

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

2.1 *Theory of Constraint* (TOC)

Theory of Constraint (TOC) merupakan pengembangan dari *Optimized Production Technology* (OPT). Teori ini pertama kali diperkenalkan oleh seorang ilmuwan fisika berkebangsaan Israel, Dr. Eliyahu M. Goldratt, dalam bukunya yang berjudul “*The Goal: A Process of Ongoing Improvement*”, yang ditulis pada tahun 1986 (Fogarty, 1991).

2.1.1 Konsep Dasar *Theory of Constraint* (TOC)

Konsep *Optimized Production Technology* (OPT) menekankan pada optimasi pemanfaatan stasiun constraint, metode ini juga dikenal dengan nama *Theory of Constraint* (TOC). OPT merupakan suatu teknik untuk optimasi penjadwalan produksi yang bertujuan meningkatkan hasil produk jadi keseluruhan yang terjual (*throughput*), mengurangi persediaan (*inventory*), dan mengurangi biaya operasional (*operational expenses*). Dalam OPT, Goldratt telah membuat konsep yang memasukkan filosofi manajemen dalam perbaikan berdasarkan pengidentifikasian kendala-kendala untuk meningkatkan keuntungan.

Dasar dari TOC adalah bahwa setiap organisasi mempunyai kendala-kendala yang menghambat pencapaian kinerja (*performance*) yang tinggi. Kendala-kendala ini seharusnya diidentifikasi dan diatur untuk memperbaiki kinerja, biasanya jumlah kendala terbatas dan bukan berarti kendala kapasitas. Jika suatu kendala telah terpecahkan, maka kendala berikutnya dapat diidentifikasi dan diperbaharui.

Dalam mengimplementasikan ide-ide sebagai solusi dari suatu permasalahan, Goldratt dalam Dettmer (1997) mengembangkan lima langkah yang berurutan supaya proses perbaikan lebih fokus dan berakibat lebih baik bagi sistem. Langkah-langkah tersebut adalah:

1. Identifikasi *constraint* (*identifying the constraint*). Mengidentifikasi bagian sistem manakah yang paling lemah kemudian melihat kelemahannya apakah kelemahan fisik atau kebijakan.

2. Eksploitasi *constraint* (*exploiting the constraint*). Menentukan cara menghilangkan atau mengelola *constraint* dengan biaya yang paling rendah.
3. Subordinasi sumber lainnya (*subordinating the remaining resources*). Setelah menemukan *constraint* dan telah diputuskan bagaimana mengelola *constraint* tersebut maka harus mengevaluasi apakah *constraint* tersebut masih menjadi *constraint* pada performansi sistem atau tidak. Jika tidak maka akan menuju ke langkah kelima, tetapi jika ya maka akan menuju ke langkah keempat.
4. Elevasi *constraint* (*Elevating the constraint*). Jika langkah ini dilakukan, maka langkah kedua dan ketiga tidak berhasil menangani *constraint*. Maka harus ada perubahan besar dalam sistem, seperti reorganisasi, perbaikan modal, atau modifikasi substansi sistem.
5. Mengulangi proses keseluruhan (*repeating the process*). Jika langkah ketiga dan keempat telah berhasil dilakukan maka akan mengulangi lagi dari langkah pertama. Proses ini akan berputar sebagai siklus. Tetap waspada bahwa suatu solusi dapat menimbulkan *constraint* baru perlu dilakukan.

2.1.2 Prinsip Dasar Theory of Constraint (TOC)

Selain memperhatikan lima tahap penerapan TOC di atas, perlu diperhatikan pula sembilan prinsip dasar TOC. Kesembilan prinsip dasar TOC tersebut adalah (Narasimhan, McLeavey, dan Billington, 1995):

1. Seimbangkan aliran produksi, bukan kapasitas produksi. Diasumsikan perusahaan memiliki kapasitas tidak seimbang dengan jumlah permintaan pasar (*demand*) karena keseimbangan kapasitas menghambat pencapaian tujuan (*goal*) perusahaan.
2. Tingkat utilitas *non bottleneck* tidak ditentukan oleh potensi stasiun kerja tersebut tetapi oleh stasiun kerja *bottleneck* atau sumber kritis lainnya. Hanya stasiun kerja yang mengalami *bottleneck* yang perlu dijalankan dengan utilitas 100%.
3. Aktivitas tidak selalu sama dengan utilitas. Menjalankan *non bottleneck* dapat mengakibatkan bertumpuknya *work in process* (*buffer*) dalam jumlah yang berlebihan.

4. Satu jam kehilangan pada *bottleneck* merupakan satu jam kehilangan sistem keseluruhan.
5. Satu jam penghematan pada *non bottleneck* merupakan suatu fatamorgana.
6. *Bottleneck* mempengaruhi *throughput* dan *inventory*.
7. *Batch transfer* tidak selalu sama jumlahnya dengan *batch* proses.
8. *Batch* proses sebaiknya tidak tetap (variabel).
9. Penjadwalan (kapasitas dan prioritas) dilakukan dengan memperhatikan semua kendala (*constraint*) yang ada secara simultan.

2.1.3 Ukuran Kinerja dalam *Theory of Constraint* (TOC)

Tujuan utama perusahaan adalah menghasilkan laba untuk saat ini dan selanjutnya. Ukuran kerja finansial yang penting adalah keuntungan bersih, *Return of Investment* (ROI) atau pengembalian modal, dan *cash flow* atau aliran kas. Langkah ini menyatakan bahwa *constraint* harus diangkat, sehingga dapat diambil tindakan untuk mengurangi pengaruh hasilnya (*throughput*), persediaan, dan biaya operasi. Hasil didefinisikan sebagai tingkat di mana sistem dapat menghasilkan uang melalui penjualan bukan produksi.

Beberapa pokok persoalan dalam TOC adalah:

1. Tujuan perusahaan adalah untuk menghasilkan uang.
2. Kriteria kinerja.
3. Penyeimbangan aliran produksi pada sistem, bukan usaha penyeimbangan kapasitas.

