

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 PEMBAGIAN SISTEM MANUFAKTUR

Industri yang bergerak dibidang manufaktur merupakan suatu usaha yang merubah bahan baku (raw material) menjadi suatu bentuk yang mempunyai suatu nilai tambah dibandingkan dengan bentuk berupa bahan baku. Selain itu, usaha ini juga menghasilkan suatu produk yang sesuai dengan keinginan konsumen. Proses perubahan ini disebut sebagai manufaktur atau produksi.

Manufaktur terdiri dari beberapa proses yang membutuhkan berbagai sumber daya, seperti tenaga kerja, modal, dan bahan baku, yang harus direncanakan dan dikontrol sehingga proses-proses yang ada dapat berjalan sesuai rencana. Semua sumber daya diatas merupakan hal yang penting untuk direncanakan dan dikontrol dengan baik namun terdapat hal penting yang mempengaruhi performansi proses aliran yaitu aliran bahan baku.

Suatu industri manufaktur yang berorientai pada pasar akan memusatkan perhatiannya pada pemenuhan harapan konsumen terhadap produk yang dihasilkan. Salah satu harapan konsumen terhadap suatu produk yaitu mempunyai jangka waktu pengiriman (*delivery lead time*) yang singkat sehingga industri manufaktur harus mempunyai strategi untuk mempunyai harapan konsumen ini. Menurut *Arnold*, terdapat lima strategi dasar yaitu :

1. *Engineer-to-Order*

Strategi ini menunjukkan bahwa spesifikasi yang diminta oleh konsumen memerlukan desain yang berbeda-beda antara konsumen yang satu dengan konsumen yang lain sehingga produk akan didesain dan diproduksi setelah ada permintaan dari konsumen. Perusahaan yang menggunakan strategi ini tidak mempunyai sistem persediaan. Jangka waktu pengiriman (*delivery lead time*) cukup panjang karena di dalamnya termasuk jangka waktu pembuatan desain dan jangka waktu pembelian bahan baku.

2. *Make-to-Order*

Strategi ini menunjukkan bahwa perusahaan tidak akan mulai melakukan produksi sebelum menerima order dari konsumen. Perusahaan yang menggunakan strategi ini hanya mempunyai desain produk dan beberapa material standar dalam sistem persediaan dilihat dari produk yang telah dibuat sebelumnya. Jangka waktu pengiriman pada strategi ini berkurang karena waktu pembuatan desain sangat singkat dan persediaan (*inventory*) yang ada disimpan dalam bentuk bahan baku.

3. *Assemble-to-Order*

Strategi ini menunjukkan bahwa produk akhir dibuat dari beberapa komponen standar dan dirakit sesuai dengan permintaan konsumen. Komponen-komponen tersebut disimpan oleh perusahaan sebagai persediaan. Jangka waktu pengiriman semakin berkurang karena tidak

dibutuhkannya waktu desain dan persediaan yang ada dapat langsung dirakit.

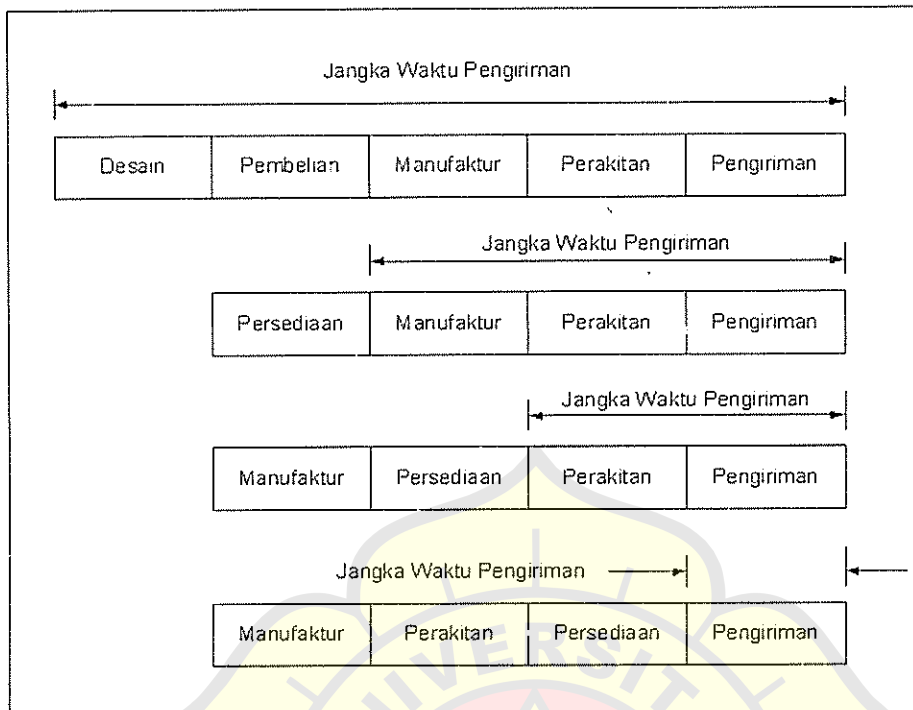
4. *Make-to-Stock*

Strategi ini menunjukkan bahwa perusahaan mempunyai persediaan dalam bentuk produk akhir dan dapat langsung dijual kepada konsumen. Jangka waktu pengiriman pada strategi ini sangat pendek jika dibandingkan dengan ketiga strategi sebelumnya.

5. *Make-to-Demand*

Dalam strategi make to demand, penyerahan produk dari perusahaan berkaitan dengan kualitas dan waktu penyerahan secara tepat berdasarkan keinginan pelanggan. Strategi make to demand dapat diterapkan pada produk – produk industri yang telah berada pada tahap menurun (*declining stage*) dari siklus hidup produk (*product life cycle*), karena produk – produk itu membutuhkan features dan pilihan – pilihan (*option*) yang lebih banyak disertai dengan harga yang lebih rendah serta waktu penyerahan lebih cepat agar dapat bertahan di pasar yang sangat kompetitif itu.

Keempat strategi tersebut di atas dapat dilihat pada gambar berikut ini beserta penggambaran jangka waktu pengirimannya (*delivery lead time*).



Gambar 2.1 Strategi Manufaktur dan Jangka Waktu Pengiriman

(Sumber : Arnold, 1998: hal. 4)

Suatu industri manufaktur harus memiliki strategi yang berkaitan dengan desain proses manufaktur. Strategi menunjukkan bagaimana suatu produk dibuat atau diproses. Gasperz membagi strategi desain proses manufaktur menjadi lima kategori, yaitu :

1. *Project*

Dalam suatu proyek, material, peralatan, dan personel dibawa ke lokasi proyek itu. Bentuk proyek digunakan apabila terdapat suatu kebutuhan khusus dan memiliki batas waktu penyelesaian.

2. *Job Shop*

Dalam suatu job shop, produk dibuat dalam bentuk *batch*. *Job Shop* mengorganisasikan peralatan dan tenaga kerja ke dalam pusat-pusat kerja (*work centers*) berdasarkan jenis pekerjaan, misalnya: proses *mixing* berada dalam pusat kerja pertama, proses *drilling* berada dalam pusat kerja kedua, dan perakitan berada dalam pusat kerja ketiga.

3. *Line flow*

Line flow process menyusun pusat-pusat kerja dalam urutan operasi yang membuat produk sehingga terkadang disebut sebagai *product flow*. Hal ini disebabkan karena produk mengalir mengikuti urutan yang sama dalam proses produksi. Contoh aliran proses ini yaitu lini perakitan pada industri otomotif. Pada dasarnya terdapat tiga jenis *line flow*, yaitu *small batch line flow*, *large batch line flow*, dan *continuous line flow*.

- *Small batch line flow*

Aliran proses ini memiliki semua karakteristik *line flow* tetapi tidak memproses produk yang sama secara terus menerus. Contoh industri yang menggunakan aliran ini yaitu industri obat-obatan.

- *Large batch line flow*

Biasanya aliran ini mengacu pada produk-produk diskrit dalam volume besar di mana produk yang dihasilkan mempunyai variasi jenis.

- *Continuous batch line flow*

Aliran ini mengacu pada produksi terus menerus dalam volume besar seperti proses penyulingan minyak, baja, dan sebagainya.

4. *Flexible manufacturing system (FMS)*

Pada dasarnya sistem ini merupakan suatu *automated cell* yang digunakan untuk menghasilkan sekelompok part. Biasanya, sistem ini menggunakan mesin-mesin yang sudah dikendalikan oleh komputer, sehingga memungkinkan *part* diproduksi tanpa disentuh atau dipegang oleh manusia.

5. *Agile manufacturing system (AMS)*

Sistem ini memungkinkan industri memperoleh banyak manfaat yang oleh FMS tanpa menggunakan otomatisasi yang ekstensif.

2.2 PERENCANAAN PRODUKSI

Dalam suatu sistem perencanaan, terdapat dua faktor yang harus diperhitungkan yaitu faktor prioritas (*priority*) dan faktor kapasitas (*capacity*). Faktor prioritas merupakan faktor yang berkaitan dengan permintaan, seperti jenis produk yang dibutuhkan, jumlah produk yang dibutuhkan, dan waktu produk yang dibutuhkan. Sedangkan faktor kapasitas merupakan faktor yang berhubungan dengan sumber daya. Kapasitas adalah kemampuan industri manufaktur untuk memproduksi barang dan jasa di mana kemampuan ini bergantung pada sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan seperti mesin, tenaga kerja, sumber keuangan, dan ketersediaan material dari supplier.

