

## **BAB II**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

#### **2.1 Pendahuluan**

Bab ini berisikan landasan pengetahuan, konsep, maupun teori dari berbagai literatur yang digunakan sebagai dasar atau alat untuk pemecahan masalah dalam penelitian tentang optimasi waktu dan biaya dalam proyek Solo Grand Mall, dengan menggunakan metode jaringan kerja Precedence Diagram Method sebagai alat penjadwalannya.

Pembangunan suatu proyek, dalam hal ini adalah Solo Grand Mall, mempunyai perencanaan yang matang. Suatu proyek dapat selesai:

1. Lebih cepat dari rencana semula
2. Sesuai dengan rencana semula.
3. Lebih lambat dari rencana semula.

Dengan adanya tiga kemungkinan waktu penyelesaian proyek seperti diatas, hal ini berarti besarnya biaya yang dikeluarkan akan berbeda-beda pula.

Pada prinsipnya, apapun yang terjadi pengelola selalu menginginkan pengeluaran biaya yang tetap minimum dengan tetap menjaga kualitas dari proyek. Hal ini dicapai apabila rencana dan pengendalian waktu-biaya proyek dikendalikan secara teratur.

Ada banyak faktor yang mempengaruhi durasi pekerjaan yang dilakukan. Faktor-faktor yang mempengaruhi:

- Kuantitas
- Peralatan
- Material
- Waktu
- Biaya

- Metode Pelaksanaan
- Sumber Tenaga Kerja (SDM)

Bab ini akan menguraikan bahwa di dalam perencanaan awal suatu proyek disamping variabel waktu dan sumber daya, maka variabel biaya (*cost*) tak dapat dilupakan peranan pentingnya. Biaya (*cost*) merupakan salah satu aspek yang penting dalam manajemen, dimana biaya yang mungkin timbul harus dikendalikan seminimum mungkin. Pengendalian biaya harus memperhatikan faktor waktu, karena terdapat hubungan yang erat antara waktu penyelesaian proyek dengan biaya-biaya proyek yang bersangkutan atau aktivitas pendukungnya.

Usaha untuk membuat perkiraan jadwal proyek yang paling ekonomis dalam pekerjaan konstruksi tidak akan dapat berhasil tanpa perencanaan dan penjadwalan waktu yang baik. Salah satu metode yang handal guna memenuhi kebutuhan tersebut adalah metode jaringan kerja. Selain lebih dikenal secara luas metode ini juga mempunyai keunggulan-keunggulan antara lain yaitu mudah dipahami, fleksibel, dan dapat memberikan info yang jelas mengenai keterkaitan antar kegiatan dan tahap waktu kegiatan berlangsung.

Sebelum membuat perkiraan jadwal proyek, menurut Shtub dan F. Bard (1994), ada beberapa pertanyaan yang dapat membantu, yaitu :

- a. Jika setiap aktivitas tidak mengikuti rencana, kapan waktu penyempurnaannya?
- b. Kegiatan kritis mana yang dapat menjamin kesempurnaan waktu proyek?
- c. Kegiatan mana yang dapat ditunda dan berapa biayanya?
- d. Kapan waktu mulai dan berakhirnya suatu kegiatan?
- e. Apakah mungkin mengeluarkan biaya lebih untuk mempercepat waktu beberapa aktifitas?

## 2.2 Analisa Waktu

Supaya suatu proyek dapat berjalan dengan lancar serta efektif, maka diperlukan pengaturan waktu atau penjadwalan dari kegiatan-kegiatan yang terlibat di dalamnya.

Sehubungan dengan itu maka pihak pelaksana dari suatu proyek biasanya membuat suatu jadwal waktu kegiatan (*Time Schedule*).

Jadwal kegiatan adalah urutan-urutan kerja yang berisi antara lain:

- Jenis pekerjaan yang akan dilaksanakan.
- Waktu dimana suatu pekerjaan dimulai dan diakhiri.
- Urutan dari pekerjaan.

Dengan adanya jadwal waktu ini pimpinan proyek dapat mengetahui dengan jelas rencana kerja yang akan dilaksanakan, sehingga kelangsungan atau kontinuitas proyek dapat dipelihara. Hal ini memudahkan pimpinan proyek untuk mengkoordinasikan unit-unit pekerjaan sehingga diperoleh efisiensi kerja yang tinggi (Suharto, 1995).

Tujuan dari pembuatan jadwal waktu ini, antara lain untuk:

- Dipakai sebagai pedoman pelaksanaan guna memudahkan pekerjaan agar dapat berjalan lancar dan mencapai sasaran yang telah digariskan.
- Memperkirakan alokasi sumber daya yang harus disediakan setiap kali diperlukan, agar proyek dapat berjalan lancar dan efektif.
- Mengontrol kemajuan pekerjaan, sehingga bila ada keterlambatan di dalam pelaksanaan pekerjaan dapat diketahui untuk mengambil tindakan penanggulangan.
- Menentukan lamanya target waktu yang diminta oleh pemilik agar dapat terpenuhi.
- Mengetahui urutan dari masing-masing pekerjaan.
- Sebagai alat pengendali proyek.

### 2.2.1 Durasi Normal Kegiatan

Durasi normal kegiatan adalah jangka waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan kegiatan dengan tingkat produktifitas kerja yang normal, yaitu sesuai dengan sumberdaya dan kemampuan yang ada pada saat itu. Untuk menentukan durasi banyak faktor-faktor yang harus diperhatikan antara lain (Suharto,1995) :

- Jenis kegiatan
- Setiap kegiatan mempunyai karakteristik tersendiri sehingga harus ditangani secara tersendiri pula. Semakin sulit penanganannya maka semakin lama durasi yang dibutuhkan.
- Metode yang digunakan
- Penggunaan sumber daya (tenaga kerja, material, dan peralatan) tergantung pada metode pelaksanaan yang dipakai. Dengan demikian penggunaan metode pelaksanaan yang berbeda dapat menghasilkan durasi kegiatan yang berbeda pula.
- Situasi dan kondisi lapangan, dimaksudkan untuk mengetahui hambatan-hambatan atau kemudahan-kemudahan yang terdapat di lapangan. Misalnya medan proyek yang berat, terpencil atau pada ketinggian yang lebih tinggi akan memperlambat pelaksanaan kegiatan.
- Lokasi sumber daya
- Semakin dekat lokasi sumber daya dengan lokasi proyek akan memperlancar pelaksanaan suatu kegiatan sehingga waktu pelaksanaannya lebih singkat.
- Faktor cuaca yang akan berpengaruh terhadap prestasi kerja. Iklim dan cuaca yang jelek akan memperlambat penyelesaian kegiatan. Seperti contohnya apabila hujan terus menerus sehingga mengakibatkan pekerjaan seperti penghamparan aspal untuk pekerjaan jalan terhambat.
- Dana material yang tersedia

- Durasi kegiatan akan lebih lama bila dana yang masuk ke dalam kas perusahaan tersendat-sendat. Begitu juga akan mengakibatkan tersendatnya material yang masuk.
- Macam dan volume pekerjaan yang akan dilaksanakan. Volume pekerjaan yang lebih besar membutuhkan durasi yang lebih lama. Volume ini dapat dihitung dari dokumen rencana kerja dan syarat-syarat yang diberikan oleh pemilik proyek.
- Sosial dan politis
- Termasuk dalam bagian ini adalah peraturan pemerintah dibidang tenaga kerja.
- Sumber daya yang dimiliki oleh pelaksana seperti tenaga kerja, kemampuan dan keterampilan tenaga kerja serta kapasitas alat-alat kerja. Yang perlu ditinjau disini adalah produktifitas tenaga kerja dengan faktor-faktor yang mempengaruhinya: kualitas dan kuantitas tenaga kerja, efesiensi tenaga kerja, jam kerja, kondisi lingkungan, dan lain-lain.

### 2.2.2 Durasi Kegiatan Dipercepat

Pada awalnya yaitu pada saat proyek direncanakan, durasi kegiatan direncanakan dengan sumberdaya yang tersedia (sumber daya normal). Bila kemudian hari penyelesaian pekerjaan ingin dipercepat karena alasan tertentu maka ada beberapa cara, yaitu:

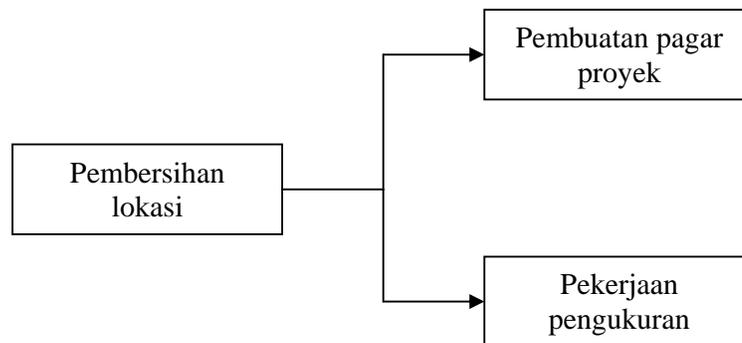
1. Perubahan logika jaringan kegiatan
  - a. Kegiatan seri dijadikan kegiatan paralel

Diambil potongan suatu jaringan kegiatan berikut:



Gambar 2.1 Kegiatan Seri

Dari kegiatan diatas dapat dilihat bahwa kegiatan pengukuran dapat dilaksanakan bila pembuatan pagar proyek telah selesai. Namun pekerjaan pengukuran dapat dilaksanakan bersamaan dengan pembuatan pagar proyek. Sehingga waktu penyelesaian pekerjaan untuk potongan jaringan kegiatan itu dapat dipersingkat seperti gambar dibawah ini.