Untuk mampu mengukur kinerja perusahaan terdapat kriteria-kriteria pengukuran yang harus digunakan (Hansen dan Mowen, 2000), yaitu:

- a. Kriteria pengukuran finansial, meliputi keuntungan bersih atau *net profit* (diukur dalam rupiah), yaitu selisih hasil produk terjual (*throughput*) dengan biaya produksi (*operational expenses*).
- b. Kriteria pengukuran operasional, meliputi:
 1. *Throughput*, yaitu suatu pengukuran untuk menghasilkan uang melalui penjualan produk jadi bukan berupa persediaan.

2. Persediaan, yaitu semua uang yang diinvestasikan dalam pembelian segala sesuatu sampai diharapkan produk jadi terjual, dapat berupa bahan baku, komponen, atau produk jadi yang belum terjual tetapi tidak termasuk tenaga kerja (*overhead*).
3. Biaya operasional, yaitu semua uang yang dikeluarkan sistem dalam perubahan persediaan menjadi *throughput*. Ini termasuk biaya-biaya lain, juga tenaga kerja langsung dan tidak langsung, biaya simpan, depresiasi peralatan, dan lain-lain.
4. Pendefinisian *throughput* secara khusus, yaitu cara untuk mencegah sistem terus berproduksi di bawah ilusi bahwa produk-produk mungkin meningkatkan biaya-biaya, membentuk persediaan, dan menghasilkan kas.

2.1.4 Constraint

Constraint dapat didefinisikan sebagai segala sesuatu yang menghambat suatu sistem untuk mencapai kinerja yang lebih tinggi. Ada dua tipe pokok constraint, yaitu batasan fisik dan batasan non fisik. Batasan fisik adalah batasan yang berhubungan dengan kapasitas mesin, sedangkan batasan non fisik berupa permintaan terhadap produk dan prosedur kerja (Fogarty, 1991).

Kategori *constraint* antara lain adalah *Internal Resource Constraints*. Berkaitan dengan kendala sumber-sumber internal, R. B. Chase mengistilahkan *constraint* tersebut sebagai *Capacity Constraint Resources (CCR)*, yaitu sumber daya yang jika tidak dijadwalkan sebagaimana mestinya akan dapat menghambat aliran produk yang menyimpang dari perencanaan aliran semula.

Sumber daya berkendala kapasitas tidak hanya jenis *constraint* yang dapat menghambat kinerja. *Constraint* pasar juga dapat menghambat penggunaan secara penuh sumber daya pabrik yang tersedia. Peningkatan pasar akan meningkatkan *throughput* dan *net profit*. *Constraint* material juga dapat menghambat penggunaan sumber daya. Jika kapasitas lebih besar dari aliran *throughput* dengan *constraint* material, material-material yang lebih banyak akan meningkatkan *throughput* dan *profit*.

2.1.5 Jenis-jenis *Constraint*

Menurut Hansen dan Mowen (2000), jenis *constraint* dapat dikelompokan sebagai berikut:

a. Berdasarkan asalnya:

- 1) Kendala internal (*Internal Constraint*) adalah faktor-faktor yang membatasi perusahaan yang berasal dari dalam perusahaan, misalnya keterbatasan jam mesin. Kendala internal harus dimanfaatkan secara optimal untuk meningkatkan *throughput* semaksimal mungkin tanpa meningkatkan persediaan dan biaya operasional.
- 2) Kendala eksternal (*External Constraint*) adalah faktor-faktor yang membatasi perusahaan yang berasal dari luar perusahaan, misalnya permintaan pasar atau kuantitas bahan baku yang tersedia dari pemasok. Kendala eksternal yang berupa volume.
- 3) Produk yang dapat dijual, dapat diatasi dengan menemukan pasar, meningkatkan permintaan pasar ataupun dengan mengembangkan produk baru.

b. Berdasar sifatnya:

- 1) Kendala mengikat (*Binding Constraint*) adalah kendala yang terdapat pada sumber daya yang telah dimanfaatkan sepenuhnya.
- 2) Kendala tidak mengikat atau kendur (*Loose Constraint*) adalah kendala yang terdapat pada sumber daya yang terbatas yang tidak dimanfaatkan sepenuhnya.

Selain itu, Atkinson, dkk. (1997) menambahkan pengelompokan *constraint* dalam tiga bagian yaitu:

1. Kendala sumber daya (*Resource Constraint*). Kendala ini dapat berupa kemampuan faktor input produksi seperti bahan baku, tenaga kerja dan jam mesin.
2. Kendala pasar (*Market Resource*). Kendala yang merupakan tingkat minimal dan maksimal dari penjualan yang mungkin selama dalam periode perencanaan.

3. Kendala keseimbangan (*Balanced Constraint*). Diidentifikasi sebagai produksi dalam siklus produksi.

2.1.6 Keunggulan *Theory of Constraint*

Jika dijabarkan, maka keunggulan dengan adanya penerapan teori kendala menurut Hansen dan Mowen (2000) adalah sebagai berikut:

1. Produk yang lebih baik. Perusahaan dapat menghasilkan produk dengan kualitas lebih baik dan menyediakan produk yang sudah diperbaiki tersebut secara cepat ke pasar. Persediaan yang lebih rendah menyebabkan deteksi atas kerusakan dapat dilakukan lebih cepat dan penyebab masalah bisa segera dinilai. Persediaan yang rendah memungkinkan perubahan produk untuk diperkenalkan secara lebih cepat karena perusahaan mempunyai persediaan produk lama yang lebih sedikit dan harus segera dijual atau dibuang.
2. Harga yang lebih rendah. Persediaan rendah akan menyebabkan menurunnya biaya penyimpanan, biaya investasi per unit dan beban operasi lain seperti lembur dan pengiriman khusus. Dengan menurunnya biaya-biaya maka penetapan harga akan menjadi lebih fleksibel, sehingga perusahaan tidak harus melakukan strategi pemotongan harga.
3. Daya tanggap. Persediaan yang lebih rendah memungkinkan waktu tunggu aktual untuk diamati secara lebih seksama dan tanggal pengiriman yang lebih akurat dapat terpenuhi. Tingkat persediaan yang tinggi terhadap pesaing akan mengakibatkan kelemahan kompetitif, dengan teori kendala maka perusahaan dapat menekan pengurangan persediaan dengan mengurangi waktu tunggu.