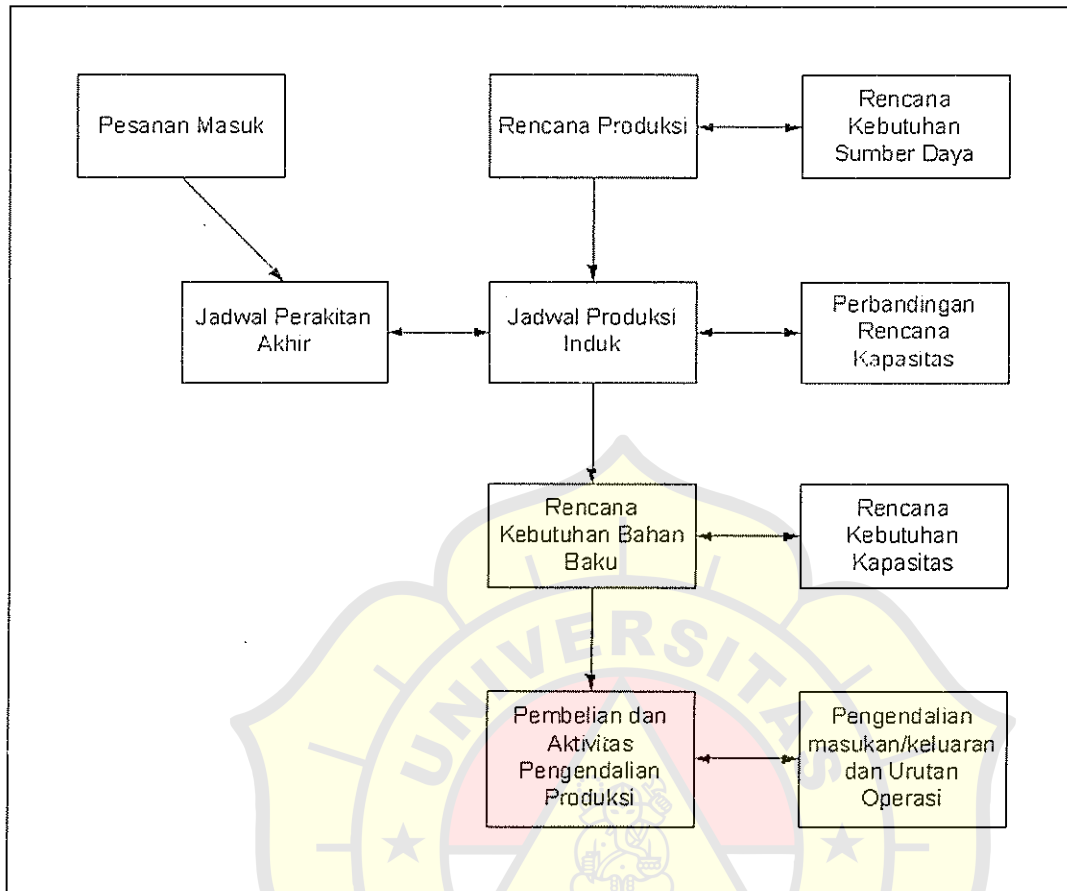
Kedua faktor di atas merupakan faktor terpenting dalam suatu perencanaan dan keduanya harus seimbang.

Perencanaan produksi merupakan salah satu aspek dalam strategi bisnis suatu perusahaan di mana di dalam perencanaan produksi terdapat beberapa hal yang harus diperhatikan seperti jumlah tiap jenis produk yang harus diproduksi untuk setiap periode, tingkat persediaan yang diinginkan, kebutuhan sumber daya untuk setiap periode, dan ketersediaan sumber daya yang dibutuhkan. Biasanya, jangka waktu perencanaan yang dimiliki oleh suatu rencana produksi yaitu selama 12 bulan. Pembuatan rencana produksi mempunyai serangkaian kegiatan seperti menghitung sumber daya yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pasar, membandingkan hasil perhitungan dengan sumber daya yang tersedia, dan memperbaiki rencana produksi yang ada untuk menyeimbangkan antara kebutuhan dengan ketersediaan sumber daya.

Pembuatan rencana produksi mempunyai cara yang berbeda untuk setiap lingkungan industri yang berbeda sehingga pembuatan rencana produksi pada lingkungan *make-to-stock* akan berbeda dengan pembuatan pada lingkungan *make-to-order*. Hal ini disebabkan karena pada lingkungan *make-to-order*, produksi akan berjalan jika perusahaan sudah menerima order dari konsumen, sedangkan pada lingkungan *make-to-stock* produksi dapat berjalan meskipun perusahaan belum menerima order dari konsumen. Selain itu, lingkungan *make-to-order* mempunyai kemungkinan untuk mengalami

backlog, yaitu jumlah permintaan konsumen yang tidak dapat dipenuhi perusahaan. Biasanya, hal ini disebabkan karena perusahaan *make-to-order* tidak mempunyai persediaan berupa produk akhir. Permintaan yang tidak dapat dipenuhi ini akan dikirimkan pada periode berikutnya sehingga akan mempengaruhi rencana produksi periode selanjutnya.

Tahap selanjutnya dari pembuatan rencana produksi yaitu pembuatan MPS (*Master Production Schedule*) dan rencana kebutuhan bahan baku di mana kegiatan pembuatan MPS merupakan suatu aktivitas penjadwalan produksi yang akan dibahas pada subbab selanjutnya. Dengan adanya MPS dan MRP (*Material Requirement Planning*), proses produksi dapat berjalan berdasarkan rencana yang telah dibuat. Untuk mengetahui kesesuaian antara pelaksanaan dengan rencana produksi yang telah dibuat, dilakukanlah aktivitas pengendalian produksi. Aktivitas ini berkaitan dengan penentuan apakah MPS tersebut berjalan sesuai rencana atau tidak. Jika tidak berjalan sesuai dengan rencana, diperlukan suatu tindakan perbaikan pada MPS tersebut. Dalam aktivitas pengendalian produksi, diperlukan beberapa informasi yaitu *item master file*, *bill of material*, *routing file*, dan *work center master file*.



Gambar 2.2 Hubungan MPS dengan Aktivitas Perencanaan Lainnya

(Sumber : Arnold, 1998: hal. 53)

Item master file berisi keterangan-keterangan setiap nomor *part* yang diproduksi seperti nomor *part*, deskripsi *part*, waktu yang dibutuhkan untuk memproduksinya, dan sebagainya. *Bill of material* merupakan suatu daftar yang berisi keterangan kuantitas kebutuhan tiap item, komposisi, atau material yang dibutuhkan untuk merakit, mencampur, atau memproduksi suatu produk akhir.

Routing file berisi keterangan mengenai operasi manufaktur yang dilakukan untuk membuat suatu produk. Daftar ini juga berisi deskripsi tiap-tiap operasi, peralatan yang digunakan, waktu *setup*, waktu proses, dan waktu perpindahan produk. *Work center file* berisi keterangan mengenai tiap pusat kerja yang ada seperti kapasitas, jumlah *shift* tiap minggu, jumlah mesin tiap *shift*, waktu tunggu, dan sebagainya.

2.3 PENJADWALAN PRODUKSI

Penjadwalan produksi (*production scheduling*) adalah suatu aktivitas penyusunan dan penaikan rencana untuk memproduksi produk akhir yang berkaitan dengan kuantitas dan periode waktu. Jangka waktu penjadwalan produksi yang biasa digunakan yaitu mingguan dan harian.

Penjadwalan produksi mempunyai beberapa tujuan, di antaranya antara lain adalah :

1. Pemenuhan waktu pengiriman ke konsumen.
2. Meningkatkan penggunaan dan efisiensi sumber daya.
3. Mengurangi kuantitas persediaan.
4. Memberikan kepuasan pada pelanggan.

Salah satu aktivitas dalam penjadwalan produksi yaitu pembuatan MPS yang merupakan tahapan sesudah dibuatnya rencana produksi. MPS ini menjadi dasar komunikasi antara penjualan dan produksi. MPS merupakan suatu perencanaan produksi yang berisi jumlah produk yang dihasilkan pada

setiap periode dan termasuk sebagai faktor prioritas (*priority*) dalam produksi. Menurut *Adam et al*, tujuan pembuatan MPS adalah menyeimbangkan permintaan pasar dengan ketersediaan bahan baku, tenaga kerja, dan peralatan produksi.

Untuk membuat MPS, diperlukan beberapa informasi seperti rencana produksi, peramalan setiap produk, permintaan konsumen, persediaan dan kapasitas produksi yang dimiliki. MPS memberikan informasi mengenai jenis produk yang diproduksi yang dimiliki. MPS memberikan informasi mengenai jenis produk yang diproduksi, jumlah produk, dan waktu produksi sehingga pihak pemasaran dan produksi dapat mengetahui waktu produk tersebut siap dikirim. Selain itu juga diperlukan informasi mengenai waktu manufaktur (*manufacturing lead time*).

Menurut *Tersine*, waktu manufaktur adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproduksi suatu produk pada tipe dan jumlah tertentu. Waktu manufaktur terdiri dari lima elemen, yaitu :

1. Waktu mengantri (*queue time*)

Waktu mengantri adalah waktu yang dibutuhkan untuk menunggu di pusat kerja sebelum operasi dimulai.

2. Waktu *setup* (*setup time*)

Waktu *setup* adalah waktu yang dibutuhkan untuk mempersiapkan pusat kerja sebelum operasi.

3. Waktu proses (*processing time*)

Waktu proses adalah waktu yang dibutuhkan untuk memproses suatu pekerjaan.