Gambar 2.2 Kegiatan paralel

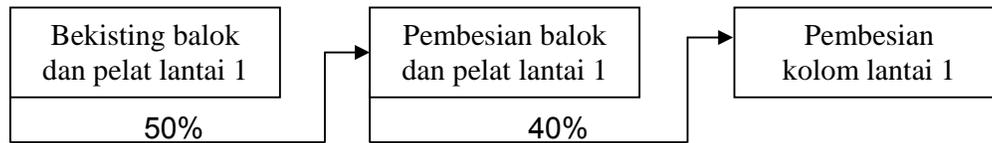
b. Kegiatan seri dijadikan kegiatan *overlap*

Pekerjaan bekisting balok dan pelat lantai 1 diselesaikan pada area kerja, lalu diikuti oleh pelaksanaan pekerjaan pembesian balok dan pelat lantai 1, dengan jaringan kegiatan sebagai berikut:



Gambar 2.3 Kegiatan seri

Bila pekerjaan diatas dibagi-bagi atas beberapa lokasi/seksi sehingga pekerjaan bekisting balok dan pelat lantai dapat dilaksanakan secara overlap dengan pekerjaan pembesian balok dan pelat lantai, maka waktu penyelesaian kegiatan itu dapat dipersingkat.



Gambar 2.4 Kegiatan Overlap

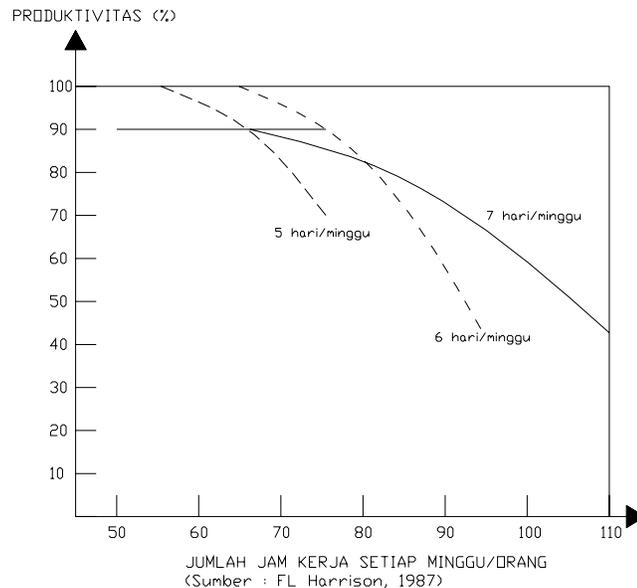
Maksud dari kegiatan overlap diatas : Disaat kegiatan bekisting balok dan pelat lantai 1 sudah berlangsung 50%, kegiatan pembesian balok dan pelat lantai dimulai. Kemudian disaat kegiatan pembesian balok dan pelat lantai 1 berlangsung 40%, kegiatan pembesian kolom lantai 1 dimulai.

## 2. Penambahan Sumberdaya

Penambahan sumberdaya dapat dilakukan dengan cara:

### a. Penambahan jam kerja

Kerja lembur dapat dilakukan dengan cara menambah jam kerja setiap hari, tanpa menambah jumlah tenaga kerja. Kerja lembur ini mengandung bahaya dan pekerjaan akan sangat berat. Oleh sebab itu kerja lembur harus mendapat tambahan yang lebih besar dari pada upah kerja normal, biasanya 1,5 sampai 2 kali upah kerja normal. Selain itu perlu disediakan peralatan tambahan lainnya seperti lampu, keamanan kerja, fasilitas kesehatan dan peningkatan pengawasan kualitas akibat menurunnya kemampuan kerja para tenaga kerja. Menurunnya kemampuan kerja pada kerja lembur dapat dilihat pada gambar dibawah ini.



Gambar 2.5 Produktivitas Kerja Lembur

Dari gambar diatas, dapat disimpulkan bahwa jumlah jam kerja berbanding terbalik dengan produktivitas pekerja. Sehingga semakin banyaknya jumlah jam kerja, semakin menurun produktivitasnya.

b. Pembagian giliran kerja

Membuat giliran kerja hampir sama dengan penambahan jam kerja. Namun disini terjadi penambahan jumlah pekerja, karena unit pekerja giliran pagi sampai sore berbeda dengan unit pekerja giliran sore sampai malam. Dengan demikian dianggap produktivitas kerja hampir sama. Untuk menjaga agar produktivitas itu tetap maka:

- Giliran kerja dirotasikan secara tetap
- Diusahakan suatu upaya agar seorang pekerja dapat bekerja sama dengan menghasilkan produktivitas yang tinggi.

c. Penambahan tenaga kerja

Penambahan tenaga kerja dimaksudkan sebagai penambahan jumlah pekerja dalam satu unit pekerja untuk melaksanakan suatu kegiatan tanpa menambah jam kerja. Penambahan tenaga kerja yang optimum akan meningkatkan produktivitas kerja, namun

penambahan yang terlalu banyak justru menurunkan produktivitas kerja karena terlalu sempitnya lahan untuk bekerja atau karena hal-hal lain, untuk itu perlu diperhatikan hal-hal sebagai berikut:

- Daya tampung tempat untuk menampung jumlah tenaga kerja
- Kemudahan/kekeluasaan dalam melaksanakan pekerjaan
- Pengawasan terhadap tenaga kerja
- Keamanan kerja

d. Penambahan / penggantian peralatan

Penambahan/penggantian peralatan dimaksudkan untuk menambah produktivitas kerja, mendapatkan ketelitian kerja yang lebih dan mengurangi jumlah tenaga kerja manusia.

Penambahan alat perlu memperhatikan faktor-faktor berikut:

- Penambahan operator dan mekanik peralatan
- Daya tampung tempat
- Biaya dan waktu yang diperlukan untuk mobilisasi dan demobilisasi peralatan.

e. Penggantian atau perbaikan metode kerja

Penggantian atau perbaikan metode kerja dilakukan bila metode yang sudah dilakukan terlalu lambat dan tidak efisien. Misalnya pengadukan campuran beton secara manual akan memakan waktu yang lebih lama dari pada menggunakan beton molen. Namun penggantian metode kerja kadang kala juga merubah logika jaringan kegiatan atau bahkan jenis kegiatannya sendiri.

f. Konsentrasi pada kegiatan tertentu

Percepatan penyelesaian proyek dapat dilakukan dengan melakukan konsentrasi khusus pada kegiatan –kegiatan dalam jalur kritis. Konsentrasi ini diartikan sebagai penambahan/pemindahan tenaga kerja dan atau peralatan pada kegiatan itu. Hal-hal yang perlu diperhatikan adalah:

- Pemindahan tenaga kerja ke kegiatan baru akan menurunkan produktivitas kerja pada awalnya karena ada fase belajar.

- Keterlambatan kegiatan non kritis tidak melebihi *float* yang dimilikinya.
  - Penambahan tenaga kerja dan atau peralatan ke kegiatan kritis harus memperhatikan jumlah optimumnya.
- g. Kombinasi dari alternatif yang ada

Dalam pelaksanaannya, percepatan durasi ini dapat dilakukan dengan mengkombinasikan alternatif-alternatif yang ada sehingga menghasilkan suatu cara yang sesuai dengan proyek itu . Terutama sekali pada proyek-proyek besar yang mempunyai banyak kegiatan.

Dari dasar-dasar pertimbangannya diatas, maka dapat dibuat uraian pekerjaan, urutannya serta waktu pelaksanaannya.

Cara penyajian mengenai teknik pengelolaan jadwal kegiatan yang ada di dalam proyek menggunakan PDM (*Precedence Diagram Method*).

### **2.3 PDM (*Precedence Diagram Method*)**

Pada PDM yang digunakan adalah *Activity On Node* (AON) dimana tanda panah hanya menyatakan keterkaitan antara kegiatan. Kegiatan-kegiatan tersebut ditulis dalam bentuk node yang berbentuk kotak segi empat, sedangkan anak panahnya hanya sebagai petunjuk kegiatan-kegiatan yang bersangkutan. Dengan demikian *dummy* tidak diperlukan (Iman Soeharto, 1995). Ruangan dalam node dibagi menjadi kompartemen-kompartemen kecil yang berisi keterangan spesifik dari kegiatan dan peristiwa yang bersangkutan dan dinamakan atribut. Pengaturan denah (layout) kompartemen dan macam serta jumlah atribut yang hendak dicantumkan bervariasi sesuai keperluan dan keinginan pemakai. Beberapa atribut yang sering dicantumkan diantaranya adalah kurun waktu kegiatan (D), identitas kegiatan (nomor dan nama), mulai dan selesainya kegiatan (ES,LS,EF,LF dan lain-lain).

Kadang-kadang didalam kotak node dibuat kolom kecil dibuat kolom kecil sebagai tempat mencantumkan tanda persen (%)

penyelesaian pekerjaan. Kolom ini akan membantu mempermudah mengamati dan memonitor progress pelaksanaan kegiatan.