2.2 Sistem Manufaktur Modern

Sistem manufaktur modern dapat diartikan sebagai pengerjaan secara otomatis dan mesinnya di kontrol komputer dengan pengawasan manual. Tipe-tipe produksi dan fungsi-fungsi dalam manufaktur akan dijelaskan pada subbab 2.2.1 sampai dengan subbab 2.2.2.

2.2.1 Tipe-tipe Produksi

Salah satu cara untuk mengklasifikasikan kegiatan produksi adalah megklasifikasikan sesuai dengan jumlah produk yang dibuat. Menurut Mikell dan Groover (1987), dalam klasifikasi ini terdapat tiga jenis produksi di antaranya adalah:

1. *Produksi Job Shop*

Fitur yang membedakan produksi *job shop* adalah volume produksi yang rendah. Produksi *job shop* umumnya digunakan untuk memenuhi pesanan pelanggan tertentu dan ada berbagai besar dalam jenis pekerjaan pabrik yang harus dilakukan. Oleh karena itu, peralatan produksi harus fleksibel dengan tujuan umum untuk memungkinkan berbagai pekerjaan dilakukan. Tingkat keterampilan pekerja *job shop* harus relatif tinggi sehingga mereka dapat melakukan berbagai tugas kerja yang berbeda.

2. *Produksi Batch*

Kategori ini membuat *item* atau produk yang sama dalam jumlah menengah besar. Produksi *batch* sering untuk memenuhi permintaan pelanggan yang terus-menerus untuk *item* yang sama. Oleh karena itu, toko membangun sebuah persediaan *item*. Ketika stok *item* pertama habis, produksi diulang untuk membangun persediaan lagi.

3. *Produksi massal*

Ini adalah manufaktur khusus produk yang identik secara terus menerus. Produksi massal ditandai dengan tingkat produksi yang sangat tinggi, peralatan yang benar-benar didedikasikan untuk pembuatan produk tertentu, dan tingkat permintaan yang sangat tinggi untuk produk.

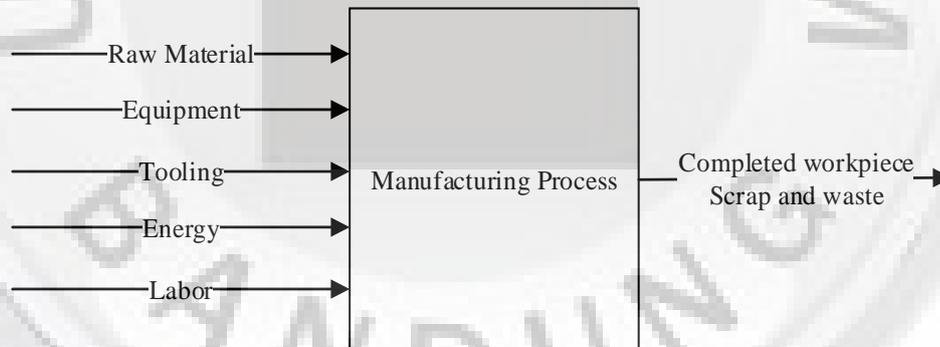
2.2.2 Fungsi-fungsi dalam Manufakturing

Dari ketiga jenis produksi, ada fungsi dasar tertentu yang harus dilakukan untuk mengubah bahan baku menjadi produk jadi. Untuk sebuah perusahaan yang bergerak dalam pembuatan produk diskrit, fungsi manufakturing (Mikell dan Groover, 1987) adalah:

1. Operasi pengolahan

Operasi pengolahan mengubah produk dari satu penyelesaian menjadi penyelesaian yang lebih maju. Operasi pengolahan dapat diklasifikasikan ke dalam salah satu dari empat kategori berikut:

- 1) Proses dasar, merupakan materi kerja bentuk awal. Proses ini adalah umum untuk pemrosesan tambahan yang akan diperlukan untuk mencapai bentuk akhir dan ukuran bagian pekerjaan tersebut.
- 2) Proses sekunder, proses ini mengikuti proses dasar dan dilakukan untuk memberikan bagian dari pekerjaan sebuah geometri akhir yang diinginkan.
- 3) Operasi untuk meningkatkan sifat fisik: tidak nampak mengubah geometri fisik bagian pekerjaan tersebut. Sebaliknya, sifat fisik bahan ditingkatkan dalam beberapa cara.
- 4) Operasi *finishing*, merupakan proses akhir yang dilakukan pada bagian pekerjaan tersebut. Tujuannya adalah untuk meningkatkan penampilan atau untuk memberikan lapisan pelindung pada bagian tertentu.



Gambar 2.1 Model proses manufaktur
Sumber: Mikell dan Groover (1987)

Gambar 2.1 menyajikan model *input/output* dari operasi pengolahan khas di bidang manufaktur. Sebagian besar proses manufaktur membutuhkan bahan baku, peralatan (mesin perkakas), perkakas, energi, dan tenaga kerja. Proses manufaktur menambah nilai bahan baku (atau *Work-in-Progress*) dengan mengubah mereka menjadi produk yang lebih diinginkan. Proses

manufaktur menghasilkan dua *output*, yaitu produk jadi dan *scrap* dan limbah.

2. Operasi perakitan

Dalam perakitan, fitur yang membedakan adalah bahwa dua atau lebih komponen yang terpisah bergabung bersama-sama. Dalam pembuatan suatu produk, operasi perakitan mengikuti operasi pengolahan.

3. Penanganan material dan penyimpanan

Sebuah cara memindahkan dan menyimpan bahan-bahan antara pengolahan dan operasi perakitan harus disediakan. Dalam kebanyakan pabrik, material menghabiskan lebih banyak waktu dipindahkan dan disimpan daripada diproses.