4. Waktu menunggu (*wait time*)

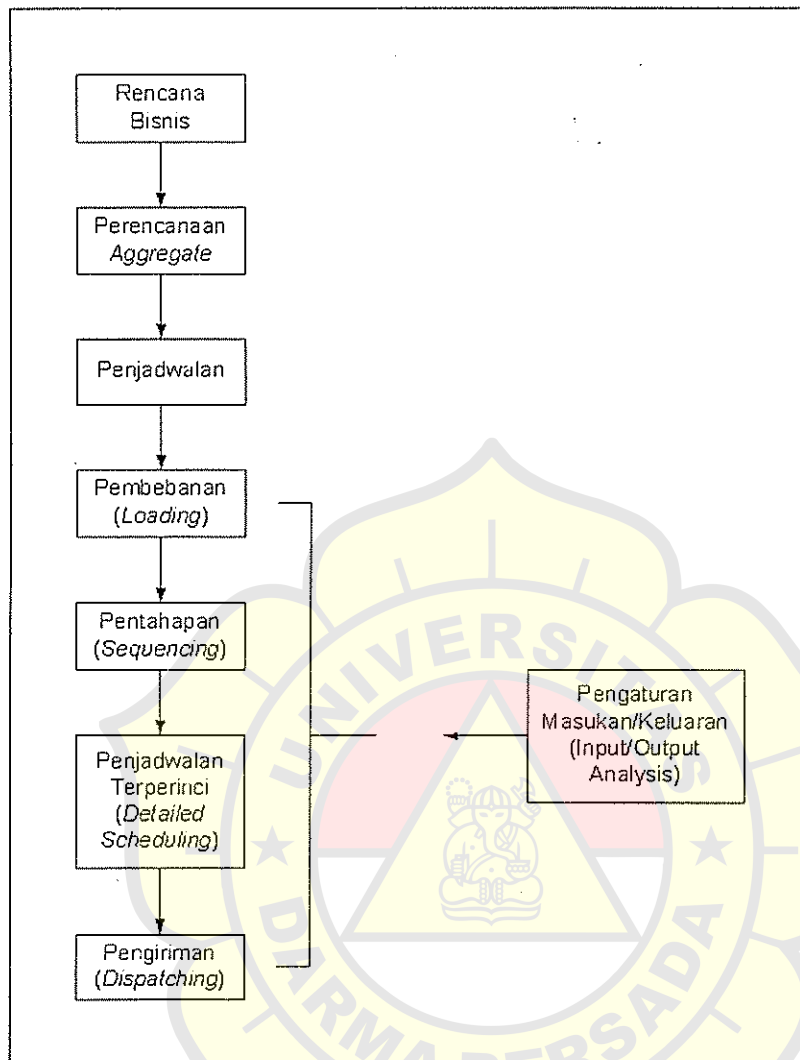
Waktu menunggu adalah waktu yang dibutuhkan untuk menunggu di pusat kerja sebelum dipindahkan ke pusat kerja selanjutnya.

5. Waktu berpindah (*move time*)

Waktu berpindah adalah waktu yang dibutuhkan untuk memindahkan suatu pekerjaan dari pusat kerja yang satu ke pusat kerja selanjutnya.

Dalam pembuatan MPS, terdapat tiga tahapan yang harus dilaksanakan yaitu pembuatan MPS awal, memeriksa MPS awal dibandingkan dengan kapasitas yang tersedia, dan mencari jalan keluar jika terdapat ketidaksesuaian MPS awal dengan kapasitas yang tersedia. Ketidaksesuaian ini akan menyebabkan adanya perbaikan pada MPS awal.

Dalam penjadwalan produksi, terdapat beberapa hal yang saling berkaitan yaitu analisis pemasukan dan pengeluaran (*input-output analysis*), pembebanan (*loading*), tahapan (*sequencing*), dan pengiriman (*dispatching*). Hubungan penjadwalan produksi dengan keempat hal di atas dapat dilihat pada gambar berikut ini.



Gambar 2.3 Tahapan Perencanaan Total dan Penjadwalan
 (Sumber : Schroeder, 2000 : hal. 95)

Secara umum, penjadwalan produksi mempunyai dua macam teknik penjadwalan, yaitu

1. Penjadwalan maju (*forward scheduling*)

Teknik penjadwalan ini mengasumsikan bahwa pengadaan bahan baku dan jadwal operasi untuk setiap komponen dimulai ketika order diterima

pada suatu tanggal tertentu. Operasi dijadwalkan mulai dari tanggal tersebut secara maju. Biasanya, metode ini digunakan untuk menentukan tanggal pengiriman produk lebih awal.

2. Penjadwalan mundur (*backward scheduling*)

Dalam teknik penjadwalan ini, operasi terakhir pada suatu tahapan proses dijadwalkan pertama kali dan harus selesai sesuai dengan tanggal yang sudah ditentukan. Untuk operasi-operasi sebelumnya, dijadwalkan sesudah operasi terakhir. Biasanya, teknik penjadwalan mundur digunakan pada sistem MRP. Keuntungan menggunakan teknik penjadwalan ini yaitu mengurangi persediaan barang setengah jadi (*work in process*).

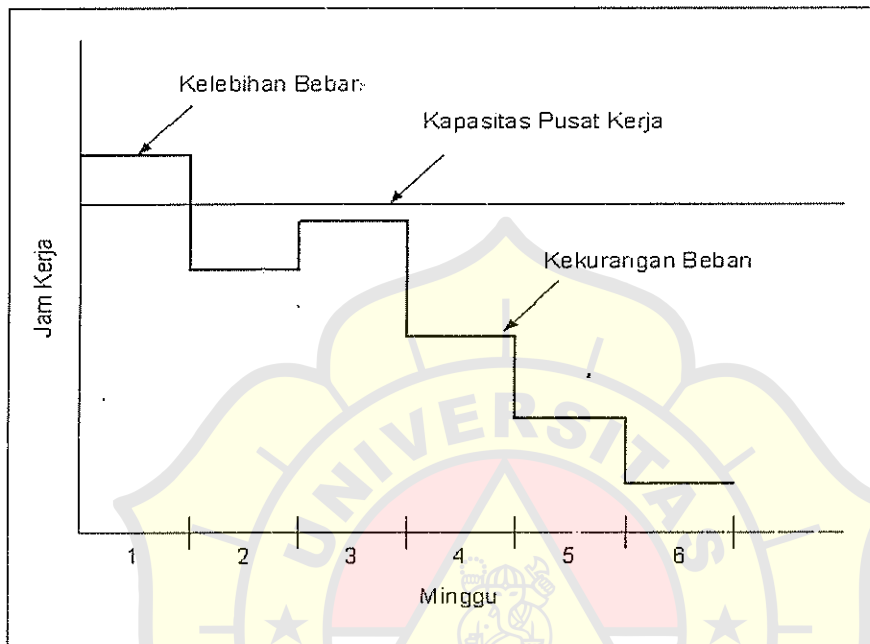
Penjadwalan produksi pada proses produksi *job shop* merupakan suatu proses pengurutan pekerjaan untuk lintas produk yang tidak beraturan di mana tata letak yang digunakan berdasarkan fungsi peralatan.

Pembebanan (*loading*) merupakan suatu keadaan di mana sejumlah pekerjaan dtugaskan ke suatu pusat kerja untuk menjalani proses. Total jam atau jumlah pekerjaan digunakan untuk memperoleh perkiraan kapan perintah akan dikeluarkan atau apakah kapasitas cukup.

Pembebanan mempunyai dua macam pendekatan yang berkaitan dengan penjadwalan produksi, yaitu :

1. Pembebanan tak terbatas (*infinite loading*)

Pendekatan ini mengasumsikan bahwa pusat kerja mempunyai kapasitas yang tidak terbatas sehingga penugasan tiap pekerjaan ke suatu pusat kerja tidak memperhitungkan kapasitas pusat kerja tersebut.



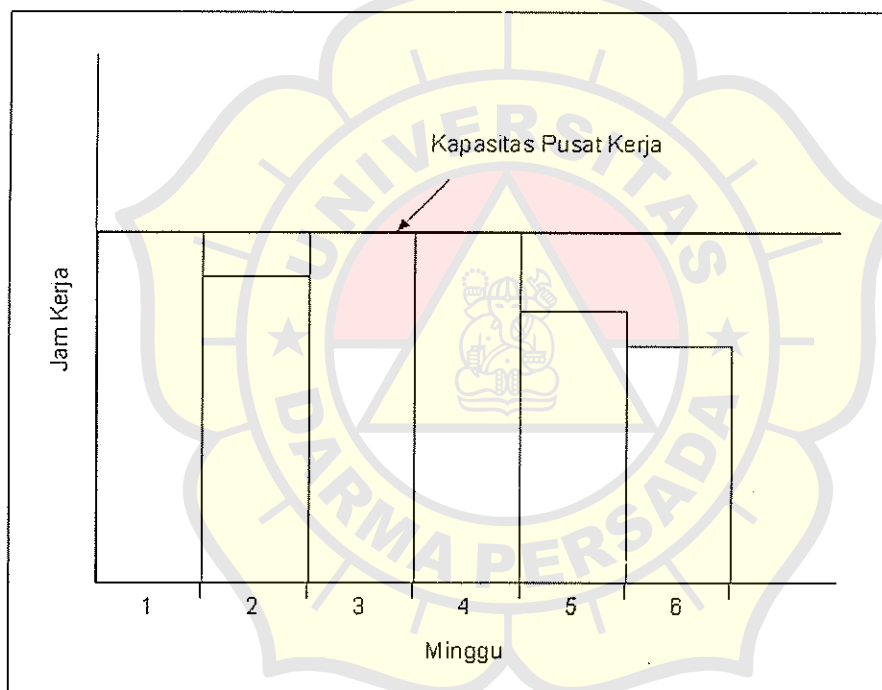
Gambar 2.4 Pembebanan Tak Terbatas
(Sumber : Adam dan Ebert, 1996 : hal. 418)

Oleh karena pendekatan tak terbatas tidak memperhatikan kapasitas tiap pusat kerja maka pusat kerja dapat mengalami kekurangan beban (*undeloaded*) atau kelebihan beban (*overloaded*). Untuk mengetahui keadaan pusat kerja setelah dilakukan pembebanan, dapat digunakan *visual load profile*. Keadaan pusat kerja ini dapat dilihat dengan membandingkan beban yang diberikan dengan kapasitas yang tersedia.