Nomor Urut				Nomor dan Nama Kegiatan	
ES	Nama kegiatan	Kurun waktu (D)	EF	Tgl. Mulai: ES/LS	Kurun waktu (D)
LS	(tanggal)	(tanggal)	LF	Tgl. Selesai: EF/LF	Float total (F)
Progress Penyelesaian (%)					

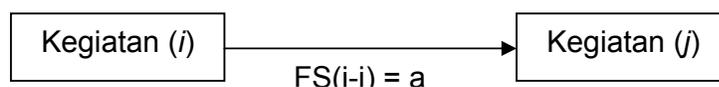
Gambar 2.6 Denah yang lazim pada node PDM

**Konstrain, Lead, dan Lag**

PDM tidak terbatas pada aturan dasar jaringan kerja CPM (kegiatan boleh mulai setelah kegiatan yang mendahuluinya selesai), maka hubungan antar kegiatan berkembang menjadi beberapa kemungkinan berupa konstrain. Konstrain menunjukkan hubungan antar kegiatan dengan satu garis dari node terdahulu ke node berikutnya. Satu konstrain hanya dapat menghubungkan dua node. Karena setiap node memiliki dua ujung, yaitu ujung awal atau mulai = (S) dan ujung akhir atau selesai = (F), maka ada empat macam konstrain, yaitu awal ke awal (SS), awal ke akhir (SF), akhir ke akhir (FF), akhir ke awal (FS). Pada garis konstrain dibubuhkan penjelasan mengenai waktu mendahului (*lead*) atau terlambat tertunda (*lag*).

**Konstrain Selesai ke Mulai (FS)**

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Dirumuskan sebagai FS (*i-j*) = *a* yang berarti kegiatan (*j*) mulai *a* hari, setelah kegiatan yang mendahuluinya (*i*) selesai.



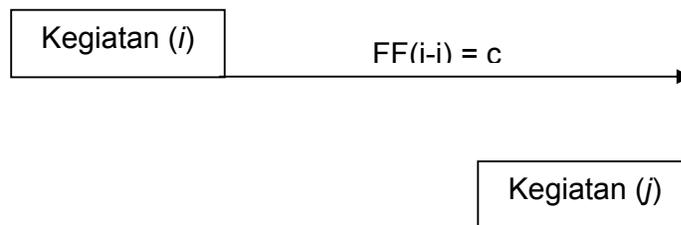
### Konstrain Mulai ke Mulai (Start-Start)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara mulainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Atau  $SS(i-j) = b$  yang berarti kegiatan ( $j$ ) mulai setelah  $b$  hari kegiatan yang terdahulu ( $i$ ) mulai.



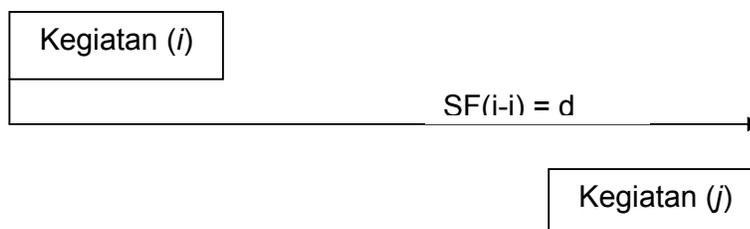
### Konstrain Selesai ke Selesai (Finish-Finish)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara selesainya suatu kegiatan dengan selesainya kegiatan terdahulu. Atau  $FF(i-j) = c$  yang berarti kegiatan ( $j$ ) mulai setelah  $c$  hari kegiatan yang terdahulu ( $i$ ) selesai.



### Konstrain Mulai ke Selesai (Start-Finish)

Konstrain ini memberikan penjelasan hubungan antara selesainya suatu kegiatan dengan mulainya kegiatan terdahulu. Dituliskan dengan  $SF(i-j) = d$  yang berarti kegiatan ( $j$ ) selesai setelah  $d$  hari kegiatan yang ( $i$ ) terdahulu mulai.



*Catatan :*

*b dan d disebut lead time*

*a dan c disebut lag rime*

### Identifikasi Jalur Kritis

Dengan adanya parameter yang bertambah banyak, perhitungan untuk mengidentifikasi kegiatan dan jalur kritis akan lebih kompleks karena semakin banyak factor yang perlu diperhatikan. Untuk maksud tersebut, dikerjakan analisis serupa dengan metode AOA atau CPM, dengan memperhatikan konstrain yang terkait.

#### Hitungan Maju

Berlaku dan ditujukan untuk hal-hal sebagai berikut :

- Menghasilkan ES,EF dan kurun waktu penyelesaian proyek.
- Diambil angka ES terbesar bila lebih satu kegiatan bergabung.
- Notasi (  $i$  ) bagi kegiatan terdahulu (predecessor) dan (  $j$  ) kegiatan yang sedang ditinjau.
- Waktu awal dianggap nol ( 0 ).

1. Waktu mulai paling awal dari kegiatan yang sedang ditinjau ES (  $j$  ) adalah sama dengan angka terbesar dari jumlah angka kegiatan terdahulu ES (  $i$  ) atau EF(  $i$  ) ditambah konstrain yang bersangkutan. Karena terdapat empat konstrain, maka bila ditulis dengan rumus menjadi :

$$ES(j) = \left| \begin{array}{l} \text{Pilih angka} \\ \text{terbesar dari} \end{array} \right| \left| \begin{array}{l} ES(i)+SS(i-j) \\ \text{atau} \\ ES(i)+SF(i-j) - D(j) \\ \text{atau} \\ EF(i)+FS(i-j) \\ \text{atau} \\ EF(i)+FF(i-j) - D(j) \end{array} \right|$$

2. Angka waktu selesai paling awal kegiatan yang sedang ditinjau EF(  $j$  ), adalah sama dengan angka waktu mulai paling awal kegiatan tersebut ES (  $j$  ), ditambah kurun waktu kegiatan yang bersangkutan D (  $j$  ).

$$EF(j) = ES(j) + D(j)$$

### Hitungan Mundur

Berlaku dan ditujukan untuk hal-hal sebagai berikut :

- Menentukan LS, LF dan kurun waktu float.
- Bila lebih dari satu kegiatan bergabung diambil angka LS terkecil.
- Notasi (  $i$  ) bagi kegiatan yang sedang ditinjau sedangkan (  $j$  ) adalah kegiatan berikutnya.

$$LF(i) = \begin{array}{|l} \text{Pilih angka} \\ \text{terkecil dari} \end{array} \begin{array}{|l} LF(j)-FF(i-j) \\ \text{atau} \\ LS(j)-FS(i-j) \\ \text{atau} \\ LF(j)-SF(i-j)+D(i) \\ \text{atau} \\ LS(j)-SS(i-j) + D(j) \end{array}$$

1. Hitung LF (  $i$  ), waktu selesai paling akhir kegiatan (  $i$  ) yang sedang ditinjau, yang merupakan angka terkecil dari jumlah kegiatan LS dan LF ditambah konstrain yang bersangkutan.
2. Waktu mulai paling akhir kegiatan yang sedang ditinjau LS(  $i$  ), adalah sama dengan waktu selesai paling akhir kegiatan tersebut LF (  $i$  ), dikurangi kurun waktu kegiatan yang bersangkutan D (  $i$  ).

$$LS(i) = LF(i) - D(i)$$

### Jalur dan Kegiatan Kritis

Jalur dan kegiatan kritis PDM mempunyai sifat sama seperti CPM atau AOA, yaitu :

- Waktu mulai paling awal dan akhir harus sama (ES = LS)
- Waktu selesai paling awal dan akhir harus sama (EF = LF)
- Kurun waktu kegiatan adalah sama dengan perbedaan waktu selesai paling akhir dengan waktu mulai paling awal (LF – ES = D)
- Bila hanya sebagian dari kegiatan bersifat kritis, maka kegiatan tersebut secara utuh dianggap kritis.

## 2.4 Proses Mempercepat Kurun Waktu

Menurut Shtub dan F. Bard (1994), *Crashing* adalah suatu cara mempersingkat waktu dari aktifitas pekerjaan dengan menambah sumber daya dan biaya langsung. Pada saat *crashing* harus ditetapkan aktifitas mana dan berapa besar biaya aktifitas tersebut.

Dalam rangka percepatan waktu kita membutuhkan informasi berikut ini untuk tiap-tiap pekerjaan:

1. Penaksiran biaya yang dibutuhkan masing-masing pekerjaan dalam situasi normal.
2. Penyelesaian waktu proyek dalam kondisi percepatan, yaitu waktu paling singkat yang dapat dilakukan dibawah kondisi percepatan.
3. Penaksiran biaya pekerjaan dalam kondisi percepatan.

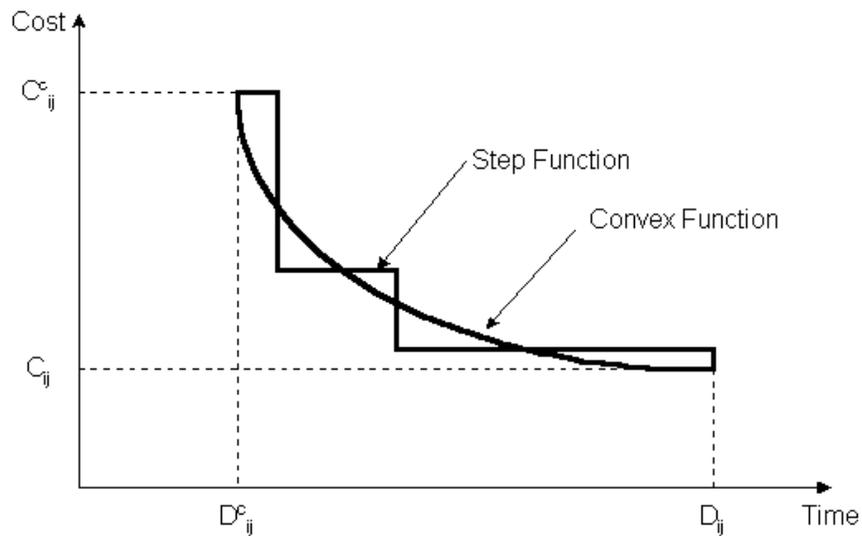
Untuk menganalisa proses mempersingkat durasi digunakan asumsi sebagai berikut :

- a. Jumlah sumber daya yang tersedia tidak merupakan kendala. Ini berarti dalam menganalisa program mempersingkat durasi, alternatif yang akan dipilih tidak dibatasi oleh tersedianya sumberdaya.
- b. Bila diinginkan waktu kegiatan lebih cepat dengan lingkup yang sama, maka keperluan sumberdaya akan bertambah. Sumber daya ini dapat berupa tenaga kerja, material, peralatan, atau bentuk lain yang dinyatakan dalam jumlah dana.