4. Inspeksi dan pengujian

Inspeksi dan pengujian umumnya dianggap sebagai bagian dari pengendalian kualitas. Tujuan pemeriksaan adalah untuk menentukan apakah produk yang diproduksi memenuhi standar desain dan spesifikasi yang ditetapkan. pengujian umumnya berkaitan dengan spesifikasi fungsional dari produk akhir daripada bagian-bagian individu yang masuk ke produk.

5. Pengujian

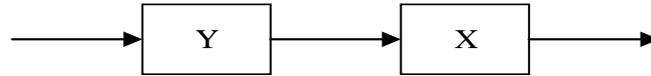
Fungsi kontrol atau pengujian di bidang manufaktur meliputi pengaturan pengolahan dan perakitan operasi individu serta pengelolaan kegiatan tingkat pabrik.

2.3 *Bottleneck dan Non Bottleneck*

Menurut Sipper (1997) pada Nurwidiana (2010), *bottleneck* adalah sumber yang kapasitasnya sama atau lebih kecil dari permintaan yang ada pada saat itu. Sedangkan *non bottleneck* adalah sumber yang kapasitasnya lebih besar dari permintaan yang ada pada saat itu. Untuk menggambarkan interaksi sumber daya secara mendasar, Goldratt menandai *bottleneck* dengan “X” dan untuk *non bottleneck* dengan “Y”.

Di sini ada dua bangunan blok, yaitu X dan Y, yang hasilnya ada lima hubungan dasar (Gasperz, 1998), yaitu:

1. Y ke X, aliran dari *non bottleneck* ke *bottleneck*



Gambar 2.2 Aliran dari *non bottleneck* ke *bottleneck*

Y dapat diaktifkan hanya untuk memenuhi kebutuhan X.

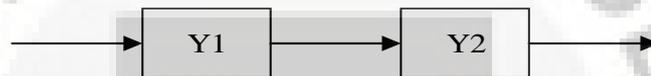
2. X ke Y, aliran dari *bottleneck* ke *non bottleneck*



Gambar 2.3 Aliran dari *bottleneck* ke *non bottleneck*

Karena Y dapat memproses lebih cepat dibandingkan X, maka terjadi *idle time* (waktu menganggur). Y hanya dapat diaktifkan hanya untuk memenuhi kebutuhan X.

3. Y1 ke Y2, aliran dari satu *non bottleneck* ke *non bottleneck*



Gambar 2.4 Aliran dari satu *non bottleneck* ke *non bottleneck*

Kedua sumber daya diaktifkan hanya untuk memenuhi permintaan pasar atau kendala lain dalam sistem.

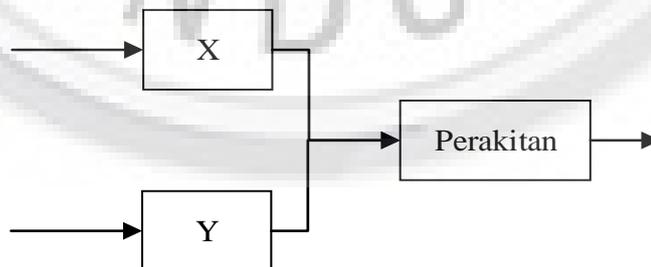
4. X1 ke X2, aliran dari satu *bottleneck* ke *bottleneck*



Gambar 2.5 Aliran dari satu *bottleneck* ke *bottleneck*

Bottleneck yang kendalanya lebih kecil, diaktifkan untuk memenuhi *bottleneck* yang kendalanya besar.

5. X dan Y, *bottleneck* dan *non bottleneck* diumpangkan ke perakitan



Gambar 2.6 *Bottleneck* dan *non bottleneck* diumpangkan ke perakitan

Perakitan tidak dapat dilakukan sampai seluruh komponen tersedia. Jadi kecepatan suatu sumber daya harus dibentuk agar sesuai dengan X.

2.4 Pengukuran Waktu

Pengukuran waktu ditujukan untuk mendapatkan waktu baku penyelesaian suatu pekerjaan, yaitu waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh seorang pekerja normal untuk menyelesaikan suatu pekerjaan yang dijalankan dalam sistem kerja terbaik (Sutalaksana, 2006). Teknik-teknik pengukuran waktu dibagi menjadi dua bagian, yaitu pengukuran waktu secara langsung dan pengukuran waktu secara tidak langsung. Pengukuran waktu secara langsung yaitu pengukuran waktu yang dilaksanakan secara langsung, yaitu di tempat pekerjaan yang bersangkutan dijalankan. Cara pengukuran waktu secara langsung adalah metode jam henti dan *sampling* pekerjaan. Sedangkan pengukuran waktu secara tidak langsung adalah pengukuran waktu yang dilakukan tanpa harus berada di tempat pekerjaan, yaitu dengan membaca tabel-tabel yang tersedia dengan mengetahui jalannya pekerjaan melalui elemen-elemen pekerjaan atau elemen-elemen gerakan. Cara pengukuran waktu secara tidak langsung adalah dengan menggunakan data waktu baku dan data waktu gerakan.

2.4.1 Pengukuran Waktu Jam Henti

Pengukuran waktu ini menggunakan alat bantu berupa jam henti (*stopwatch*). Metode ini sering digunakan karena kesederhanaan aturan-aturan pengukuran yang dipakai. Terdapat banyak faktor yang harus diperhatikan untuk mendapatkan hasil yang dapat dipertanggungjawabkan, seperti kondisi kerja, cara pengukuran, jumlah pengukuran, dan lain-lain. Adapun langkah-langkah sebelum melakukan pengukuran (Sutalaksana, 2006), yaitu:

1. Penetapan tujuan pengukuran

Dalam pengukuran waktu, hal-hal penting yang harus diketahui dan ditetapkan adalah peruntukkan penggunaan hasil pengukuran, tingkat ketelitian, dan tingkat keyakinan yang diinginkan dari hasil pengukuran tersebut.

2. Melakukan penelitian pendahuluan

Pengukuran waktu sebaiknya dilakukan apabila kondisi kerja dari pekerjaan yang diukur sudah baik. Selain itu, hal yang harus dilakukan adalah

membakukan sistem kerja yang dianggap baik. Semua kondisi dan cara kerja dicatat dan dicantumkan dengan jelas.