2. Pembebanan terbatas (*Finite loading*)

Pembebanan terbatas merupakan suatu pendekatan pembebanan di mana setiap pekerjaan ditugaskan ke pusat kerja dengan menentukan waktu mulai dan selesainya suatu pekerjaan disesuaikan dengan kapasitas yang tersedia.

Jika tidak tersedia kapasitas yang dibutuhkan maka pekerjaan tersebut harus dikerjakan pada periode yang berbeda. Kurangnya kapasitas bisa disebabkan karena adanya pengerjaan pekerjaan lainnya.



Gambar 2.5 Pembebanan Terbatas

(Sumber : Adam dan Ebert, 1996 : hal. 418)

Dalam penjadwalan produksi, sering ditemukan beberapa pekerjaan dikerjakan oleh satu pusat kerja sehingga diperlukan pengaturan agar pekerjaan-pekerjaan tersebut dapat dikerjakan disesuaikan dengan

kapasitas pusat kerja tersebut. Pengaturan tersebut digunakan untuk mengetahui pekerjaan mana yang akan dikerjakan terlebih dahulu dan bagaimana urutan kerja dari pekerjaan-pekerjaan berikutnya. Oleh karena itu, diperlukan suatu aktivitas pentahapan (*sequencing*) yang dilakukan dengan memberikan prioritas pada pekerjaan yang ada. Pekerjaan dengan prioritas tertinggi akan dikerjakan terlebih dahulu.

Dalam pentahapan, terdapat beberapa aturan prioritas yang digunakan, yaitu :

1. *First come first serve* (FCFS)

Aturan prioritas ini memberikan prioritas tertinggi kepada pekerjaan yang tiba lebih dulu di pusat kerja. Oleh karena itu, aturan pentahapan ini memperhitungkan waktu kedatangan masing-masing pekerjaan.

2. *Earliest due date* (EDD)

Pada aturan Prioritas ini, prioritas tertinggi diberikan kepada pekerjaan yang mempunyai tanggal pengiriman yang lebih cepat dibandingkan dengan pekerjaan lain. Aturan ini tidak memperhitungkan waktu kedatangan dan waktu proses tiap pekerjaan.

3. *Shortest processing time* (SPT)

Pada aturan ini, prioritas tertinggi diberikan kepada pekerjaan yang mempunyai waktu proses tersingkat dibandingkan dengan pekerjaan lainnya pada pusat kerja yang sama. Aturan ini tidak memperhitungkan saat pengiriman dan urutan kedatangan tiap pekerjaan.

4. *Least slack* (LS)

Aturan prioritas ini memberikan prioritas tertinggi kepada pekerjaan yang memiliki *slack time* paling kecil. *Slack time* merupakan selisih antara waktu sisa yang dimiliki suatu pekerjaan sampai saat pengiriman dengan waktu proses pekerjaan tersebut.

5. *Critical ratio* (CR)

Aturan prioritas ini memberikan prioritas tertinggi kepada pekerjaan yang memiliki *critical ratio* paling kecil. *Cratio* paling kecil merupakan perbandingan antara waktu yang tersisa sampai saat pengiriman dengan waktu proses yang tersisa.

Dalam waktu proses yang tersisa, termasuk semua elemen waktu manufaktur dan merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan. Dengan menggunakan aturan ini, dapat diketahui pekerjaan mana yang terlambat dari jadwal, sesuai jadwal, atau lebih cepat dari jadwal.

Berdasarkan definisi yang ada, aturan pentahapan ini memperhitungkan waktu proses dan saat pengiriman.

Aturan pentahapan yang digunakan dalam suatu proses produksi dapat merubah seiring waktu berjalan, disesuaikan dengan kondisi yang ada seperti fluktuasi permintaan, kerusakan mesin, pembatalan order, dan sebagainya.

Sebuah proses *job shop* dikatakan mempunyai penjadwalan produksi yang layak jika :

1. Seluruh operasi dan semua pekerjaan yang sudah dikerjakan.
2. Ketentuan pengurutan sudah dipenuhi seperti tidak adanya overlap antara operasi.

2.4 THEORY OF CONSTRAIN

TOC (*Theory of Constraints*) diperkenalkan pertama kali oleh Eliyahu M Goldratt dalam buku *The Goal : A process of On Going Improvement* pada tahun 1985. TOC merupakan suatu filosofi sistem manajemen yang berprinsip bahwa kendala (*constraint*) mengakibatkan keterbatasan kinerja untuk setiap sistem. Oleh karena itu, diperlukan berbagai upaya untuk memaksimalkan performasi dari kendala ini.

TOC mempunyai prinsip yang berhubungan dengan perbaikan secara terus menerus (*continous improvement*). Hal ini dapat dilihat ketika suatu kendala sudah dapat di atasi, dilakukan kembali identifikasi kendala lainnya kemudian dilakukan peningkatan performasi sehingga kendala tersebut tidak menjadi suatu kendala lagi. Tindakan ini dilakukan kembali secara berulang lagi dimana tindakan ini mencerminkan suatu perbaikan yang bersinambungan.

Pada dasarnya, TOC merupakan metode manajemen produksi yang mengidentifikasi dan mengatur kendala dalam proses produksi. Kendala

adalah segala sesuatu yang membatasi system untuk mencapai performasi yang lebih tinggi sesuai dengan tujuannya. Secara umum, terdapat tiga macam kendala yang sering ditemukan yaitu :

1. Kendala sumber daya internal

Kendala ini merupakan kendala yang sering ditemukan dalam suatu proses produksi berupa keterbatasan-keterbatasan yang berhubungan mesin, pekerja, peralatan, dan sebagainya. Kendala ini sering mengakibatkan bottleneck pada proses produksi.

2. Kendala pasar

Kendala pasar terjadi ketika permintaan pasar terhadap suatu produk lebih kecil dibandingkan kapasitas produksi yang dimiliki perusahaan hal ini menyebabkan tingkat produksi harus mengikuti permintaan pasar.

3. Kendala kebijakan

Kendala kebijakan ini dapat muncul baik dari dalam maupun luar perusahaan dimana kebijakan ini membatasi tingkat produksi suatu perusahaan. Salah satu contoh kendala kebijakan yaitu adanya kebijakan untuk tidak bekerja lembur.

Ketiga macam kendala di atas dapat menghambat perusahaan untuk mencapai tujuan yang sudah ditetapkan sekaligus dapat menurunkan performansi perusahaan. Untuk mengetahui performansi suatu perusahaan,

dapat dilihat dari dua sudut pandang yaitu dari segi keuangan dan segi operasional.

Sistem manajemen TOC biasanya terdiri dari unsur-unsur sebagai berikut :

1. Logistik dan penjadwalan

Metodologi-metodologi yang digunakan dalam unsur ini yaitu DBR (*drum buffer rope*), *buffer management*, dan *supply chain management* digunakan untuk membangun dan mengendalikan arus material ke produk jadi dalam lingkungan TOC.

2. Pengukuran Kinerja (*performance measurement*)

Pengukuran kinerja ini dilakukan berdasarkan tiga faktor, yaitu *throughput*, persediaan, dan biaya operasi.

3. *Thinking process*

Proses ini terdiri atas diagram sebab akibat beserta komponen-komponennya yang digunakan untuk mencari jalan keluar dari suatu permasalahan.

4. Manajemen proyek

Konsep-konsep standar dalam penjadwalan dan manajemen proyek adalah CPM dan PERT.

5. Segmentasi pasar

TOC menawarkan pandangan-pandangan kepada perusahaan dalam area variasi produk (*product mix*) dan penetapan harga produk (*product pricing*).

Dari unsur-unsur di atas, terlihat bahwa TOC dapat digunakan pada berbagai aplikasi dan dapat digunakan bersama dengan teknik manajemen lainnya.

TOC mempunyai lima langkah untuk mencapai tujuan memperbaiki kinerja perusahaan, yakni :

1. Mengidentifikasi kendala dalam sistem

Langkah pertama adalah mengidentifikasi kendala-kendala dalam sistem yang membatasi pencapaian tujuan. Dalam langkah ini dapat ditemukan berbagai macam kendala seperti yang telah dijelaskan sebelumnya.

2. Menentukan cara untuk mengeksplotasi kendala

Pada langkah ini, ditentukan cara yang dapat dilakukan untuk memaksimalkan performansi dari kendala tersebut. Langkah ini terkait langsung dengan tujuan TOC yaitu mengurangi persediaan dan memperbaiki kinerja.

3. Mensubordinasikan semua sumber non kendala terhadap kendala dari sistem

Pada langkah ini, semua sumber daya harus dikoordinasikan untuk memenuhi kebutuhan kendala. Sumber daya yang digunakan termasuk sumber daya non kendala.