Jadi tujuan utama dari program mempersingkat durasi adalah memperpendek jadwal penyelesaian kegiatan atau proyek dengan kenaikan biaya yang minimal.

Hendrickson (1998) menyatakan bahwa pelaksanaan konstruksi yang dipercepat akan menghasilkan biaya yang besar, dan kualitas yang lebih rendah. Alasan mengapa biaya bertambah bila durasi dikurangi adalah pada kerja lembur. Dengan menjadwalkan kerja pada hari libur dan malam hari, waktu penyelesaian sesuai dengan hari kalender akan berkurang. Akan tetapi upah lembur yang besarnya lebih dari upah biasa

harus dibayarkan, sehingga biaya akan bertambah. Selain itu, kerja lembur rentan terhadap kecelakaan dan masalah kualitas yang harus dikoreksi sehingga biaya tidak langsung akan bertambah. Pada umumnya, tidak diharapkan adanya hubungan linear antara durasi dan biaya langsung, tapi fungsi parabola (*convex function*) seperti kurva nonlinear atau fungsi bertingkat (*step function*).



Gambar 2.7 Ilustrasi Non-linear Time/Cost Trade Offs untuk suatu kegiatan (Sumber : Hendrickson, 1998).

## 2.5 Perkiraan Biaya Proyek

Perkiraan biaya proyek memegang peranan penting dalam penyelenggaraan proyek. Pada tahap pertama digunakan untuk mengetahui berapa besarnya biaya yang diperlukan untuk membangun suatu protek investasi. Pada tahap selanjutnya dapat untuk merencanakan dan mengendalikan sumber daya seperti material, tenaga kerja, pelayanan, maupun waktu. Bagi *owner*, angka yang menunjukkan jumlah perkiraan biaya menjadi salah satu patokan untuk menentukan kelanjutan investasi. Untuk kontraktor, keuntungan financial yang diperoleh tergantung pada seberapa jauh kecakapannya membuat perkiraan biaya.

### 2.5.1 Modal Tetap

Modal tetap adalah bagian dari biaya proyek yang dipakai untuk membangun instalasi atau menghasilkan produk proyek yang direncanakan mulai dari pengeluaran studi kelayakan, desain engineering, pengadaan, fabrikasi, konstruksi, sampai instalasi atau produk tersebut berfungsi penuh. Untuk selanjutnya modal tetap dibagi menjadi 2, yaitu :

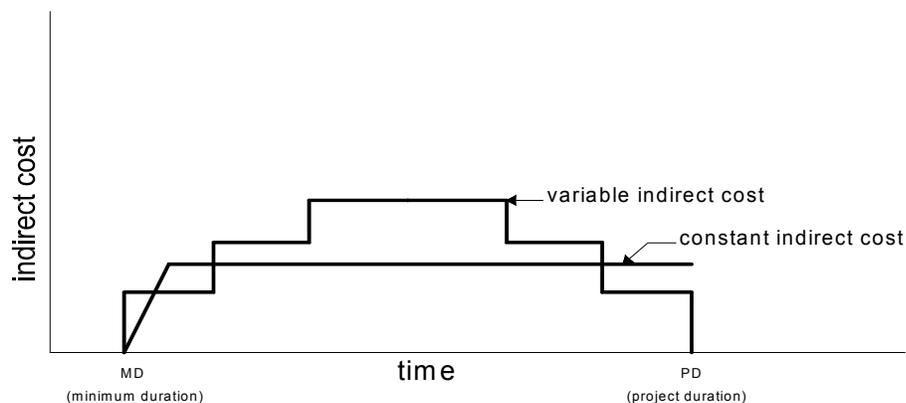
#### 1. Biaya langsung (*Direct Cost*)

Biaya langsung adalah biaya untuk segala sesuatu yang akan menjadi komponen permanen hasil akhir proyek. Biaya langsung terdiri dari :

- Penyiapan lahan (site preparation) .
- Pengadaan peralatan utama.
- Biaya merakit dan memasang peralatan utama.
- Alat-alat listrik dan instrumen.
- Pembangunan gedung perkantoran, control room, gudang dan bangunan sipil lainnya.
- Fasilitas pendukung seperti utility dan offsite.
- Pembebasan tanah.

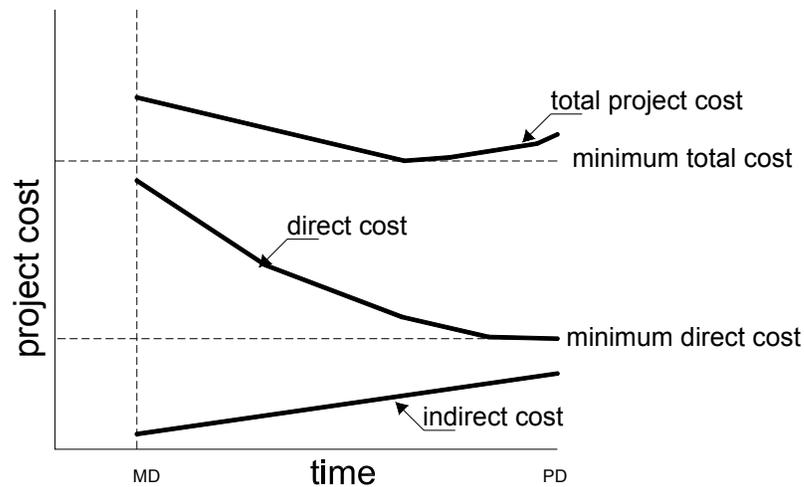
#### 2. Biaya tidak langsung (*Indirect Cost*)

Menurut T. Callahan dan E. Rowing (1992), biaya tidak langsung adalah biaya yang seringkali merupakan fungsi waktu.



Gambar 2.8 Indirect Cost Time Relationship (Sumber : E. Rowing, 1992).

Pada gambar 2.8 merupakan gambaran 2 type *indirect cost* . Type pertama adalah *indirect cost* yang didefinisikan sebagai biaya *overhead* dan *office trailer*. Type yang kedua adalah *indirect cost variable* yang meliputi pembersihan site, keamanan, asuransi alat-alat yang digunakan di lapangan dan alat-alat yang disewa sementara, gaji tetap dan tunjangan, kontingensi laba, *overhead*.



Gambar 2.9 Kurva Hubungan Direct Cost dengan Indirect Cost

Jadi total biaya proyek adalah sama dengan jumlah *direct cost* ditambah *indirect cost*. Kedua-duanya berubah sesuai dengan waktu dan kemajuan proyek. Meskipun tidak dapat diperhitungkan dengan rumus tertentu, tetapi pada umumnya makin lama proyek berjalan maka makin tinggi komulatif *indirect cost* yang diperlukan. Gambar..menunjukkan hubungan tiga macam biaya tersebut. Terlihat bahwa biaya optimal dapat dicapai dengan mencari total biaya proyek terkecil.

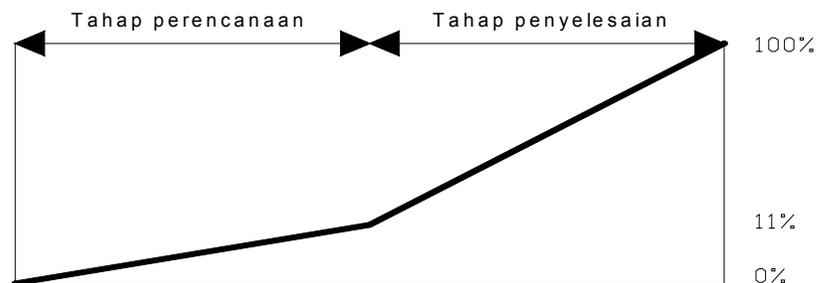
### 2.5.2 Modal Kerja (*Working Capital*)

Adalah suatu biaya yang diperlukan untuk menutupi kebutuhan pada tahap awal operasi, yang meliputi : biaya pembelian bahan kimia,

minyak pelumas, dan material serta bahan operasi lainnya. Biaya persediaan bahan mentah dan produk serta upah tenaga kerja pada masa awal operasi.

## 2.6 Hubungan Biaya – Waktu Pelaksanaan

Biaya bagian terbesar yang dikeluarkan untuk terwujudnya suatu proyek dikeluarkan pada tahap pelaksanaan (S. Barrie dan C. Paulson, 1990).



Gambar 2.10 Tahap-tahap dalam Proyek

Pada tahap perencanaan, penyusun mengambil nilai prosentase biaya proyek untuk setiap perencanaan sebesar kurang dari 11%, nilai ini sebenarnya hanya dipakai pada proyek-proyek pemerintah. Sedangkan pada proyek-proyek non pemerintah nilai bakunya tidak ada, hanya berkisar pada nilai di atas. (Pedoman Penyelenggaraan Pembangunan Gedung 1991-1992).