3. Memilih operator

Operator merupakan orang yang akan melakukan pekerjaan dengan memenuhi beberapa persyaratan tertentu agar pengukuran dapat berjalan dengan baik. Syarat-syarat tersebut adalah berkemampuan normal dan dapat diajak bekerjasama.

4. Melatih operator

Walaupun operator yang baik telah didapat, terkadang pelatihan masih diperlukan bagi operator tersebut terutama jika kondisi dan cara kerja yang dipakai tidak sama dengan yang biasa dijalankan operator. Hal ini terjadi jika yang akan diukur adalah sistem kerja baru sehingga operator tidak berpengalaman menjalankannya. Bahkan bila sistem kerjanya adalah yang sudah ada selama ini, operatorpun bisa kurang menguasai pekerjaannya terutama bila banyak perubahan rancangan yang dilakukan.

5. Mengurai pekerjaan atas elemen pekerjaan

Pekerjaan dipecah menjadi elemen pekerjaan yang merupakan gerakan bagian dari pekerjaan yang bersangkutan. Elemen-elemen inilah yang diukur waktunya.

6. Menyiapkan perlengkapan pengukuran

Setelah kelima langkah di atas dijalankan dengan baik, langkah terakhir sebelum melakukan pengukuran adalah menyiapkan perlengkapan yang diperlukan. Hal-hal tersebut adalah:

- *Stopwatch*
- Lembar pengamatan
- Pensil
- Papan pengamatan

Ada beberapa alasan yang menyebabkan pentingnya melakukan penguraian pekerjaan atas elemen-elemennya. Pertama, untuk menjelaskan catatan tentang tata cara kerja yang dibakukan. Kedua, untuk memungkinkan melakukan penyesuaian bagi setiap elemen karena keterampilan operator bekerja belum tentu

sama untuk semua bagian dari gerakan-gerakan kerjanya. Ketiga, untuk memudahkan mengamati terjadinya elemen yang tidak baku yang mungkin saja dilakukan pekerja. Dan keempat, untuk memungkinkan dikembangkannya data waktu standar untuk tempat kerja yang bersangkutan.

Hal yang dilakukan selama pengukuran berlangsung adalah pengukuran pendahuluan. Tujuan hal ini adalah untuk mendapatkan perkiraan statistical dari banyaknya pengukuran yang harus dilakukan dengan tingkat ketelitian dan tingkat kepercayaan yang diinginkan. Untuk mengetahui jumlah pengukuran yang harus dilakukan, dilakukan beberapa tahap pengukuran pendahuluan seperti dijelaskan berikut ini.

1. Hitung rata-rata

$$\bar{X} = \frac{\sum X_j}{n} \dots\dots\dots(2.1)$$

Dimana:

X_j = Data pengamatan ke-j (j=1,2,3,...,n)

n = Jumlah pengamatan

2. Hitung standar deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_j - \bar{X})^2}{n-1}} \dots\dots\dots(2.2)$$

3. Tentukan batas kendali atas (BKA) dan batas kendali bawah (BKB)

$$BKA = \bar{X} + 3\sigma$$

$$BKB = \bar{X} - 3\sigma \dots\dots\dots(2.3)$$

4. Uji kecukupan data

$$N' = \left(\frac{40 \sqrt{N \cdot \sum X_j^2 - (\sum X_j)^2}}{\sum X_j} \right)^2 \dots\dots\dots(2.4)$$

2.4.2 Faktor Penyesuaian

Untuk menormalkan waktu kerja yang diperoleh dari hasil pengamatan dapat dilakukan dengan mengadakan penyesuaian, yaitu dengan mengalikan waktu pengamatan rata-rata dan faktor penyesuaian (*allowance*). Penyesuaian ini diberikan untuk menghilangkan atau setidaknya mengurangi pengaruh ketidakwajaran kerja operator sewaktu pengukuran dilakukan. Untuk selanjutnya

akan disebut sebagai variabel P. Harga dari faktor penyesuaian adalah sebagai berikut:

1. Jika operator bekerja di atas normal, maka harga P akan lebih baik dari 1 ($P > 1$)
2. Jika operator bekerja di bawah normal, maka harga P akan lebih kecil dari 1 ($P < 1$)
3. Jika operator bekerja secara wajar atau normal, maka P sama dengan 1 ($P = 1$)

Ada beberapa cara dalam menentukan faktor penyesuaian yaitu cara *Schumard*, *Westinghouse*, dan objektif. Cara *Schumard* memberikan patokan-patokan penilaian melalui kelas-kelas *performance* kerja yang setiap kelasnya mempunyai nilai-nilai sendiri. Pengukur diberi patokan untuk menilai *performance* kerja operator menurut kelas-kelas *Superfast*, *Fast +*, *Fast -*, *Excellent*, dan seterusnya.

Penyesuaian dengan cara objektif yaitu cara yang memperhatikan dua faktor, yaitu kecepatan kerja dan tingkat kesulitan pekerjaan. Kedua faktor inilah yang dipandang secara bersama-sama menentukan berapa besarnya harga P untuk mendapatkan waktu normal. Kecepatan kerja adalah kecepatan dalam melakukan pekerjaan dalam pengertian biasa. Pengukur harus melakukan penelitian tentang kewajaran kecepatan kerja yang ditunjukkan oleh operator.