4. Meningkatkan kendala dari sistem

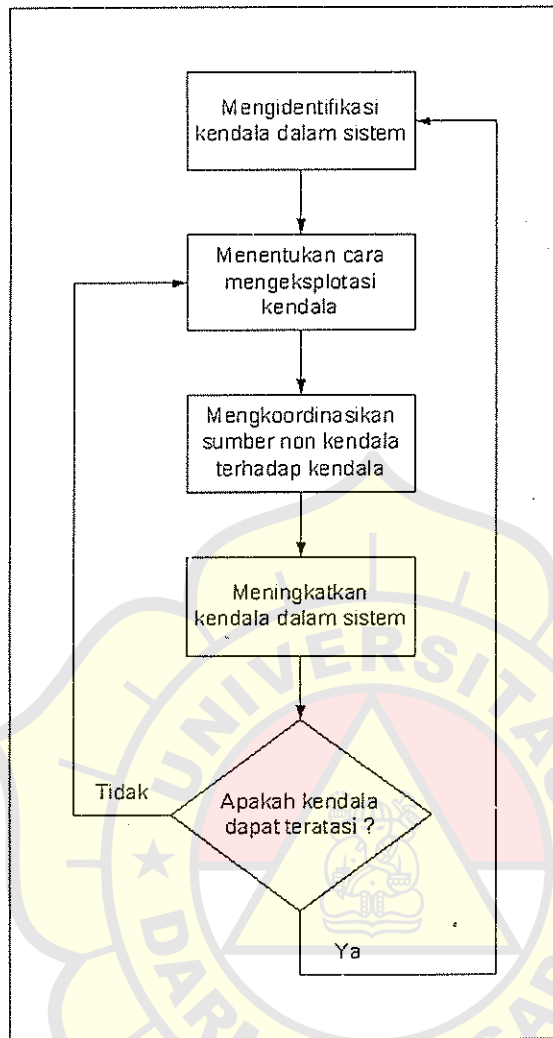
Pada langkah ini, dilakukan suatu program perbaikan berkelanjutan dengan mengurangi keterbatasan kendala yang mengikat dimana hal ini

mempengaruhi kinerja perusahaan. Hal ini dapat dilakukan dengan membeli mesin, alat-alat kedua, atau menerapkan teknologi baru.

5. Jika terdapat kendala baru, kembali ke langkah pertama

Bila kendala yang ada sudah dapat diatasi, terdapat suatu kemungkinan bahwa terdapat kendala baru sehingga dilakukan tahapan dimulai dari langkah satu.





Gambar 2.6 Lima Langkah TOC

(Sumber : Tersine, 1994 : hal. 439)

Berkaitan dengan prinsip TOC, Goldratt mempunyai sembilan aturan penjadwalan produksi, yaitu :

1. Jangan seimbangkan kapasitas, seimbangkan aliran bahan baku.
2. Tingkat penggunaan sumber daya non kendala ditentukan oleh beberapa kendala dalam sistem.
3. Penggunaan sumber daya tidak sama.
4. Kehilangan satu jam pada kendala mengakibatkan kehilangan satu jam pada sistem secara keseluruhan.
5. Mengurangi waktu satu jam pada sumber daya non kendala tidak ada artinya.
6. Sumber daya kendala menentukan tingkat *throughput* dan persediaan dalam sistem.
7. Sebaiknya ukuran *lot transfer* tidak sama dengan ukuran *lot proses*.
8. Sebaiknya lot proses bervariasi baik sepanjang *routing* maupun saat proses.
9. Prioritas hanya dapat ditentukan dengan mengamati kendala pada sistem. Pada suatu proses produksi, kendala dapat berupa keterbatasan kapasitas di mana kendala ini biasanya dikenal dengan nama *bottleneck*.

2.5 DRUM BUFFER ROPE

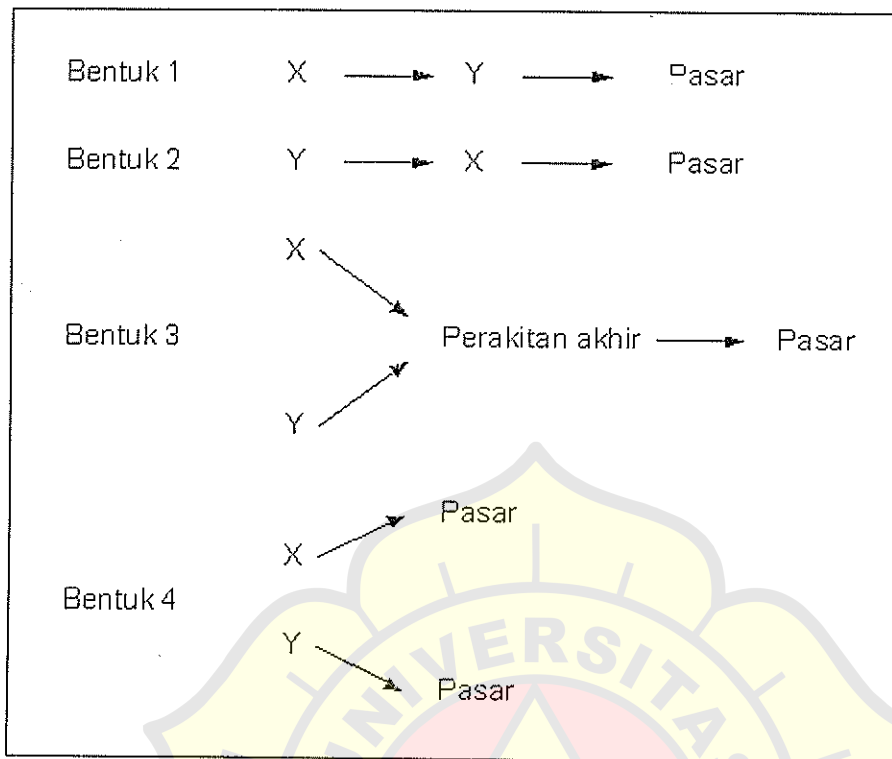
Penjadwalan DBR merupakan metode penjadwalan yang berdasarkan pada TOC. Metode ini menyatakan bahwa sebagian besar perusahaan

beroperasi dengan sedikitnya suatu kendala. Selain itu terdapat kemungkinan yang cukup besar bahwa stasiun kerja yang ada mempunyai kapasitas dan waktu proses yang sama.

Jika suatu proses mempunyai kendala yang membatasi performansinya maka dapat dikatakan proses tersebut mengalami *bottleneck*. *Bottleneck* adalah sumber daya yang mempunyai kapasitas lebih kecil dibandingkan dengan permintaan yang ada. Dapat dikatakan bahwa *bottleneck* merupakan suatu kendala yang membatasi *throughput*. Kapasitas adalah waktu yang tersedia untuk melakukan produksi tanpa memperhitungkan waktu pemeliharaan dan *downtime*.

Selain *bottleneck*, terdapat dua istilah yang berkaitan dengan kapasitas produksi yaitu *nonbottleneck* dan CCR (*Capacity Constrained Resource*). *Nonbottleneck* merupakan sumber daya yang mempunyai kapasitas lebih besar dibandingkan dengan jumlah permintaan yang ada, sedangkan CCR merupakan sumber daya dengan utilisasi hampir mendekati kapasitas dan dapat menjadi *bottleneck* jika tidak diadwalkan dengan baik.

Secara umum, proses manufaktur dapat disederhanakan menjadi empat bentuk dasar seperti pada gambar berikut.



Gambar 2.7 Bentuk Dasar Proses Manufaktur
(sumber : Chase et al, 2001: hal 670)

Pada gambar di atas, simbol X menunjukkan proses yang mengalami *bottleneck* dan simbol Y menunjukkan proses *nonbottleneck*. Untuk menentukan *bottleneck*, terdapat dua cara yang dapat dilakukan yaitu:

1. Melihat kapasitas sumber daya.
2. Menggunakan pengetahuan kita tentang pabrik tertentu, melihat sistem operasi, dan melakukan wawancara dengan pengawas serta pekerja.

Kapasitas sumber daya didapat dengan melihat pembebanan setiap sumber daya sesuai dengan produk yang diprosesnya.

Pendekatan DBR mampu mengenali sumber daya yang menjadi kendala dan memberikan perlakuan khusus terhadap sumber daya tersebut. berdasarkan sembilan aturan yang dikemukakan oleh Goldratt, diketahui bahwa performansi suatu proses suatu proses produksi ditentukan oleh sumber daya kendala . oleh karena itu kegiatan perencanaan, penjadwalan dan pengendalian terhadap semua sumber daya kendala.

Setiap sistem produksi memerlukan beberapa titik kontrol untuk mengontrol aliran produk dalam sistem. Jika dalam sistem terdapat *bottleneck*, *bottleneck* ini merupakan tempat yang tepat untuk melakukan kontrol. Alasan menggunakan *bottleneck* sebagai titik kontrol adalah untuk memastikan bahwa proses sebelumnya tidak memproduksi secara berlebihan sehingga meningkatkan jumlah WIP yang tidak dapat ditangani oleh *bottleneck*.

Dalam penjadwalan DBR, terdapat tiga istilah yaitu *drum*, *buffer*, dan *rope*. *Drum* merupakan kendala dalam DBR dimana sumber daya tak terbatas harus dijadwalkan sehingga sesuai dengan sumber daya terbatas. *Buffer* merupakan suatu waktu penyangga (*time buffer*) yang digunakan untuk melindungi *drum* dari gangguan yang ada pada proses sebelumnya. Gangguan ini dapat disebabkan oleh adanya kerusakan mesin, waktu setup yang terlalu lama, pengiriman material yang tidak tepat waktu, dan sebagainya. *Rope* merupakan jadwal yang berisi waktu pelepasan material ke dalam sistem. Jadwal ini dibuat untuk membuat seluruh stasiun kerja beroperasi sesuai dengan kecepatan produksi *drum* yang berarti stasiun kerja

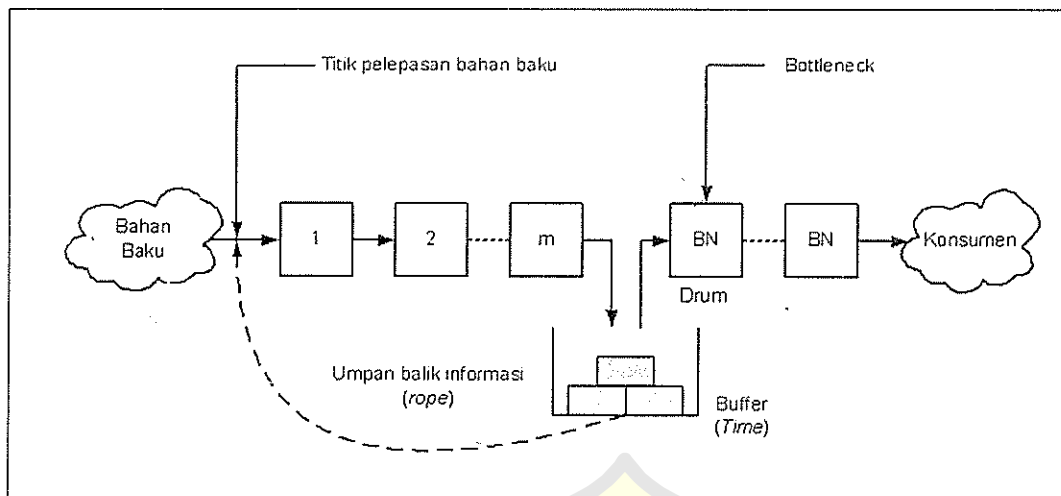
awal hanya akan memproduksi sebesar jumlah produksi stasiun kerja kendala.