Adapun ketergantungan antara biaya yang dikeluarkan terhadap waktu pelaksanaan proyek sehingga memerlukan penjadwalan kegiatan-kegiatan secara optimum karena itu biaya yang dikeluarkan ,menjadi minimum.

### 2.6.1 Perkiraan Waktu – Biaya Pelaksanaan

Suatu proyek konstruksi pada umumnya secara fisik semakin banyak alat dan jumlah tenaga kerja yang dipakai maka semakin cepat pula waktu pelaksanaan dari proyek tersebut. Demikian pula halnya apabila dilakukan penambahan jam kerja (mempertinggi produktivitas jam kerja) akan mempercepat waktu penyelesaian proyek tersebut.

Akan tetapi penambahan jumlah peralatan yang dipakai serta jumlah tenaga kerja yang banyak tetap ada batasnya yaitu tergantung pada luas daerah kerja yang ada. Disamping itu, waktu pelaksanaan yang paling singkat tidaklah menjamin kualitas mengingat adanya biaya tambahan yang harus dikeluarkan. Oleh karena itu perlu kiranya waktu konstruksi paling ekonomis (optimum), sehingga pada kondisi ini biaya konstruksi total yang dikeluarkan menjadi paling minimal.

Untuk mencari hubungan waktu dan biaya pelaksanaan yang optimal dari suatu proyek konstruksi pada prakteknya tidaklah begitu mudah. Akan tetapi secara teoritis pemecahan dari keadaan di atas pasti diantara dua keadaan ekstrim sebagai berikut :

1. Perkiraan dengan biaya termurah ( The Least Cost Solution ).
2. Perkiraan dengan waktu tersingkat ( The Least Time Solution ).

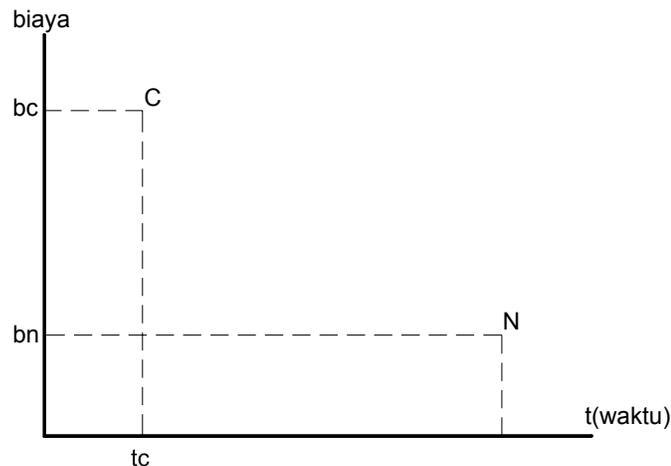
Perkiraan dengan waktu tersingkat adalah suatu kegiatan dimana semua kegiatan diselesaikan dalam waktu yang singkat dengan biaya minimum. Untuk mendapatkan waktu yang sesingkat mungkin, sebagian besar kegiatan dalam pelaksanaan proyek harus dipercepat waktu pengerjaannya. Tetapi hal ini tidaklah berarti bahwa seluruh aktifitas yang ada pada proyek harus dipercepat untuk mendapatkan pemecahan waktu yang tersingkat.

Untuk kasus dimana semua kegiatan yang terlibat pada proyek dipercepat waktu konstruksinya, hal ini disebut *All Crashed Solution*. Solusi ini memerlukan biaya yang selalu lebih besar jika dibandingkan terhadap pemecahan dengan waktu yang tersingkat. Membandingkan

kedua hal ini, maka keadaan *All Crashed Solution* merupakan kondisi yang tidak ekonomis.

Hal terpenting yang diperlukan untuk mencari hubungan antara waktu dan biaya konstruksi paling ekonomis adalah kurva yang menggambarkan hubungan antara biaya langsung dengan waktu penyelesaian (kegiatan).

Dua keadaan perkiraan yang sudah disebutkan diatas yaitu perkiraan dengan biaya termurah dan perkiraan waktu yang tersingkat, jika digambarkan pada susunan sumbu salib, maka akan didapatkan dua titik keadaan.

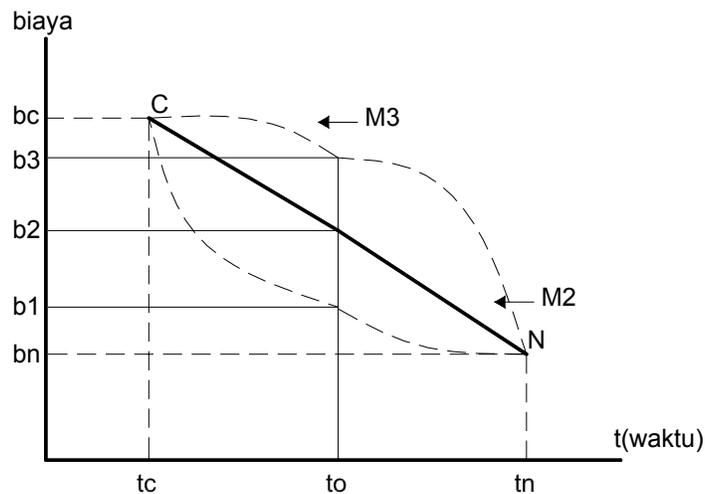


Gambar 2.11 Kurva perkiraan biaya langsung-waktu kegiatan

Titik N menunjukkan keadaan perkiraan normal, yaitu kegiatan diselesaikan dalam waktu normal dan biaya normal. Keadaan ini menunjukkan tidak ada penambahan alokasi sumber daya dari luar untuk mempercepat kegiatan.

Sedangkan titik C menunjukkan keadaan perkiraan *crash program*, yaitu aktifitas atau kegiatan diselesaikan dalam waktu yang tersingkat yang dapat dicapai. Pada keadaan *crash program* ini diperlukan alokasi sumber daya dari luar secara maksimal. Dari kedua keadaan ekstrim seperti terlihat pada gambar dimuka, ditarik suatu bentuk garis singgung antara titik normal dan titik *crash program* tersebut.

Ada tiga kemungkinan bentuk garis untuk menghubungkan dua titik tersebut :



Gambar 2.12 Kurva Kemungkinan

### Model I

Bentuk garis hubung antara titik N dan titik C yang digambarkan oleh garis M1. Pada keadaan ini mempercepat jadwal kegiatan dari  $t_n$  ke  $t_o$  dan akan menaikkan harga langsung kegiatan terbut dari  $b_n$  ke  $b_1$ . Kenaikkan biaya yang terjadi besarnya relatif lebih kecil jika dibandingkan dengan berkurangnya waktu.

### Model II

Bentuk garis hubung antara titik N dan titik C seperti yang digambarkan oleh garis M2, yaitu berupa garis lurus. Keadaan ini mempercepat penyelesaian kegiatan dari  $t_n$  ke  $t_o$  dan akan menaikkan biaya langsung kegiatan menjadi  $b_2$ . Besarnya pertambahan biaya untuk mempercepat kegiatan terlihat berbanding secara vlin ier dengan berkurangnya waktu kegiatan.

### Model III

Bentuk garis asumsi dibuat berupa garis lengkung seperti yang digambarkan oleh garis M3. Pada kegiatan ini terlihat kenaikan biaya percepatan relatif besar jika dibandingkan dengan berkurangnya waktu

kegiatan. Percepatan kegiatan seperti ini adalah tindakan mahal dan hanya diusahakan jika semua kegiatan lain mempunyai kurva waktu biaya lebih menguntungkan setelah dipercepat. (M1 atau M2).

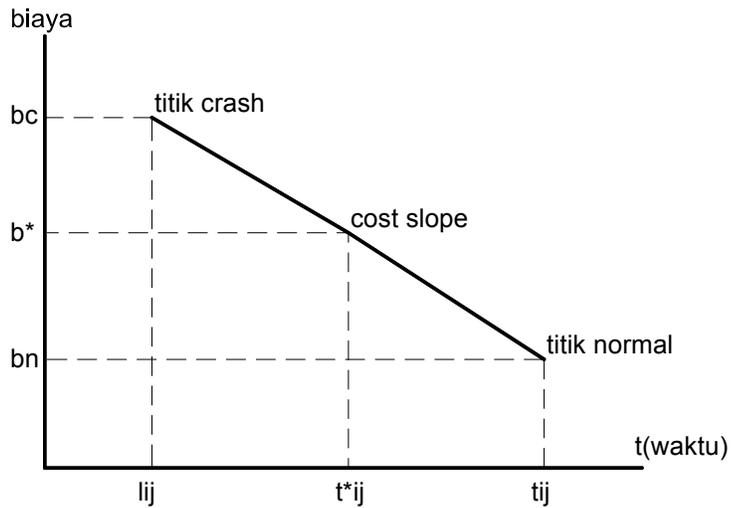
## **2.7 Percepatan Proyek dengan teori *Least Cost Analysis***

Dengan Teori *Least Cost Analysis* kita dapat mengetahui bahwa suatu proyek itu terlambat, sehingga dapat dilakukan suatu percepatan dengan cara mempersingkat durasi dari kegiatan-kegiatan dalam proyek tersebut yang diharapkan akan dapat mempersingkat durasi proyek secara keseluruhan. Karena dengan percepatan durasi kegiatan tentunya akan berpengaruh pada kegiatan dan akhirnya mempengaruhi biaya total proyek.

Untuk mempercepat durasi proyek maka harus dipercepat kegiatan-kegiatan yang bersifat kritis. Kegiatan kritis adalah kegiatan yang tidak boleh terlambat.

