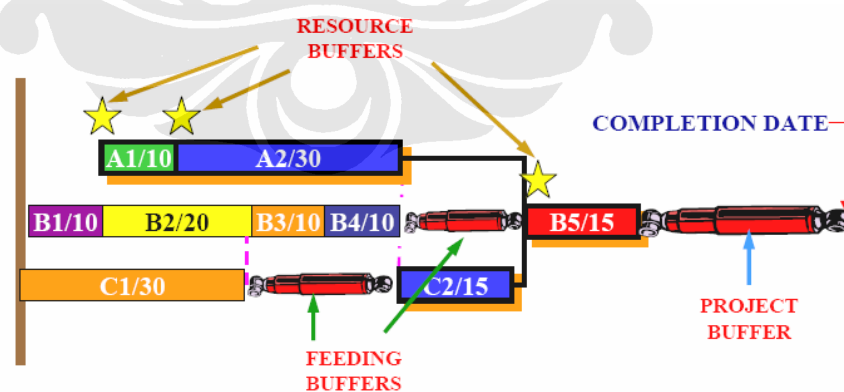
8. Tambahkan/Sisipkan feeding buffer di suatu jaringan yang tidak kritis pada dalam hubungan ketergantungan dengan jaringan kritis.



Gambar 2.40 feeding buffer dan project buffer

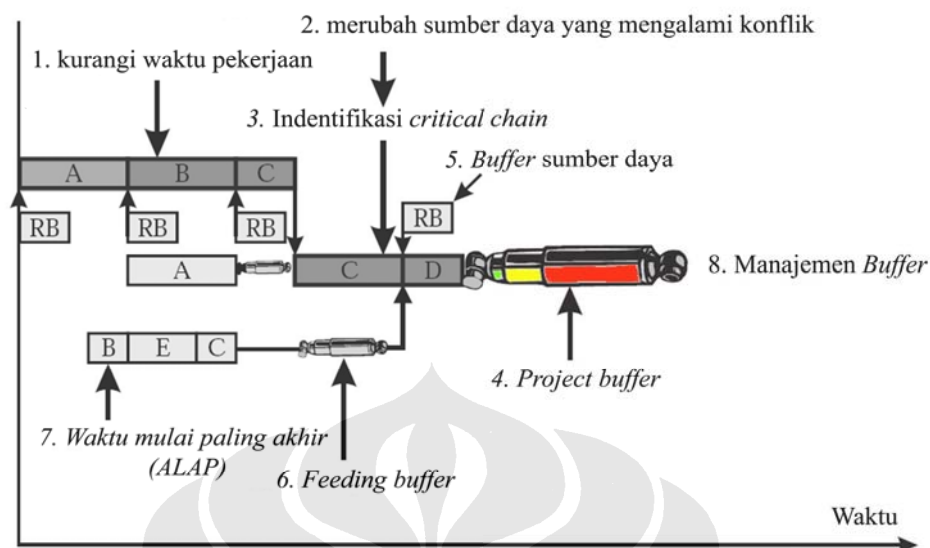
Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>

9. Tempatkan/Sisipkan buffer sumber daya untuk memastikan aktivitas tersebut ketersediaan sumber daya.



Gambar 2.41 Penyisipan buffer sumber daya proyek

Sumber: <http://www.psynapses.com/Rencontres/2005-11-18/7%20-%20%20Garcia%20-%20CCPM.pdf>



Sumber: *Critical Chain Project Management* (Leach, Lawrence P., 2000)

Gambar 2.42 Kunci Keistimewaan dari solusi CCPM menghasilkan kinerja pada syarat-syarat sistem proyek