Penjadwalan DBR dilakukan melalui beberapa tahapan yaitu :

1. Pengidentifikasi kendala
2. Penentuan ukuran penyangga yang digunakan untuk memastikan bahwa kendala selalu bekerja. Penyangga tersebut diletakkan di depan atau *bottleneck*. Penyangga di depan *bottleneck* berupa penyangga waktu. Selain itu, dapat disertai dengan penentuan *shipping buffer*.
3. Pembuatan jadwal pelepasan material dengan melakukan penjadwalan mundur dari tanggal selesainya pekerjaan.

Jika terdapat pekerjaan baru yang akan diproses melalui stasiun kendala, harus dilihat berapa banyak pekerjaan yang sudah ada di sistem yang akan melalui stasiun kerja. Jika penyangga sudah penuh, pekerjaan baru tersebut tidak dilepas sampai satu pekerjaan selesai diproses. Tipe penjadwalan ini akan membuat stasiun kendala tetap bekerja dan inventori WIP akan berkurang.

Menurut *chase*, jika *drum* bukan *bottleneck* melainkan CCR maka terdapat dua lokasi penyangga yaitu di depan CCR dan di depan stasiun pengiriman. Inventori berupa barang jadi akan melindungi permintaan pasar sedangkan penyangga berupa waktu di depan CCR akan melindungi *throughput*.



Gambar 2.8 Metode *Drum Buffer Rope*

(Sumber : Sipper et.al., 1997 : hal. 578)

Jika kendala hanya terdapat di proses produksi, waktu penyangga diletakkan di depannya untuk melindungi kapasitas. Jika kendala hanya terdapat pada permintaan pasar, waktu penyangga diletakkan di depan stasiun pengiriman. Hal ini tidak berlaku untuk flow proses yang tidak mengalami kendala [under load].

Seperti telah dijelaskan sebelumnya, penyangga yang diletakkan di depan pusat kerja kendala berupa waktu penyangga. Menurut *hurley*, besarnya waktu penyangga dapat ditentukan dengan memperhatikan lamanya suatu gangguan terbesar yang dapat terjadi dalam suatu sistem produksi dan waktu yang dibutuhkan untuk memperbaiki ke kondisi semula. Menurut *Ghazanfari* dan *Golmohammdi* besarnya waktu penyangga ditentukan dengan menggunakan faktor pengali yaitu sebesar 3 kali dari waktu proses produksi dari awal hingga proses sebelum pusat kerja kendala. Pendapat ini juga

waktu penyangga yaitu selama besar waktu penyangga lebih besar daripada total waktu terjadinya *breakdown* pada pusat non kendala ditambah total waktu proses yang dibutuhkan oleh pusat kerja non kendala sebelum pusat kerja kendala maka pusat kerja kendala dapat berjalan dan tidak akan kehilangan material.

Dalam suatu sistem produksi, jika gangguan yang terjadi semakin berkurang dan relatif kecil maka faktor pengali yang digunakan untuk menetapkan besarnya waktu penyangga dapat dikurangi sesuai dengan kebijakan perusahaan.

2.6 PENGENDALIAN

2.6.1 Pengertian Pengendalian

Fungsi dari Production Activity Control (PAC) adalah melakukan aktivitas – aktivitas sebagaimana telah direncanakan, melaporkan hasil – hasil operasi, dan memperbaiki atau merevisi rencana – rencana yang diperlukan untuk mencapai hasil yang diinginkan. PAC melakukan umpan balik melalui pengukuran output actual dan membandingkannya dengan rencana – rencana. Dengan demikian PAC merupakan komponen esensial dari close loop MRP.

PAC mencakup aktivitas – aktivitas keseluruhan dari shop floor scheduling and control yang disebut sebagai shop floor control, serta

sebagian aktivitas – aktivitas penjadwalan dan tindak lanjut terhadap pemasok.

2.6.2 Tujuan Pengendalian

Tujuan dari pengendalian produksi adalah sebagai berikut ;

- Customer satisfaction

Sasaran untuk tingkat pelayanan harus ditetapkan dan performansi diukur untuk menjamin bahwa pelayanan telah diberikan secara tepat. Beberapa elemen yang penting dalam hal ini adalah : kualitas produk, ketersediaan produk apabila diinginkan, harga yang kompetitif, penyerahan tepat waktu, dan lain – lain.

- Meminimumkan investasi inventori

Pengendalian yang baik akan mencapai aliran produksi yang lancar (smooth production flow) dengan inventori minimum dalam pabrik dan waktu tunggu yang pendek. Pengendalian yang jelek dari aktivitas produksi akan membutuhkan tambahan investasi dalam inventori bahan baku dan produk akhir guna menutupi kelemahan dalam perencanaan dan pelaksanaan produksi.

- Efisiensi operasi

Ongkos – ongkos manufaktur harus diminimumkan guna memperoleh harga yang kompetitif. Pengendalian ongkos – ongkos membutuhkan operasi yang efisien dari keseluruhan organisasi. Elemen – elemen yang perlu diperhatikan dalam efisiensi operasi adalah : supervisi pabrik dan tenaga kerja tidak

langsung, dukungan dan keterlibatan pekerja, mesin dan peralatan, fasilitas dan pendukung yang efektif.

2.6.3 Laporan Produksi

Umpan balik melalui laporan produksi akan memperbaharui status pesanan, menjaga keseimbangan inventory on hand, dan mengidentifikasi masalah – masalah untuk dapat diambil tindakan korektif. Beberapa hal yang perlu dilaporkan, antara lain :

- Job shop reporting

Kuantitas yang diselesaikan dibandingkan terhadap pesanan manufacturing.

Penyelesaian setiap tugas atau operasi.

Pemberitahuan pergerakan tugas atau operasi.

- Flow production reporting

Kuantitas yang dilaporkan berdasarkan proses atau sel kerja, meskipun beberapa perusahaan memberikan laporan berdasarkan lot yang diproduksi. Laporan produksi untuk flow manufacturing kurang terperinci, hanya memberikan informasi tentang penyelesaian tugas melalui sel kerja atau proses, tidak seperti dalam job shop manufacturing yang memberikan informasi terperinci tentang setiap langkah penyelesaian operasi.

2.6.4 Ukuran Performansi Pengendalian

Ukuran – ukuran pelayanan pelanggan, investasi inventori, dan efisiensi operasi merefleksikan kualitas dari PAC. Karena itu, ukuran – ukuran ini dapat digunakan untuk mengukur performansi dari PAC.

- Pelayanan pelanggan

Pelayanan pelanggan untuk lingkungan manufacturing make to order dan assemble to order diukur melalui performansi dalam memenuhi waktu yang dijanjikan (performance to promise dates). Janji yang diberikan kepada pelanggan berdasarkan waktu tunggu yang dikembangkan untuk jenis produk tertentu atau berdasarkan pada kebutuhan dari pesanan pelanggan individual.

Pelayanan pelanggan untuk lingkungan manufacturing make to stock diukur melalui tingkat pengisian stock dari produk akhir.

- Efisiensi Operasi

Efisiensi dalam organisasi manufacture dapat diukur dengan menggunakan karakteristik sebagai berikut :

Ukuran perbandingan penggunaan dana actual terhadap anggaran yang ditetapkan dari semua departmen dalam industri manufacture itu. Perbedaan yang terjadi harus disesuaikan atau diperbaiki.

Ukuran – ukuran efisiensi operasi yang berkaitan dengan tingkat produktivitas dapat mencakup : ongkos total manufacturing per unit produk, jam tenaga kerja langsung dan tidak langsung per unit produk, dan lain – lain.

- Investasi Inventori

Performansi inventori dapat diukur dalam nilai – nilai absolut dan relatif, sebagai berikut :

Nilai uang dari inventori merupakan ukuran absolut, sasaran ditetapkan untuk tingkat inventori bahan baku, work in process, dan produk akhir. Nilai uang actual dari inventori dalam setiap kategori inventori itu diukur pada akhir dari setiap periode perhitungan.

Ukuran – ukuran relatif membandingkan tingkat inventori terhadap suatu indikator dari aktivitas atau volume seperti : cost of goods sold (COGS) yang dapat dinyatakan dalam inventori turn over ratio.

Work in process merupakan ukuran utama dari performansi PAC, dimana semakin banyak WIP akan meningkatkan investasi inventori. Kelebihan WIP juga menurunkan pelayanan pelanggan dan efisiensi operasi. Pengolahan WIP secara tepat akan meminimumkan WIP inventori, sehingga akan meningkatkan performansi dari PAC.

2.7 ALAT – ALAT PELEBUR

2.7.1 Kupola

1. Kupola Angin Dingin

Proses peleburan berlangsung sebagai berikut :

Setelah penyalaan tercapai dan pintu belakang telah ditutup. *Tanur* diisi dengan muatan sampai setinggi lantai pemuatan. Gas panas yang dihasilkan dari daerah lebur akan naik dan mengeringkan sekaligus memanaskan awal dari muatan. Besi sebagai bagian dari muatan akan mencair bila mencapai

daerah +300 – 400 mm diatas tuyer dan menetes diantara alas kokas.