Percepatan proyek bisa dilakukan dengan cara : menambah persediaan material, menambah jumlah sumber daya, kerja lembur atau juga dengan mengubah metode konstruksi. Dengan terjadinya penambahan biaya jika durasinya dipercepat, sehingga menimbulkan *cost slope* untuk setiap kegiatan dipercepat. Biaya yang meningkat ini termasuk pada biaya langsung, sedangkan dengan bertambah singkatnya waktu pelaksanaan konstruksi, maka biaya tak langsung akan semakin rendah.

Berdasarkan uraian di atas selanjutnya dibuat kurva pendekatan waktu-biaya langsung suatu kegiatan dan diambil dengan notasi-notasi sebagai berikut.



Gambar 2.12 Kurva Hubungan Waktu-Biaya Normal & Dipersingkat Suatu Kegiatan

Suatu kegiatan atau aktifitas (i,j) dapat diselesaikan dalam waktu normal  $k_{i,j}$  dan biaya normal  $b_n$ . Aktifitas (i,j) ini dapat pula diselesaikan dalam waktu yang lebih cepat  $l_{i,j}$  dengan biaya yang lebih tinggi yaitu  $b_c$ .

$b_c$  = biaya langsung dari kegiatan (i,j) yang diselesaikan dalam waktu yang tercepat.

$b_n$  = biaya langsung dari kegiatan (i,j) yang diselesaikan dalam waktu normal.

$l_{ij}$  = waktu paling cepat untuk menyelesaikan kegiatan (i,j).

$k_{ij}$  = waktu normal untuk menyelesaikan kegiatan (i,j).

$t_{ij}$  = waktu optimal untuk menyelesaikan kegiatan (i,j) yang dibatasi  $k_{ij}$  dan  $l_{ij}$ , dimana  $l_{ij} < t_{ij} < k_{ij}$ .

$$\text{Cost Slope} = \frac{(b_n - b_c)}{k_{ij} - l_{ij}} \dots\dots\dots \text{rumus (1)}$$

Dengan memakai percepatan proyek dengan teori *Least Cost Analysis*, sehingga dapat diketahui perubahan biaya jika durasi dipercepat. Dari *cost slope* ini dapat disimpulkan sifat biaya akan

minimum, jika waktu pelaksanaan paling optimal, sedangkan proyek dipercepat waktu minimum dengan maksimum biaya yang mungkin. Dengan demikian harus ditentukan suatu komposisi biaya dan waktu yang paling optimal.

## 2.8 Permodelan Linear Programming

*Crashing* adalah percepatan waktu durasi proyek yang dapat dicapai dengan batasan-batasan tertentu. Dengan adanya percepatan ini, maka biaya yang dibutuhkan juga semakin besar. Dengan melihat hubungan antara besarnya biaya dan percepatan yang dilakukan, maka dapat ditentukan optimasi yang dapat dicapai sesuai dengan kondisi yang ada.

Dalam perhitungan *crashing* terdapat beberapa penyelesaian yaitu dengan metode *trial and error* dan metode permodelan *Linear Programming*. Akan tetapi dalam *Network Diagram* yang lebih kompleks untuk menentukan suatu optimasi maka diperlukan suatu permodelan matematis, sehingga suatu *Network Diagram* dapat dijabarkan dalam *Linear Program*. Sedangkan penyelesaian dari *Linear Programming* sendiri menggunakan metode *Simplex*. Metode *Simplex*. Ditemukan oleh George Dantzig pada tahun 1947, dimana menjadi metode yang digunakan untuk memecahkan permasalahan dalam bidang komputer sampai sekarang. Kecuali untuk memecahkan masalah-masalah sederhana, metode ini selalu digunakan pada komputer.

Tabel 2.1. Data untuk *Linear Programming model**Resource usage per unit of activity*

Resourc e	Activity				Amount of resource Available
	1	2	...	n	
1	$a_{11}$	$a_{12}$	...	$a_{1n}$	$b_1$
2	$a_{21}$	$a_{22}$	...	$a_{2n}$	$b_2$
...	...	...	...	...	...
M	$a_{m1}$	$a_{m2}$	...	$a_{mn}$	$b_m$
$\Delta z/\text{unit}$ of activity	$c_1$	$c_2$	...	$c_n$	
Level of activity	$x_1$	$x_2$	...	$x_n$	

Bentuk standar dari model:

Maximum:  $Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$

Batasan-batasan subyek:

$$a_{11}x_1 + a_{12}x_2 + \dots + a_{1n}x_n \leq b_1$$

$$a_{21}x_1 + a_{22}x_2 + \dots + a_{2n}x_n \leq b_2$$

...

$$a_{m1}x_1 + a_{m2}x_2 + \dots + a_{mn}x_n \leq b_m$$

dan

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0, \dots, x_n \geq 0$$

### 2.8.1. Dasar-dasar Metode *Simplex*

Suatu penyelesaian optimal untuk permasalahan *Linear Programming* harus terletak pada batasan-batasan wilayah yang mungkin. Karena batasan-batasan tersebut merupakan suatu konsep geometri, hal ini dapat dijelaskan sebagai berikut:

Batas persamaan untuk suatu konstrain diperoleh dengan mengganti  $\leq$ ,  $=$ , atau  $\geq$  ditandai dengan tanda  $=$ .

Sedangkan bentuk dari suatu konstrain persamaan dengan batasan=batasan tertentu adalah  $a_1x_1 + a_2x_2 + a_3x_3 + \dots + a_nx_n = b_i$  untuk konstrain fungsional dan  $x_j = 0$  untuk konstrain nonnegative

Batas-batas wilayah yang mungkin terdiri dari kemungkinan solusi yang dapat memenuhi satu atau lebih dari konstrain batas persamaan.

Solusi kemungkinan titik sudut (*A corner point feasible solutions*) adalah suatu penyelesaian kemungkinan yang tidak terletak pada setiap segmen garis berhunung dengan dua solusi kemungkinan yang lain.

Dengan  $n$  keputusan variabel ( $n > 3$ ), penjelasan ini kurang tepat untuk mengidentifikasi solusi kemungkinan titik sudut (*A corner point feasible solutions*) dengan demikian akan lebih mudah untuk menjabarkannya secara aljabar.

Ketentuan *corner point feasible solutions* :

1. Jika tepat ada satu solusi optimal, maka harus merupakan *corner point feasible solutions*.
2. Jika ada beberapa solusi optimal, maka paling sedikit dua harus berbatasan dengan *corner point feasible solutions*.
3. Hanya ada *finite number* (bilangan terbatas) untuk *corner point feasible solutions*
4. Jika *corner point feasible solutions* sama atau lebih baik dari semua (dengan nilai  $Z$ ) berbatasan dengan *corner point feasible solutions*, lalu nilai tersebut sama atau lebih baik dari semua *corner point feasible solutions*, yaitu optimal.

Metode *simplex* menggunakan keempat ketentuan tersebut dengan menguji *corner point feasible solutions* dan berhenti ketika salah satu dari *corner point feasible solutions* merupakan nilai optimal.

Langkah-langkah dari Metode *Simplex*:

1. Langkah permulaan (*initialization step*) : dimulai dari *corner point feasible solutions*

2. Langkah *iteratif* : melakukan perhitungan dari titik sudut satu ke titik sudut yang lain sampai didapatkan *corner point feasible solutions* yang lebih baik (langkah ini dilakukan sesuai kebutuhan)
3. Tes Optimalisasi (*optimization test*) : *corner point feasible solutions* mempunyai nilai yang optimal jika tidak ada lagi *corner point feasible solutions* lain yang mempunyai hasil yang lebih baik.

Contoh :

Tabel 2.2. *Data for Wyndor Glass Co.*

*Capacity used per unit production rate*

<i>Plant</i>	<i>Product 1</i>	<i>Product 2</i>	<i>Capacity Available</i>
1	1	0	4
2	0	2	12
3	3	2	18
<i>Unit Profit</i>	\$3	\$5	

Maksimum :

$$Z = 3x_1 + 5x_2$$

Batasan-batasan :

$$x_1 \leq 4$$

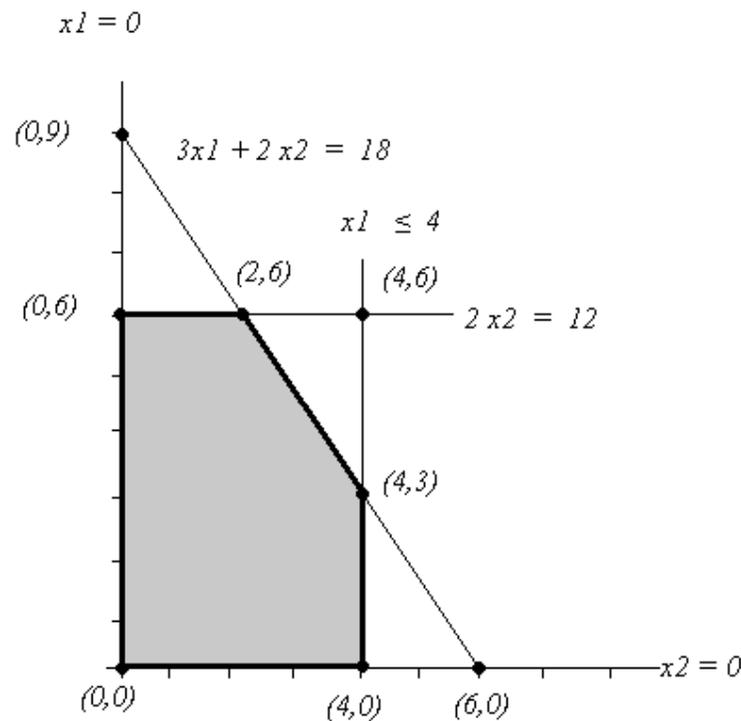
$$2x_2 \leq 12$$

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18$$

dan

$$x_1 \geq 0, x_2 \geq 0,$$

diperoleh grafik sebagai berikut :



Gambar 2.13 Garis Batas dan *Corner Point Feasible Solutions*

Dari grafik tersebut diperoleh *corner point feasible solutions* yaitu :  $(0,0)$ ,  $(0,6)$ ,  $(2,6)$ ,  $(4,3)$ , dan  $(4,0)$ . Sedangkan titik lain seperti  $(0,9)$ ,  $(4,6)$ ,  $(6,0)$  disebut *corner point infeasible solutions*. Beberapa *corner point feasible solutions* saling berdekatan dan dihubungkan garis pada batasan-batasan dari wilayah kemungkinan (*feasible region*). Seperti titik  $(0,6)$  dan  $(4,3)$  dihubungkan ke titik  $(2,6)$ .