2.6 Kerangka Berpikir dan Hipotesa Penelitian

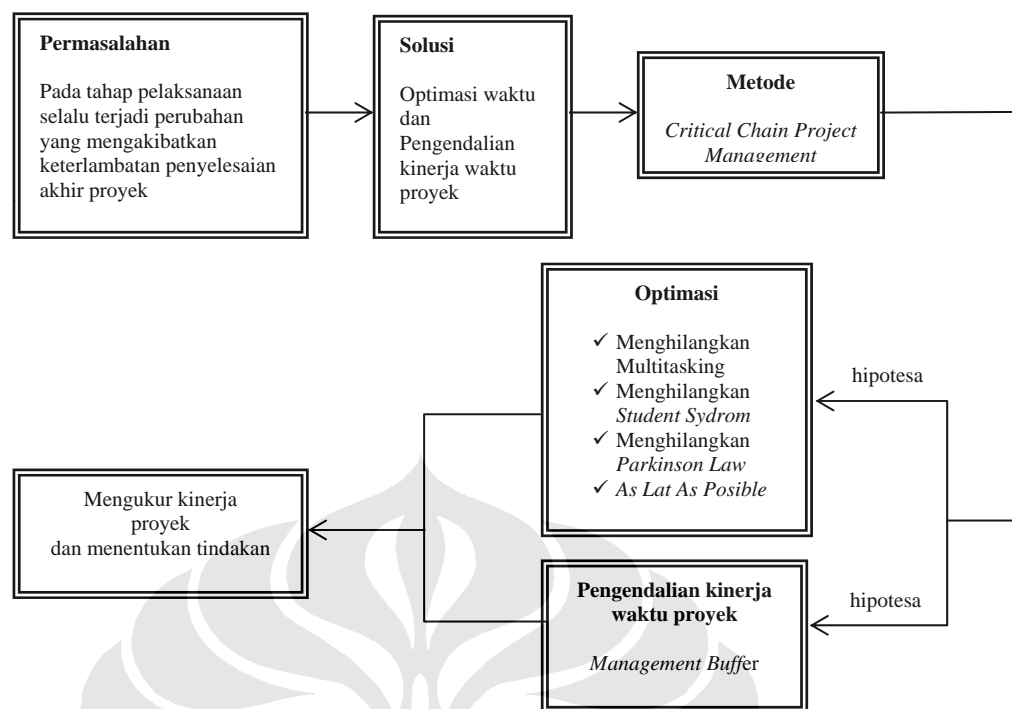
Masalah-masalah yang dihadapi oleh peneliti memerlukan suatu penjelasan yang disusun dalam kerangka teoritis tertentu. Masalah keterlambatan waktu pelaksanaan misalnya, memerlukan penjelasan dengan menggunakan konsep-konsep yang berhubungan dengan keterlambatan pekerjaan tersebut, seperti sumber daya, waktu, biaya dan sebagainya. Konsep-konsep itu saling berhubungan membentuk beberapa proposisi. Hubungan-hubungan yang terbentuk disusun dalam suatu kerangka berpikir, sehingga kita memperoleh penjelasan secara teoritis terhadap masalah keterlambatan waktu pelaksanaan sebagai masalah penelitian. Konsep-konsep yang disusun dalam kerangka dasar penelitian itu adalah konsep-konsep yang tercakup dalam hipotesis-hipotesis yang akan dirumuskan. Sehingga diperoleh kejelasan tentang data apa yang akan dikumpulkan untuk membuktikan hipotesis penelitian.

2.6.1 Kerangka Pemikiran

Masalah yang sering dihadapi dalam proyek konstruksi adalah terjadi ketidaksesuaian antara rencana awal dengan realisasi yang ada dalam pelaksanaan proyek konstruksi, seberapa baikpun perencanaan awal (anggaran biaya, jadwal, kualitas/mutu) yang telah dilakukan, pada tahap pelaksanaan selalu terjadi perubahan yang mengakibatkan keterlambatan penyelesaian akhir proyek. Untuk mengatasi permasalahan tersebut maka diperlukan sebuah metode penjadwalan yang sensitive, artinya dapat mengungkapkan dan mendeteksi penyimpangan sedini mungkin yang kemudian mengambil tindakan untuk dilakukan perbaikan dengan merencanakan sumber daya yang efektif dan efisien dalam mencapai sasaran

Penggunaan metode pengendalian yang sering digunakan saat ini adalah *Earned Value Concept* yang berfokus pada biaya dan dalam mengukur kinerja penjadwalan proyek yaitu dengan menganalisis kurun waktu yang telah dipakai (schedule) dibandingkan dibandingkan dengan biaya (cost). Sedangkan dengan menggunakan metode *Critical Chain Project Management* berfokus pada jadwal dan dalam mengukur kinerja penjadwalan proyek yaitu dengan menganalisis sisa waktu yang tersedia sehingga diharapkan penggunaan metode *Critical Chain Project Management* lebih sensitive, relevan dan efektif dalam mengendalikan kinerja proyek.

Alur kerangka berpikir secara umum dapat dilihat melalui struktur diagram pada gambar 2.44.



Gambar 2.44 Alur Kerangka Berpikir

Sumber: Olahan

2.6.2 Hipotesis

Berdasarkan kerangka pemikiran yang disusun dari studi literatur pada penelitian ini dapat diambil hipotesis sebagai berikut ;

“Penerapan metode *Critical Chain Project Management* pada penjadwalan proyek konstruksi dapat mengoptimalisasi dan mengendalikan kinerja waktu proyek”.

2.7 Kesimpulan

Critical Chain Project Management (CCPM) adalah metode penjadwalan dan pengendalian proyek yang dikembangkan dari sebuah metodologi yang disebut *Theory of Constraints* (TOC), *Critical Chain Project Management* didefinisikan sebagai rantai terpanjang dari kejadian - kejadian yang saling berkaitan, dimana keterkaitan satu sama lain tersebut terletak pada pekerjaan atau sumber daya yang saling berhubungan. Persyaratan dalam metode *Critical Chain Project*

Management ini adalah tidak adanya *multitasking*, menghilangkan hidden safety dan memindahkannya dalam bentuk *buffer* di belakang proyek (*buffer management*), dan menitik beratkan pada penyelesaian akhir proyek.

Metodologi dengan manajemen *buffer* digunakan untuk mengintegrasikan pekerjaan-pekerjaan dengan batasan-batasan (konstrains) terhadap ketersediaan sumber daya yang menjadi penyebab terjadinya penundaan/keterlambatan pelaksanaan di dalam proyek konstruksi. Manajemen *buffer* menyediakan suatu alat antisipasi yang jelas untuk mengukur kinerja proyek. Dimana diperlihatkan pada sejauh mana *penetrasi buffer* terhadap suatu interval waktu, yang nantinya akan memberi suatu pandangan perspektif dari tingkat konsumsi buffer.