Metode *Westinghouse* merupakan metode penentuan nilai penyesuaian yang dilakukan dengan cara mengelompokkan tingkat keterampilan pekerja, usaha pekerja, kondisi kerja pekerja, dan konsistensi kerja pekerja (Sutalaksana, 2006).

a. Keterampilan (*Skill*)

Keterampilan merupakan kemampuan yang dimiliki oleh pekerja dalam mengikuti cara kerja yang telah ditetapkan oleh pihak perusahaan. Keterampilan juga dapat mengalami penurunan yang disebabkan di antaranya karena apabila pekerja terlampau lama tidak menangani pekerjaan tersebut atau karena kondisi kesehatan yang sedang terganggu, rasa *fatigue* yang berlebihan, pengaruh lingkungan kerja, dan faktor-faktor lainnya. Hal yang membedakan kelas keterampilan seseorang adalah keragu-raguan, ketelitian gerakan, kepercayaan diri, koordinasi, dan irama gerakan. Dengan

pembagian ini pengukur akan lebih terarah dalam menilai kewajaran pekerja dilihat dari segi keterampilannya. Karena faktor penyesuaian yang nantinya diperoleh dapat lebih objektif.

b. Usaha (*Effort*)

Usaha adalah kesungguhan yang ditunjukkan atau diberikan operator ketika melakukan pekerjaannya. Dalam kondisi sebenarnya banyak terjadi pekerja dengan keterampilan rendah bekerja tetapi ia memiliki usaha yang lebih sungguh-sungguh sebagai pengimbangannya tetapi sebaliknya terdapat seorang pekerja dengan keterampilan tinggi tetapi bekerja dengan usaha yang tidak didukung tetapi dapat menghasilkan kinerja yang lebih baik. Jadi walaupun hubungan Antara keterampilan dengan usaha sangat erat tetapi dengan metode Westinghouse ini, kedua aspek tersebut dipisahkan untuk lebih memudahkan dalam pemberian penyesuaian.

c. Kondisi kerja

Kondisi kerja adalah kondisi fisik lingkungan, seperti keadaan pencahayaan, suhu, kebisingan, dan lain sebagainya. Kondisi terbagi atas beberapa aspek antara lain *ideal, excellent, good, average, fair*, dan *poor*.

d. Konsistensi

Konsistensi merupakan tingkat kestabilan dalam bekerja, tingkat kestabilan ini dapat diperhatikan dengan waktu penyelesaian yang dihasilkan oleh pekerja untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, baik dari jam ke jam, dari hari ke hari, dan seterusnya.

Tabel 2.1 Penyesuaian menurut Westinghouse

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Keterampilan	<i>Superskill</i>	A1	+0,15
		A2	+0,13
	<i>Excellent</i>	B1	+0,11
		B2	+0,08
	<i>Good</i>	C1	+0,06
		C2	+0,03
	<i>Average</i>	D	0,00
	<i>Fair</i>	E1	-0,05
		E2	-0,10
	<i>Poor</i>	F1	-0,16
		F2	-0,22

Lanjutan Tabel 2.1 Penyesuaian menurut Westinghouse

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Usaha	<i>Excessive</i>	A1	+0,13
		A2	+0,12
	<i>Excellent</i>	B1	+0,10
		B2	+0,08
	<i>Good</i>	C1	+0,05
		C2	+0,02
	<i>Average</i>	D	0,00
	<i>Fair</i>	E1	-0,04
	<i>Poor</i>	E2	-0,08
		F1	-0,12
F2	-0,17		
Kondisi Kerja	<i>Ideal</i>	A	+0,06
	<i>Excellent</i>	B	+0,04
	<i>Good</i>	C	+0,02
	<i>Average</i>	D	0,00
	<i>Fair</i>	E	-0,03
	<i>Poor</i>	F	-0,07
Konsistensi	<i>Ideal</i>	A	+0,04
	<i>Excellent</i>	B	+0,03
	<i>Good</i>	C	+0,01
	<i>Average</i>	D	0,00
	<i>Fair</i>	E	-0,02
	<i>Poor</i>	F	-0,04

Sumber: Satalaksana (2006)

2.4.3 Faktor Kelonggaran

Waktu normal untuk suatu elemen operasi kerja adalah semata-mata untuk menunjukkan bahwa seorang operator yang berkualifikasi baik akan bekerja menyelesaikan pekerjaan pada kecepatan atau tempo kerja yang normal. Kenyataannya, operator akan sering menghentikan pekerjaannya dan membutuhkan waktu-waktu khusus untuk keperluan *personal needs*, istirahat melepas lelah, dan alasan-alasan lain yang di luar kontrolnya. Waktu longgar yang dibutuhkan akan menginterupsi proses produksi ini bisa diklasifikasikan menjadi *personal allowance*, *fatigue allowance*, dan *delay allowance*.

1. Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi (*personal allowance*)

Pada dasarnya, setiap pekerja haruslah diberikan kelonggaran waktu untuk keperluan yang bersifat pribadi, seperti minum, ke kamar kecil, dan bercakap-cakap dengan teman kerjanya untuk menghilangkan kejenuhan

dalam bekerja. Besarnya kelonggaran diberikan untuk kebutuhan pribadi berbeda-beda karena setiap pekerjaan mempunyai karakteristik tersendiri. Untuk pekerjaan yang relatif ringan, dimana operator bekerja 8 jam per hari tanpa istirahat yang resmi maka sekitar 2% sampai 5% setiap hari akan dipergunakan untuk kebutuhan-kebutuhan yang bersifat personal.

2. Kelonggaran untuk menghilangkan rasa lelah (*fatigue allowance*)

Kelelahan fisik manusia bisa disebabkan oleh beberapa penyebab di antaranya adalah kerja yang membutuhkan pikiran banyak dan kerja fisik. Masalah yang dihadapi untuk menetapkan jumlah waktu yang diijinkan untuk istirahat melepas lelah tergantung pada jenis pekerjaan yang ada. Lama waktu periode yang diberikan adalah berkisar 5 sampai 15 menit merupakan tambahan pada waktu dasar dengan maksud memberikan kesempatan pada pekerja untuk memulihkan keletihan fisik dan psikologis dalam melakukan pekerjaan tertentu.