Pencairan tersebut terjadi akibat panas yang berlebihan.

Selama operasi terjadi pula peristiwa :

- *Netral* yaitu di daerah lebur
- *Oksidasi* yaitu didaerah panas berlebihan
- *Reduksi* yaitu dibagian atas dari *tanur*

Hasil pembakaran adalah gas asam arang (CO_2) yang sebagian *direduksi* oleh karbon dalam kokas menjadi karbon monooksid (CO). Dengan terbentuknya CO ini terjadi keseimbangan dalam tanur yang sangat tergantung dari tekanan maupun suhu. Pada saat gas panas menjadi dingin ketika melalui cerobong atas keluar, kandungan CO kembali menurun, gas yang keluar memiliki komposisi :

CO 1%, O_2 0.3%, CO_2 18%, N_2 sisanya.

2. Kupola Angin Panas

Dalam usaha memperbaiki kekurangan – kekurangan kupola angin dingin, dikembangkan suatu jenis kupola yang lebih ekonomis yaitu kupola angin panas.

Keunggulan lain dari tanur ini adalah :

- Mampu melebur baja beram
- Suhu cairan tinggi
- Komposisi seragam dan bersih

Untuk menghasilkan udara panas ini dikembangkan beberapa metode, seperti pemanfaatan kembali gas buang dengan maupun tanpa pemanasan ulang dan hembusan udara panas dari alat pemanas. Gas buang ini memanaskan udara segar yang dihembuskan kedalam rekuperaton. Gas yang bersih ini digunakan kembali sebagai angin penghembus kedalam kupola.

3. Kupola dengan Hembusan Udara

Ditambahkan saluran penghembus yang terletak tepat di atas daerah pemanasan berlebih dimana gas CO terbentuk. Dengan hembusan ganda ini panas yang terjadi dalam *tanur* akan meningkat dan memanaskan muatan lebih tinggi. Dengan demikian bahan bakar *kokas* pun dapat dihemat hingga 20 – 40 % -nya, disamping itu kemampuan peleburan tanur meningkat dan terutama debu – debu pembakaran sangat berkurang. Hembusan ganda adalah angin dingin, demikian pula hembusan utama, maka menilik kondisi ini tanur kupola yang sebelumnya menggunakan hembusan angin panas, dengan berhasil digantikan oleh kupola angin dingin hembusan ganda.

2.7.2 Tanur Listrik

1. Tanur Induksi

Adalah alat pelebur dengan energi listrik atau berfungsi pula sebagai alat penyimpan cairan panas (termos) sesuai dengan konstruksinya.

Tanur ini dibedakan menjadi dua jenis utama, yaitu tanur induksi saluran (dikonstruksi dengan inti magnit) dan tanur induksi tungku (tanpa inti magnit).

Tanur induksi saluran berfungsi sebagai termos dan bekerja mirip dengan trafo. Hanya disini kumparan sekunder digantikan oleh saluran yang disebut saluran pemanas. Sedangkan tanur induksi tungku yang selanjutnya cukup disebut tanur induksi (tanur berarti alat pelebur), memiliki tungku yang dililit dengan kumparan. Medan magnet induksi terkonsentrasi dalam tungku menjadi panas yang melebur logam.

Berdasarkan frekuensi penggunaannya, tanur induksi dibagi menjadi tanur induksi frekuensi rendah (50 Hz), dan tanur induksi frekuensi menengah (500-10.000 Hz). Disamping itu masih ada jenis tanur induksi dengan konstruksi khusus seperti tanur induksi dengan dua frekuensi, tiga frekuensi, dan empat frekuensi.

Tanur induksi saluran bekerja hanya pada frekuensi rendah saja.

1.1 Tanur induksi saluran

Tanur ini dapat dikonstruksi terbuka maupun tertutup pada salurannya. Walaupun saat ini konstruksi saluran ini tertutup semua. Fungsi tanur ini adalah memanaskan cairan yang dingin atau menahannya pada suhu tertentu. Tanur ini tidak dapat dipergunakan untuk melebur secara langsung. Peleburan hanya dapat dilakukan dengan cara memasukkan bahan baku kedalam cairan yang sudah ada dalam tanur.

Pada saat berhenti operasi, tanur ini harus tetap berisi bahan cair dan tidak dimatikan sama sekali, bahan cair ini selain berfungsi untuk peleburan selanjutnya, juga menjaga agar saluran tidak membeku.

Tanur ini lebih banyak dipergunakan sebagai tanur pendamping untuk mengolah bahan cair hasil peleburan tanur pelebur (misal kupola) secara lebih teliti.

1.2 Tanur induksi

Pada umumnya tanur induksi memiliki konstruksi tanpa saluran dan bahan yang akan dilebur ditempatkan dalam ruang pelebur (tungku) yang dilapisi dengan bahan tahan api.

Tanur ini memiliki keunggulan, dapat dioperasikan langsung dari saat dingin dan selesai peleburan dapat pula dituangkan hingga habis, sehingga dapat digunakan melebur bahan dengan komposisi berbeda – beda.

1.2.1 Tanur induksi frekuensi rendah

Secara konstruksi tanur ini lebih sederhana dari tanur induksi frekuensi menengah, karena tidak diperlukan peralatan perubah frekuensi. Frekuensi yang digunakan adalah 50 Hz. Frekuensi yang rendah mengakibatkan gejala pada cairan didalam tanur namun tidak mampu melebur bahan baku yang berukuran kecil. Maka pada tanur ini harus selalu ditinggalkan cairan paling sedikit $\frac{1}{4}$ dari isi tanur saat penuangan bila tanur akan dioperasikan kembali.

1.2.2 Tanur induksi frekuensi menengah

Keuntungan dari tanur induksi menengah adalah sebagai berikut :

- Kecepatan peleburan tinggi
- Tidak memerlukan cairan pada operasinya

- Dapat lebih sering digunakan untuk melebur bahan dengan komposisi yang berbeda – beda
- Pada peleburan awal, dapat menggunakan bahan baku berukuran kecil.

Tanur ini cocok digunakan pada pengecoran kecil yang mengerjakan coran dari mutu yang berbeda – beda dengan struktur metalurgi khusus.

1.2.3 Tanur induksi dengan dua frekuensi

Kombinasi dari kedua frekuensi ini dalam satu tanur bertujuan untuk mendapatkan keuntungan – keuntungan yang tidak ada pada tanur dengan satu frekuensi.

2. Tanur Busur Api

Tanur busur api adalah tanur bertenaga listrik yang pada dasarnya digunakan untuk melebur baja. Tanur ini terdiri dari sebuah ketel bundar pelat baja yang dilapisi tebal dengan bahan tahan api. Pada tutupnya yang juga dilapisi bahan tahan api terdapat tiga lubang, dari lubang ini dimasukkan batang – batang grafit sebagai elektroda, tegak lurus hingga hampir menyentuh permukaan bahan yang akan dilebur.

Loncatan electron menyebabkan energi panas yang tinggi (hingga 3600°C) berupa busur api antara batang grafit dan bahan yang akan dilebur, memanaskan secara cepat dan melebur bahan. Permukaan kontak antara cairan dan terak yang luas, memberikan kemungkinan yang luas pula bagi

terak untuk mengikat kandungan yang tidak dikehendaki dari dalam cairan (seperti fosfor dan belerang). Kapasitas lebur tanur ini untuk besi maupun baja terletak 1 ton sampai 250 ton. Pada peleburan baja umumnya digunakan tanur dengan kapasitas lebur 30 ton.

Daya yang dibutuhkan pada tanur berkapasitas 10 ton – 12 ton adalah antara 5.5 MV. A dan 6.6 MV. A, pada tanur berkapasitas 120 ton – 150 ton antara 72 MV. A dan 86 MV. A.

Untuk memasukkan bahan baku kedalam tanur, tutup tanur harus digeser kesamping (setelah ketiga elektroda diangkat secara hidrolis). Bahan baku tersebut telah dipersiapkan dahulu di dalam sebuah "keranjang" pelat baja yang pada bagian bawahnya dikonstruksi agar mudah dibuka. "Keranjang" ini digunakan sebagai alat transport bahan kedalam tungku. Keunggulan tanur ini dibidang teknik peleburan dan metalurgi adalah konsentrasi energinya yang tinggi sehingga memiliki daya lebur yang tinggi dan mudah dalam pengoperasiannya.

Keunggulan itu memberikan keuntungan :

- Suhu yang konstan
- Penggunaan terak sebagai reaktor kandungan
- Oksidasi ataupun reduksi cairan untuk membuang gas – gas yang tidak diinginkan
- Mampu menghasilkan cairan dengan mutu tinggi dan paduan yang tepat.

3. Tanur Pijar

Sebuah tanur bertenaga listrik dengan batang grafit horizontal diatas permukaan bahan yang akan dilebur. Batang ini dialiri arus AC 6000 A – 1000 A / 20 V – 60 V hingga berpijar dan menghasilkan panas sekitar 2000⁰C. Tanur ini dipergunakan untuk melebur bahan – bahan besi tuang, tembaga dan paduan tembaga dalam jumlah kecil (1 t – 20 t). Daya yang terpakai untuk melebur besi tuang adalah sekitar 800 Kwh / t.