Aplikasi pada contoh kasus:

1. *initialization step* : dimulai dari  $(0,0)$
2. a. *iteration 1* : dimulai dari  $(0,0)$  ke  $(0,6)$   
 b. *iteration 2* : dimulai dari  $(0,6)$  ke  $(2,6)$
3. *Optimally test* : baik  $(0,6)$  maupun  $(4,3)$  tidak lebih baik dari  $(2,6)$ , jadi langkah dihentikan. Jadi  $(2,6)$  adalah nilai optimal.

Konstrain :

$$x_1 \leq 4$$

Slack variable dari konstrain tersebut adalah :

$$x_3 = 4 - x_1$$

$$x_1 + x_3 = 4$$

dari konstrain  $x_1 \leq 4$  maka didapat  $x_3 \geq 0$ . oleh sebab itu maka  $x_1 \leq 4$  sama dengan konstrain yang ditentukan.

$$x_1 + x_3 = 4$$

dan

$$x_3 \geq 0$$

Maksimum :

$$Z = 3x_1 + 5x_2$$

dari data diperoleh persamaan sebagai berikut :

$$(1) \quad x_1 + x_3 = 4$$

$$(2) \quad 2x_2 + x_4 = 12$$

$$(3) \quad 3x_1 + 2x_2 + x_5 = 18$$

dan

$$x_j \geq 0, \text{ untuk } j = 1, 2, \dots, 5.$$

- *Augmented solutions* adalah solusi dari suatu permasalahan dimana berasal dari ketidaksamaan bentuk yang telah diperbesar dengan nilai penyesuaian dari *slack variables* untuk mengubah persamaan menjadi bentuk yang sama. Sebagai contoh pembeasran(*augmenting*) dari solusi (3,2) pada contoh solusi yang dibesarkan adalah (3,2,1,8,5) dengan nilai penyesuaian dari variabel adalah  $x_3 = 1$ ,  $x_4 = 8$ , dan  $x_5 = 5$ .
- *A basic solution* merupakan pembesaran dari *corner-point solutions*. Ketiak suatu persamaan tidak mempunyai konstrain yang sama, *basic solution* hanya menaikkan nilai *corner point solution* sehingga adpat memenuhi semua konstrain. Sebagai contoh dengan mempertimbangkan *corner point infeasible solution* (4,6), dengan membesarkan nilai titik tersebut dengan hasil dari *slack variables*  $x_3 = 0$ ,  $x_4 = 12$ , dan  $x_5 = -6$  dengan nilai penyesuaian *basic solution* (4,6,0,0,-6)

- *Basic feasible solution* adalah pembesaran dari *corner point feasible solution*. Pada *corner point feasible solution* (0,6) adalah ekuivalen dengan (0,6,4,0,6) untuk permasalahan dalam bentuk persamaan.

### 2.8.2 Aljabar dari metode simplex

#### 1. *Inizialitation step.*

Langkah ini memperkenalkan variabel *slack*. Setelah itu kita memilih variabel asli sebagai *nonbasic variables* (dengan demikian sama dengan nol) dan *slack variables* sebagai *basic variables* (sehingga sama dengan sisi bagian kanan) pada *initial basic feasible solution*. Setelah itu dilanjutkan pada langkah optimalisasi.

#### 2. *Iterative Step.*

*Langkah 1: Menentukan basic variabel.* Pilih *non basic variable*, dimana ketika bertambah akan menambah Z pada tingkat yang paling cepat. Seleksi ini didapatkan dari pengecekan koefisien yang paling penting pada fungsi objektif yang ditulis ulang dalam *nonbasic variables* dan memilih *nonbasic variables* yang mempunyai koefisien paling besar.

*Langkah 2: menentukan leaving basic variable.* Pilih *basic variable* yang mencapai nol sebagai *entering basic variable* yang ditingkatkan. Seleksi ini dapat dibuat dengan mengecek setiap persamaan, untuk melihat seberapa besar *entering basic variable* dapat ditingkatkan sebelum *basic variable* dalam persamaan itu mencapai nilai nol.

*Langkah 3: menentukan basic feasible solution baru.* Pada langkah ini digunakan metode eliminasi *Gauss-Jordan*. Dengan menjadikan *nonbasic variables* sama dengan nol; masing-masing *basic variables* (dan Z) sama dengan persamaan pada sisi kanan dari satu persamaan yang ada (dengan koefisien + 1)

3. *Optimally Test: Menentukan apakah solusi yang didapatkan sudah merupakan solusi optimal.* Menganalisa apakah Z dapat bertambah dengan menambahkan nilai pada *non basic variable*. Penentuan ini dibuat dengan menulis kembali *objective function* pada *non basic variable* dengan membawa variabel-variabel ini pada sisi kanan persamaan. Lalu kemudian mengecek tanda dari koefisien dari setiap *non basic variable*. Jika semua koefisien tersebut bernilai nonpositif, maka solusi tersebut sudah optimal, jadi perhitungan dihentikan.

### 2.8.3 Metode Simplex Dalam Bentuk Tabel

Metode Simplex dalam bentuk tabel secara matematis adalah ekuivalen dengan metode Simplex dalam bentuk aljabar. Dalam penyajian metode Simplex menggunakan tabel, digunakan contoh *Wyndor Glass Co.*

Tabel 2.3 *Initial Simplex Tableaux for Wyndor Glass Co.*

Basic Variabel	Eq. No	Coefficient Of						Right Side
		Z	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
X <sub>4</sub>	2	0	0	2	0	1	0	12
X <sub>5</sub>	3	0	3	2	0	0	1	18

#### *Iterative Step*

- Langkah 1: Menentukan *entering basic variabel* dengan memilih variabel (*non basic variable*) dengan *negative coefficient* yang mempunyai nilai absolut terbesar pada persamaan. Kolom dimana terdapat koefisien tersebut disebut *pivot column*.

Tabel 2.4 *Calculation to determine first living basic variable for Wyndor Glass Co.*

Basic Variabel	Eq. No	Coefficient Of						Right Side
		Z	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	
Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
X <sub>4</sub>	2	0	0	2	0	1	0	12
X <sub>5</sub>	3	0	3	2	0	0	1	18

→ 12/2 = 6    max  
 → 18/2 = 9

- *Langkah 2: menentukan leaving basic variable.* dilakukan dengan cara:
  - a. mengeluarkan setiap koefisien dalam kotak kolom, yang bernilai positif (>0)
  - b. membagi setiap koefisien ke “right side” untuk satu baris,
  - c. mengidentifikasi persamaan yang mempunyai rasio paling kecil
  - d. memilih *basic variabel* untuk persamaan tersebut.

Kolom dengan arsiran adalah ***pivot column***, sedangkan baris dengan arsiran adalah ***pivot row***. Sedangkan angka atau nomor yang berada pada *pivot row* dan *pivot column* adalah ***pivot number***.

- *Langkah 3: menentukan basic feasible solution baru.*

$$\text{New Pivot Row} = \frac{\text{old pivot row}}{\text{pivot number}}$$

untuk keterangan lebih lanjut dapat dilihat pada tabel berikut *ini*.



Tabel 2.6 *First two Simplex Tableaux for Wyndor Glass Co. problem*

Iteration	Basic Variabel	Eq. No	Coefficient Of						Right Side
			Z	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>	
0	Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
	X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
	X <sub>4</sub>	2	0	0	2	0	1	0	12
	X <sub>5</sub>	3	0	3	2	0	0	1	18
1	Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30
	X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
	X <sub>2</sub>	2	0	0	1	0	1/2	0	6
	X <sub>5</sub>	3	0	3	0	0	-1	1	6

Tabel 2.7 *Calculation to determine second living basic variable for Wyndor Glass Co. problem.*

Iteration	Basic Variabel	Eq. No	Coefficient Of						Right Side	
			Z	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>	X <sub>5</sub>		
1	Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30	
	X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4	→4/1=4
	X <sub>2</sub>	2	0	0	1	0	1/2	0	6	
	X <sub>5</sub>	3	0	3	0	0	-1	1	6	→6/3=2

Menggunakan *pivot number* 3, perhitungan untuk memperoleh row untuk tabel selanjutnya adalah:

*Row 3*, karena merupakan *pivot row*.

$$\begin{aligned} \text{New row} &= 1/3 [3 \ 0 \ 0 \ -1 \ 1, \ 0] \\ &= [1 \ 0 \ 0 \ -1/3 \ 1/3, \ 2] \end{aligned}$$

$$\text{Row 0} \quad [-3 \ 0 \ 0 \ 5/2 \ 0, \ 30]$$

$$-(-3) [1 \ 0 \ 0 \ -1/3 \ 1/3, \ 2]$$

$$\text{New row} = [0 \ 0 \ 0 \ 3/2 \ 1, \ 36]$$

Tabel 2.8 Complete Set Of Simplex Tableaux for Wyndor Glass Co. problem.

Iteration	Basic Variabel	Eq. No	Coefficient Of					Right Side	
			Z	X <sub>1</sub>	X <sub>2</sub>	X <sub>3</sub>	X <sub>4</sub>		X <sub>5</sub>
0	Z	0	1	-3	-5	0	0	0	0
	X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
	X <sub>4</sub>	2	0	0	2	0	1	0	12
	X <sub>5</sub>	3	0	3	2	0	0	1	18
1	Z	0	1	-3	0	0	5/2	0	30
	X <sub>3</sub>	1	0	1	0	1	0	0	4
	X <sub>2</sub>	2	0	0	1	0	1/2	0	6
	X <sub>5</sub>	3	0	3	0	0	-1	1	6
2	Z	0	1	0	0	0	3/2	1	36
	X <sub>3</sub>	1	0	0	0	1	1/3	-1/3	2
	X <sub>2</sub>	2	0	0	1	0	1/2	0	6
	X <sub>1</sub>	3	0	1	0	0	-1/3	1/3	2

$$\begin{aligned}
 \text{Row 1} & \quad [1 \ 0 \ 1 \ 0 \ 0, \ 4] \\
 & \quad -(-1)[1 \ 0 \ 0 \ -1/3 \ 1/3, \ 2] \\
 \text{new row} & \quad = [0 \ 0 \ 1 \ 1/3 \ -1/3, \ 2]
 \end{aligned}$$

Dengan demikian kita telah menetapkan bentuk tabel dari Metode *Simplex*, yang ditunjukkan pada Tabel 2.14. Dari tabel tersebut kita mendapatkan *new basic feasible solution* yaitu: (2,6,2,0,0), dengan  $Z = 36$ . Pada langkah optimalisasi tes kita mendapatkan bahwa solusi ini adalah optimal. Mengapa demikian? Karena tidak ada koefisien pada persamaan (0) adalah negatif, jadi proses algoritma telah selesai. Jadi solusi optimal untuk *Wyndor Glass Co. problem* adalah  $x_1 = 2$ ,  $x_2 = 6$  (sebelum memperhitungkan *slack variable*).

#### 2.8.4 Persamaan Batas (*Equality constrain*)

Jika permasalahan pada *Wyndor Glass Co* dirubah menjadi pabrik ke tiga bekerja pada kapasitas penuh perubahan yang dilakukan pada permodelan *Linear Programming* adalah batas ke tiga.

$$3x_1 + 2x_2 \leq 18$$

menjadi

$$3x_1 + 2x_2 = 18$$

Oleh karena itu *feasible region* sekarang hanya terdiri dari sebuah segment baris yang menghubungkan titik (2,6) dan (4,3). Sayangnya persamaan tersebut tidak memiliki *initial basic feasible solution* karena tidak memiliki *slack variable* untuk digunakan sebagai *initial basic variable*. Permasalahan tersebut dipecahkan dengan memberikan *artifisial variabel*  $x_5$  dalam persamaan (3) menjadi

$$3x_1 + 2x_2 + x_5 = 18, \text{ dengan}$$

$$x_5 \geq 0$$

Dengan menggunakan metode *Big M* solusi di luar *feasible solution* dapat dihindari. Fungsi obyektif :

$$Z = 3x_1 + 5x_2$$

menjadi

$$Z = 3x_1 + 5x_2 - Mx_5$$

Dengan M adalah suatu angka positif yang sangat besar, harga maksimum Z akan terjadi ketika  $x_5 = 0$  ( $x_5$  tidak dapat bernilai negatif).

(0)

$$Z = 3x_1 + 5x_2 - Mx_5$$

Atau dalam bentuk tabel,  $R_0$  (*preliminary row*) menjadi:

$$R_0 = [-3 \quad -5 \quad 0 \quad 0 \quad M, \quad 0]$$

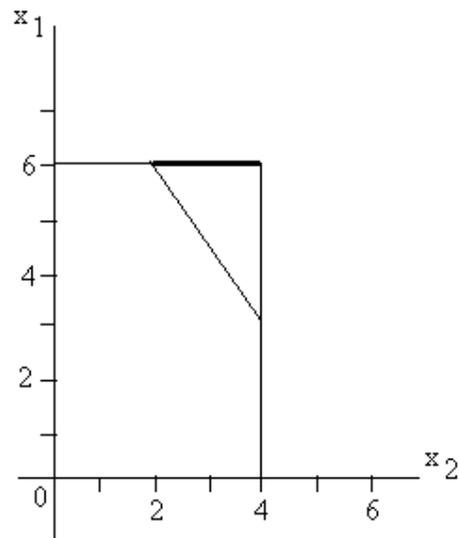
Bagaimanapun juga,  $R_0$  tidak dapat digunakan untuk awal penabelan pada penerapan metode *Simplex optimally test* dan langkah1 dari *iterative step* membutuhkan bahwa setiap *basic variable* harus mempunyai koefisien nol, dan  $x_5$  adalah *initial basic variable*. Persyaratan ini secara normal memenuhi langkah ke tiga dari *iterative step*, dan metode yang sama juga harus digunakan disini, dilanjutkan seolah-olah kolom untuk *artificial variable* ( $x_5$ ) adalah *pivot column* dan persamaan batasnya adalah *pivot row*.

$$\begin{array}{r} \text{Row 0} \quad \quad \quad [-3 \quad \quad -5 \quad \quad 0 \quad 0 \quad M, \quad \quad 0] \\ \quad \quad \quad \quad \quad -M[ \quad 3 \quad \quad \quad 2 \quad \quad 0 \quad 0 \quad 1, \quad \quad 18] \\ \hline \text{New Row} = \quad \quad \quad [(-3M-3), \quad (-2M-5) \quad 0 \quad 0 \quad 0, \quad -18M] \end{array}$$

### 2.8.5 Minimalisasi Pada Metode *Simplex*

Salah satu cara langsung dalam meminimalisasi  $Z$  dengan menggunakan metode *Simplex* adalah dengan mengubah aturan dari positif dan negatif koefisien pada *row 0* untuk semua *optimally test* dan langkah pertama dari *iterative step*.

$$\begin{array}{ll} \text{Minimalisasi} & Z = \sum C_j X_j \quad \text{adalah ekuivalen dengan} \\ \text{Maksimalisasi} & - Z = \sum (-C_j) X_j \end{array}$$



Gambar 2.14 *Constraint boundaries for modified example. (Darker line segment is feasible region).*

Kedua rumus tersebut dapat disebut ekuivalen karena semakin kecil  $Z$  adalah semakin besar  $(-Z)$ , jadi solusi yang memberikan nilai lebih kecil pada  $Z$  akan memberikan nilai yang lebih besar pada wilayah  $(-Z)$ .

Oleh karena itu dalam mengubah suatu permasalahan, kita harus mengubah rumus menjadi :

$$\text{Minimize} \quad Z = 3x_1 + 5x_2$$

$$\text{Maximize} \quad (-Z) = -3x_1 - 5x_2$$

#### A. Pertidaksamaan $\geq$

Tanda pertidaksamaan dapat dibalik jika kedua sisinya dikalikan dengan  $(-1)$ . Dengan menggunakan pendekatan tersebut persamaan batas ke tiga dari contoh diubah menjadi

$$3x_1 + 2x_2 \geq 18$$

$$-3x_1 - 2x_2 \leq -18$$

$$-3x_1 - 2x_2 + x_5 = -18$$

Dengan  $x_5$  adalah *slack variable* dari persamaan tersebut. Namun satu langkah perubahan masih tetap diperlukan. Sebagaimana pembahasan berikut.

## B. Persamaan Sisi Kanan Negatif

Persamaan sisi kanan negatif sebagaimana persamaan batas ke tiga

$$-3 x_1 - 2 x_2 + x_5 = -18$$

akan memberikan angka negatif kepada *slack variable* ( $x_5 = -18$ ) pada *initial solution*, yang melanggar batas *non negative* untuk variabel ini. Dengan mengalikan persamaan dengan (-1) akan membuat sisi kanan menjadi positif.

$$3 x_1 + 2 x_2 - x_5 = -18$$

Namun langkah tersebut juga merubah koefisien dari *slack variable* menjadi (-1). Maka variabel tetap negatif. Jadi *artifisial* variabel ditambahkan dalam persamaan. Bila kita menambahkan *artifisial* variabel  $x_6$  yang bernilai positif bentuk akhir persamaan menjadi :

$$3 x_1 + 2 x_2 - x_5 + x_6 = -18$$

dengan  $x_6$  digunakan sebagai *initial basic variable*. Dan  $x_5$  sebagai *non basic variable*.

### 2.9 Max crash

Adalah besarnya batasan waktu percepatan proyek, ditentukan sendiri oleh *user*.

Perhitungan *crashing* dapat dilakukan dengan dua cara, yaitu dengan cara manual atau *trial and error* dan *crashing* dengan *Linear Programming*. Apabila kita menggunakan cara manual atau *trial and error* maka pada tabel input akan muncul tabel *crash amount*, yaitu tabel dimana kita memasukkan besarnya waktu *crash* seperti yang kita kehendaki. Sedangkan apabila kita memilih perhitungan *crashing* dengan *Linear Programming* pada *crash option* maka *crash* yang didapat merupakan *crash optimum*, yang berarti merupakan *crash* yang paling efisien.