3. Kelonggaran untuk hambatan-hambatan tak terhindarkan (*delay allowance*)

Keterlambatan atau *delay* bisa disebabkan oleh hambatan yang sulit untuk dihindarkan, tetapi bisa juga disebabkan oleh hambatan-hambatan yang masih bisa untuk dihindari. Beberapa contoh hambatan yang sulit untuk dihindarkan:

- Menerima atau meminta petunjuk kepada pengawas
- Melakukan penyesuaian-penyesuaian mesin
- Memperbaiki kemacetan-kemacetan singkat
- Mengasah peralatan potong
- Mengambil alat-alat khusus atau bahan-bahan khusus dari gudang
- Hambatan-hambatan karena kesalahan pemakaian alat ataupun bahan
- Matinya aliran listrik

2.4.4 Perhitungan Waktu Baku

Langkah pertama untuk melakukan perhitungan waktu baku adalah menghitung faktor penyesuaian dan faktor kelonggaran. Adapun rumus yang digunakan untuk faktor penyesuaian adalah:

$$P = 1 - p \dots\dots\dots(2.5)$$

Dimana faktor penyesuaian (P) merupakan 1 dikurangi total nilai setiap kelas yang terdapat pada faktor penyesuaian (p). Sedangkan rumus yang digunakan dalam menentukan faktor kelonggaran adalah:

$$L = \sum l \dots\dots\dots(2.6)$$

Dimana faktor kelonggaran (L) merupakan jumlah dari setiap kelas yang terdapat pada faktor kelonggaran (l).

Waktu proses yang sudah diuji kecukupan datanya diolah menjadi waktu siklus dengan menggunakan rumus:

$$WS = \frac{\sum X}{n} \dots\dots\dots(2.7)$$

Waktu siklus digunakan untuk menghitung waktu normal dengan memperhatikan faktor penyesuaian. Rumus yang digunakan untuk menghitung waktu normal adalah:

$$WN = WP \times P \dots\dots\dots(2.8)$$

Dimana waktu normal (WN) didapatkan dengan cara mengalikan waktu proses (WP) dengan faktor kelonggaran (P).

Setelah diperoleh waktu normal, maka langkah selanjutnya adalah menghitung waktu baku. Rumus untuk menghitung waktu baku adalah:

$$WB = WN + L(WN) \dots\dots\dots(2.9)$$

Waktu baku (WB) diperoleh dari waktu normal (WN) ditambah waktu normal (WN) yang telah dikalikan faktor kelonggaran (L).

2.5 *Linear Programming*

Linear Programming merupakan suatu cara yang lazim digunakan dalam pemecahan masalah pengalokasian sumber-sumber yang terbatas secara optimal. Persoalan pengalokasian akan muncul apabila seseorang diharuskan untuk memilih atau menentukan tingkat aktivitas yang akan dilakukannya, di mana masing-masing aktivitas membutuhkan sumber yang sama sedangkan jumlahnya terbatas. Contoh sederhana dari uraian tersebut, antara lain keadaan bagian produksi suatu perusahaan yang diharapkan pada masalah penentuan tingkat produksi berbagai jenis produk dengan memperhatikan batasan-batasan faktor produksi, seperti mesin, tenaga kerja, bahan mentah, modal, dan sebagainya untuk memperoleh tingkat keuntungan maksimal atau biaya minimal.

Dalam memecahkan suatu masalah, *Linear Programming* menggunakan model matematis. *Linear* berarti bahwa semua fungsi matematis yang disajikan dalam model ini haruslah fungsi *linear*, atau secara praktis dapat dikatakan bahwa persamaan tersebut bila digambarkan pada grafik akan berbentuk garis lurus. Sedangkan *programming* merupakan sinonim dari perencanaan. Jadi, *Linear Programming* (LP) mencakup perencanaan aktivitas-aktivitas untuk memperoleh suatu hasil optimum, yaitu suatu hasil yang mencerminkan tercapainya sasaran tertentu yang paling baik berdasarkan model matematis di antara alternatif yang mungkin dengan menggunakan fungsi *linear* (Dimiyati, 2001).

Dalam LP dikenal dua macam fungsi, yaitu fungsi tujuan (*objective function*) dan fungsi batasan (*constraint function*). Fungsi tujuan (Z) adalah fungsi yang menggambarkan sasaran atau tujuan di dalam permasalahan LP yang berkaitan dengan pengaturan secara optimal sumber-sumber daya untuk memperoleh keuntungan maksimal atau biaya minimal. Sedangkan fungsi batasan merupakan bentuk penyajian secara matematis batasan-batasan kapasitas yang tersedia yang akan dialokasikan secara optimal ke berbagai kegiatan.

Selain fungsi tersebut, dalam LP juga dikenal karakteristik yang terdiri atas variabel keputusan dan pembatas tanda. Variabel keputusan merupakan variabel yang menguraikan secara lengkap keputusan-keputusan yang akan dibuat. Pembatas tanda yaitu pembatas yang menjelaskan apakah variabel keputusannya diasumsikan hanya berharga *non negative* atau variabel keputusannya boleh berharga positif boleh juga negatif (tidak terbatas dalam tanda). Pada soal maksimasi variabel keputusan harus berharga *non negative*.

Untuk memudahkan pembahasan model LP, digunakan simbol-simbol sebagai berikut:

- m = macam batasan-batasan sumber atau fasilitas yang tersedia
- n = macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas tersebut
- i = nomor setiap macam sumber atau fasilitas yang tersedia ($i=1,2,3,\dots,m$)
- j = nomor setiap macam kegiatan yang menggunakan sumber atau fasilitas yang tersedia ($j=1,2,3,\dots,n$)
- X_j = tingkat kegiatan ke- j

- a_{ij} = banyaknya sumber i yang diperlukan untuk menghasilkan setiap unit keluaran kegiatan j
- b_i = banyaknya sumber (fasilitas) i yang tersedia untuk dialokasikan ke setiap unit kegiatan
- Z = nilai yang dioptimalkan (maksimum atau minimum)
- C_j = kenaikan nilai Z apabila ada penambahan tingkat kegiatan (X_j) dengan satu satuan (unit) atau merupakan sumbangan setiap satuan keluaran kegiatan j terhadap nilai Z

Tabel 2.2 Data untuk model *Linear Programming*

Aktivitas\ Sumber	Penggunaan sumber/unit				Banyaknya sumber yang dapat digunakan
	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
Z atau unit tingkat	c_1	c_2	...	c_n	
	x_1	x_2	...	x_n	

Sumber: Dimiyati (2001)

Dengan demikian, sekarang kita dapat membuat formulasi model matematis dari persoalan pengalokasian sumber-sumber pada aktivitas-aktivitas sebagai berikut:

$$\text{Maksimumkan } Z = c_1x_1 + c_2x_2 + \dots + c_nx_n$$

Berdasarkan pembatas:

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

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

⋮

⋮

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

dan

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

(Tentu saja yang kita cari adalah harga-harga x_1, x_2, \dots, x_n)

Formulasi di atas dinamakan sebagai bentuk standar dari persoalan *Linear Programming* dan setiap situasi yang formulasi matematisnya memenuhi model ini adalah persoalan *Linear Programming*.