2.7.3 Tanur Pelebur dengan Gas / Minyak

1. Tanur Berputar

Tanur ini berbentuk tromol yang bagian dalamnya dilapisi dengan bahan tahan api dan dapat berputar. Panas (api) dari bahan bakar minyak maupun gas dihembuskan kedalam tanur yang diletakkan mendatar dan berputar secara perlahan – lahan. Dewasa ini tanur berputar dilengkapi dengan rekuperator yang menghasilkan udara panas dan membantu pembakaran. Dengan cara ini waktu peleburan dipercepat hingga 30%. Tanur berputar umumnya digunakan untuk melebur logam bukan besi dan memiliki kapasitas lebur 0.5 t – 7.5 t untuk logam ringan dan 0.3 t – 10 t untuk logam berat.

2. Tanur Ayun

Tanur ini adalah suatu bentuk lain dari tanur berputar, dimana gerak berputar dirubah menjadi gerak berayun. Tanur ini terutama digunakan untuk melebur aluminium dari bahan beram sisa permesinan.

3. Tanur Pelebur (Tanur Krusible)

Tungku ini berfungsi juga sebagai penyimpan panas (termos), pot terletak didalam sebuah ruang perapian gas maupun minyak secara bebas maupun permanen. Pot permanen biasanya hanya digunakan pada tanur induksi (pot dililit dengan kumparan).

Pengeluaran cairan pada tungku jenis ini dilakukan dengan cara memiringkannya. Pot yang terletak bebas, dapat dikeluarkan maupun diganti – ganti dari perapiannya. Tergantung dari suhu operasinya dipilih pot dari bermacam bahan seperti grafit, silikon, karbid, besi tuang, besi tuang khusus, baja tuang maupun bahan pelat baja.

Tungku pelebur lama menggunakan cara pengeluaran bahan yang sudah cair sekaligus dengan potnya dan langsung menuangkannya kedalam cetakan. Setelah pot kosong dikembalikan lagi kedalam ruang perapian.

2.8 PROSES PRODUKSI BAJA COR

2.8.1 Peleburan

Peleburan dengan busur api listrik dibagi menjadi dua macam proses yaitu proses asam dan proses basa. Cara yang pertama dipakai untuk peleburan sekrup baja dengan kualitas tinggi sedangkan yang kedua dipakai untuk meleburkan baja dengan kualitas biasa.

Dalam peleburan baja, disamping pengaturan komposisi kimia dan temperatur, perlu juga mengatur absorpsi gas, jumlah dan macam inklusi

bukan logam. Untuk menghilangkan gas, ditambahkan bijih besi atau tepung kerak besi selama proses reduksi. Disamping proses tersebut sekarang banyak dipergunakan proses pembuatan baja dengan oksigen. Keuntungan proses ini adalah :

- Biaya peleburan yang rendah
- Mudahnya menaikkan temperatur cairan
- Peningkatan kualitas dengan penghilangan gas
- Mudah memproduksi baja karbon rendah

Dalam proses bijih besi terdapat dua perioda pengoksidaan dan satu perioda reduksi. Pada perioda pengoksidaan pertama, fosfor, mangan silicon dan karbon dioksidasi pada temperatur yang agak rendah. Kecuali gas CO, oksida – oksida timbul ke permukaan ditolong oleh proses penggelembungan dan kemudian larut dalam terak. Setelah pembuangan terak terjadi proses oksidasi yang kedua. Di sini temperatur cairan naik, pemurnian dan penghilangan gas dilakukan dengan jalan proses penggelembungan. Pada akhir dari oksidasi kedua, penggelembungan menjadi reda kemudian terak dibuang lagi. Perioda berikutnya adalah perioda reduksi, dimana oksigen dipaksa dihilangkan oleh Fe-Mn dan Fe-Si.

2.8.2 Penuangan

Cairan baja yang dikeluarkan dari tanur diterima dalam ladle dan dituangkan ke dalam cetakan. Ladel mempunyai irisar berupa lingkaran di mana diameternya hampir sama dengan tingginya. Untuk coran yang besar,

dipergunakan ladel jenis penyumbat, sedangkan untuk coran yang kecil dipergunakan jenis ladel yang dapat dimiringkan. Ladel dilapisi oleh bata tahan api yang mempunyai pori – pori kecil, penyusutas kecil dan homogen. Nozel dan penyumbat terbuat dari bata karbon. Ladel harus sama sekali kering yang dikeringkan lebih dulu oleh burner minyak residu sebelum dipakai. Dalam proses penuangan diperlukan pengaturan temperatur penuangan, kecepatan penuangan dan cara – cara penuangan.

Cara penuangan digolongkan menjadi dua yaitu penuangan atas dan penuangan bawah. Penuangan bawah memberikan kecepatan naik yang kecil dari cairan baja dengan aliran yang tenang. Penuangan atas menyebabkan kecepatan tuang yang tinggi dan menghasilkan permukaan kasar karena cipratannya. Oleh karena itu dalam hal penuangan atas, laju penuangan harus rendah pada permulaan dan kemudian dinaikkan secara perlahan – lahan. Dalam penempatan nozel, harus diusahakan agar tidak boleh menyentuh cetakan. Perlu juga mencegah cipratan dan memasang nozel tegak lurus agar mencegah miringnya cairan yang jatuh.

2.8.3 Pengujian dalam Pengecoran

a. Pengukuran temperatur

Pengukuran temperatur secara langsung dari cairan, dilakukan dengan jalan membenamkan termokopel platina – platina radium yang dilindungi oleh kwarsa atau pipa aluminium yang telah dikristalkan kembali.

b. Pengukuran Terak

Dengan jalan membandingkan warna terak dengan warna standar terak yang komposisinya telah diketahui, maka dapat diperkirakan kebiasaan, kadar oksida besi dan kadar oksida mangan.

2.8.4 Menyingkirkan Pasir dari Rangka Cetak

Cetakan diletakkan diatas meja getar yang mempunyai ayakan, getaran diteruskan ke pasir dan coran melalui rangka cetak sehingga pasir pecah – pecah dan melalui ayakan. Pasir yang jatuh dikumpulkan oleh konveyor ban dan alat lainnya, sehingga hanya coran saja yang ditinggal diatas meja getar.

2.8.5 Penyelesaian

Dipergunakan untuk memisahkan saluran turun dan penambah, sesuai dengan ukuran coran, kualitas bahan dan rencana pengecoran :

- Pematahan
- Pemotongan dengan gas
- Pemotongan dengan busur listrik
- Pemotongan secara mekanik

2.8.6 Perlakuan Panas dari Coran

Perlakuan panas adalah proses untuk memperbaiki sifat – sifat dari logam dengan jalan memanaskan coran sampai temperatur yang cocok dibiarkan beberapa waktu pada temperatur itu, kemudian didinginkan ke temperatur rendah dengan kecepatan yang sesuai. Perlakuan panas yang

dilakukan pada coran adalah : pelunakan temperatur rendah, pelunakan, penormalan, pengerasan dan penemperan.

Pelunakan temperatur rendah adalah proses untuk menghilangkan tegangan disebabkan pengecoran dan tegangan sisa yang masih tertinggal dalam coran sebagai akibat perbaikan pengelasan.

Pelunakan coran dilakukan dengan memanaskannya sampai temperatur yang cukup tinggi kemudian didinginkan perlahan – lahan dalam tungku yang dipakai untuk melunakkan. Pelunakan tersebut mengubah struktur dendrit menjadi struktur kristal yang homogen.

Menormalkan adalah proses untuk memperbaiki struktur kristal dari coran baja dengan jalan memanaskannya pada temperatur 40 sampai dengan 60^o C diatas garis A3 kemudian didinginkan di udara tenang pada temperatur kamar.

Pengerasan adalah memanaskan baja diatas temperatur kritis untuk beberapa waktu kemudian dicelup dingin.

Penemperan adalah proses untuk mendapatkan struktur baja yang stabil dan lebih ulet dengan jalan memanaskan baja yang telah dikeraskan pada temperatur yang cocok.

2.8.7 Perbaikan pada Coran

Penentuan cara perbaikan itu adalah sukar, mengingat harus mempertimbangkan kekuatan, kekakuan dan sebagainya, agar tidak mengganggu kesempurnaan pada penggunaannya, selain itu perlu juga

mempertimbangkan nilai rupa atau baik tidaknya dipandang mata. Mengingat segi kualitas yang sukar diperkirakan maka kemungkinan perbaikan ditentukan melalui percobaan dengan benda tiruan, kemudian standar pengelasannya ditentukan.

a. Perbaikan dengan pengelasan

Untuk perbaikan retakan atau patahan dari baja cor dipakai kemiringan jenis U, jenis V atau jenis X dan untuk cacat macam lain dipakai jenis sumbat yang berdasar bulat dan sisinya bersudut 70° sampai 90° . Permukaan logam yang bersih diperlihatkan dengan mempergunakan sikat kawat, gerinda tangan atau pencukil udara – busur – listrik dan sebagainya. Temperatur berbeda – beda tergantung pada kadar karbon.

b. Perbaikan secara mekanik

Dalam perbaikan mekanis ada beberapa cara seperti penyumbatan, penyesuaian pres dari bumbung, pengunci logam dan sebagainya. Penyesuaian pres dari bumbung adalah cara untuk mengepres bumbung ke dalam lubang yang dibuat lebih besar, cara ini dipergunakan untuk perbaikan kebocoran air dari bagian dengan ketebalan yang cukup dari suatu silinder setelah dikerjakan dengan mesin. Pengunci logam adalah macam jepitan dipergunakan untuk perbaikan retak.

c. Cara – cara lain untuk perbaikan

- Pengisian Plastik

Pengisian plastik adalah campuran bubuk logam dan resin sintetis yang diisikan ke dalam rongga cacat pada coran. Kekuatannya kurang sekali dibandingkan dengan logam, sehingga cara ini dipergunakan hanya untuk memperbaiki rupa.

- Penambalan

Dalam penambalan, lubang – lubang yang pecah pada permukaan coran ditutup pelat baja lunak yang dilas. Logam induk dipanaskan dulu sampai temperatur 160 sampai 190⁰ C.