2.6 Penjadwalan Produksi

Penjadwalan didefinisikan sebagai pengaturan waktu dari suatu kegiatan yang mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan atau tenaga kerja bagi suatu kegiatan operasi dan menentukan urutan pelaksanaan kegiatan operasi (Baker, 1974). Penjadwalan selalu berhubungan dengan pengalokasian sumber daya yang ada pada jangka waktu tertentu (Pinedo, 2002).

Tujuan dari aktivitas penjadwalan produksi menurut Bedworth dan Bailey (1987) adalah sebagai berikut:

1. Meningkatkan penggunaan sumberdaya atau mengurangi waktu tunggunya, sehingga total waktu proses dapat berkurang dan produktivitas dapat meningkat.
2. Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumber daya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain. Teori Baker mengatakan, jika aliran kerja suatu jadwal konstan, maka antrian yang mengurangi rata-rata waktu alir akan mengurangi rata-rata persediaan barang setengah jadi.
3. Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi *penalty cost* (biaya kelambatan).
4. Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan.

Penjadwalan produksi memiliki beberapa fungsi dalam sistem produksi (Morton dan Pentico, 1993), yaitu:

1. *Loading* (pembebanan) bertujuan mengkompromikan antara kebutuhan yang diminta dengan kapasitas untuk menentukan fasilitas, operator dan peralatan.

2. *Sequencing* (penentuan urutan) bertujuan membuat prioritas urutan pengerjaan dalam pemrosesan order-order yang masuk.
3. *Dispathing*, pemberian perintah-perintah kerja ketiap mesin atau fasilitas lainnya.
4. Pengendalian kinerja penjadwalan.
5. *Updating schedule*, pelaksanaan jadwal selalu ada masalah baru yang berbeda dalam proses pembuatan jadwal.

2.7 Algoritma Campbell, Dudek, and Smith (CDS)

Menurut Ginting (2009), metode yang dikemukakan *Campbell, Dudek and Smith* (CDS) adalah pengembangan dari aturan yang telah dikemukakan oleh Jhonson, yang setiap pekerjaan atau tugas yang akan diselesaikan harus melewati proses pada masing-masing mesin. Penjadwalan yang dilakukan bertujuan untuk mendapatkan harga *makespan* yang terkecil yang merupakan urutan pengerjaan tugas yang paling baik. *Jhonson's rule* adalah suatu aturan meminimumkan *makespan* dua mesin yang disusun paralel dan saat ini menjadi dasar teori penjadwalan. Permasalahan Jhonson diformulasikan dengan job j yang diproses pada dua mesin dengan t_{j1} adalah waktu proses pada mesin 1 dan t_{j2} waktu proses pada mesin 2. Secara sistematis permasalahan ini dirumuskan sebagai berikut:

Job i mendahului job j dalam suatu urutan yang optimum jika $\min \{t_{i,1}, t_{j2}\} \leq \{t_{i,2}, t_{j1}\}$.

Perhitungan metode Jhonson dengan algoritma dilakukan dengan tahapan berikut:

1. Tentukanlah nilai $\{t_{i,1}, t_{i,2}\}$.
2. Jika waktu proses minimum terdapat pada mesin pertama (misal $t_{i,1}$), tempatkan job tersebut pada awal deret penjadwalan.
3. Bila waktu proses minimum didapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}$), job tersebut ditempatkan pada posisi akhir dari deret penjadwalan.

- Pindahkan job-job tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret penjadwalan. Jika masih ada job yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya bila tidak ada lagi job yang tersisa berarti penjadwalan sudah selesai.

Pada algoritma *Campbell Dudek and Smith* (CDS), proses penjadwalan atau penugasan kerja dilakukan berdasarkan atas waktu kerja yang terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi. Dalam permasalahan ini, digunakan n job dan m mesin. Metode algoritma CDS ini adalah metode yang pertama kali ditemukan oleh Campbell, Dudek, dan Smith pada tahun 1965, yang dilakukan untuk pengurutan n pekerjaan terhadap m mesin, CDS memutuskan untuk urutan yang pertama $t_{i,1} = t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}^* = t_{i,m}$ sebagai waktu proses pada mesin pertama dan mesin terakhir. Untuk urutan yang kedua dirumuskan dengan:

$$t_{i,1}^* = t_{i,1} + t_{i,2} \dots\dots\dots(2.10)$$

$$t_{i,2}^* = t_{i,m} + t_{i,m-1} \dots\dots\dots(2.11)$$

Sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan dua mesin yang terakhir untuk urutan ke- k :

$$t_{i,1}^* = \sum_{k=1}^k t_{i,k} \dots\dots\dots(2.12)$$

$$t_{i,2}^* = \sum_{k=1}^k t_{i,m-k+1} \dots\dots\dots(2.13)$$

Perhitungan metode *Campbell, Dudek, and Smith* (CDS) dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

- Ambil urutan pertama ($k=1$). Untuk seluruh tugas yang ada, carilah harga $t_{i,1}^*$ dan $t_{i,2}^*$ yang minimum, yang merupakan waktu proses pada mesin pertama dari kedua.
- Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{i,1}$), selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal bila waktu minimum didapat pada mesin kedua (misal $t_{i,2}$), tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
- Pindahkan tugas-tugas tersebut hanya dari daftarnya dan urutkan. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya bila tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai.