

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 KONSEP DASAR SISTEM PRODUKSI

Organisasi Industri merupakan salah satu mata rantai dari sistem perekonomian, karena ia memproduksi dan mendistribusikan produk (barang atau jasa) (Vincent Gaspersz, hal 3) . Produksi merupakan fungsi pokok dalam setiap organisasi yang mencakup aktivitas yang bertanggung jawab untuk menciptakan nilai tambah produk yang merupakan output dari setiap organisasi industri itu.

Produksi ialah bidang yang terus berkembang selaras dengan perkembangan teknologi, dimana produksi memiliki suatu jalinan hubungan timbal balik (dua arah) yang sangat erat dengan teknologi. (ibid, hal 3)

Sistem produksi merupakan sistem integral yang mempunyai komponen structural dan fungsional. Dalam sistem produksi modern terjadi suatu proses transformasi nilai tambah yang mengubah input menjadi output yang dapat dijual dengan harga kompetitif pasar.

Suatu sistem produksi pada perusahaan manufaktur terdiri atas kantor pusat, departemen administrasi, pabrik dan bidang produksi. Kesemuanya itu membentuk strata hirarki perusahaan. (Eiji Ogawa, hal 11) Sistem produksi memiliki beberapa karakteristik sebagai berikut :

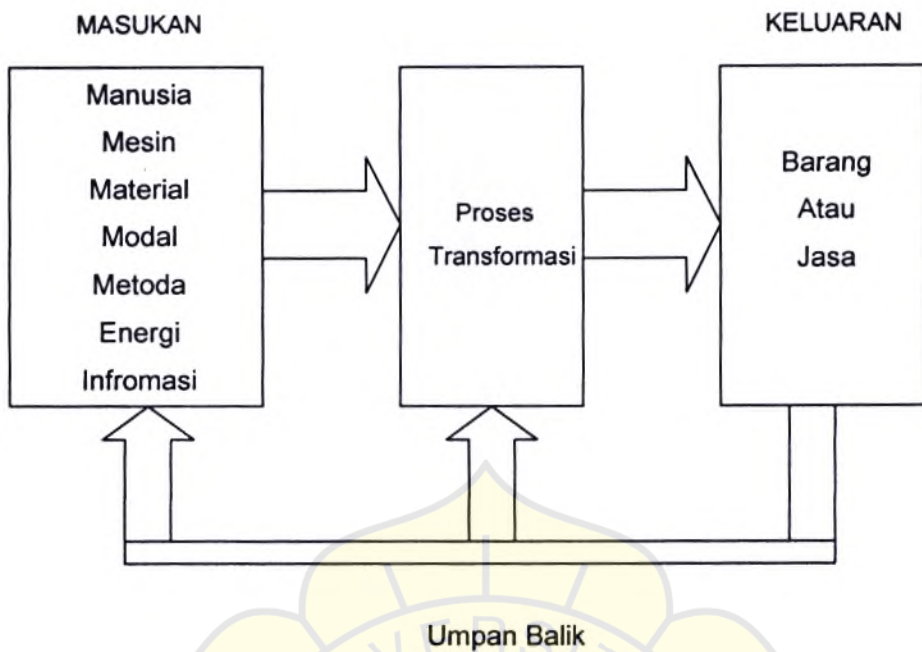
1. Mempunyai komponen-komponen atau elemen-elemen yang saling berkaitan satu sama lain dan membentuk satu kesatuan yang utuh.
2. Mempunyai tujuan yang mendasari keberadaannya yaitu menghasilkan produk atau jasa berkualitas yang dapat dijual dengan harga kompetitif di pasar.
3. Mempunyai aktivitas berupa proses transformasi nilai tambah input menjadi output secara efektif dan efisien.
4. Mempunyai mekanisme yang mengendalikan pengoperasiannya berupa optimalisasi pengalokasian sumber-sumber daya.

2.2 PROSES TRANSFORMASI *

Proses ialah suatu kumpulan tugas yang dikaitkan melalui suatu aliran material dan informasi yang mentransformasikan berbagai input kedalam output yang bermanfaat atau bernilai tambah lebih tinggi.

Kegiatan operasi merupakan bagian dari kegiatan organisasi yang melakukan proses transformasi dari masukan (input) menjadi keluaran (output). Masukan berupa semua sumber daya yang diperlukan (misalnya material, modal, peralatan), sedangkan keluaran berupa barang jadi, barang setengah jadi atau jasa. Proses ini biasanya dilengkapi dengan kegiatan umpan balik untuk memastikan bahwa keluaran yang diperoleh sesuai dengan yang dikehendaki. Gambar 2.1 menunjukkan skema proses transformasi dari masukan menjadi keluaran.

* Edv Herianto. hal 5



Gambar 2.1 Skema Proses Transformasi

Misalnya dalam suatu perusahaan pembuat sepatu, sebagai contoh masukan yang diperlukan antara lain berupa material (misalnya kain kanvas, kulit, sol karet, lem / paku), modal (yang dinyatakan dalam bentuk modal kerja, tanah dan bangunan), mesin dan peralatan, tenaga kerja, metode produksi ataupun kemampuan manajerial pengelola. Melalui proses transformasi masukan itu diolah menjadi keluaran yang memiliki nilai tambah, yang dalam hal ini berupa sepatu. Dalam bidang jasa, misalnya dalam suatu usaha jasa ekspedisi, proses transformasi terjadi jika masukan (tenaga kerja, kendaraan, dan energi) ditransformasikan

menjadi suatu jenis keluaran berupa jasa pelayanan pengangkutan barang dari satu tempat ke tempat yang lain.

Kegiatan umpan balik dilakukan dengan melakukan pengecekan pada beberapa titik kunci dan membandingkannya dengan standar atau acuan yang telah ditetapkan. Apabila terjadi perbedaan antara hasil (keluaran) dan standar maka dilakukan tindakan koreksi, yang berupa perbaikan dalam komponen masukan atau penyempurnaan dalam proses produksi sehingga keluarannya dapat sesuai dengan yang diharapkan.

2.3 PENGERTIAN SISTEM MANUFATUR

Istilah manufaktur banyak digunakan di kalangan industri dan akademis, namun pengertian manufaktur masih rancu hingga saat ini. Pengertian mengenai manufaktur yaitu sebagai berikut : ([http // www.google.com / penjadwalan flow shop /](http://www.google.com/penjadwalan%20flow%20shop/) . diakses : 12 Agustus 2008. 17.04)

1. Manufaktur (*manufacturing*) adalah kumpulan operasi dan aktivitas yang saling berhubungan untuk membuat suatu produk, meliputi : Perancangan produk, pemilihan material, perencanaan proses, perencanaan produksi, produksi, inspeksi, manajemen dan pemasaran.
2. Produksi (*manufacturing production*) adalah serangkaian proses yang dilakukan untuk membuat produk.

3. Proses produksi manufaktur (*manufacturing process*) adalah aktivitas sistem manufaktur terkecil yang dilakukan untuk membuat produk, yaitu proses pemesinan maupun proses pembentukan lainnya.
4. Rekayasa manufaktur (*manufacturing engineering*) adalah kegiatan perancangan, operasi dan pengendalian proses manufaktur.
5. Sistem manufaktur (*manufacturing system*) adalah suatu organisasi yang melaksanakan berbagai kegiatan manufaktur yang saling berhubungan, dengan tujuan menjembatani fungsi produksi dengan fungsi-fungsi lain di luar fungsi produksi, agar dicapai performansi produktivitas total sistem yang optimal, seperti : waktu produksi, ongkos dan utilitas mesin. Aktivitas sistem manufaktur termasuk perancangan, perencanaan, produksi, dan pengendalian. Fungsi lain di luar sistem manufaktur yaitu akuntansi, keuangan dan personel.

2.4 KLASIFIKASI SISTEM MANUFAKTUR

Terdapat berbagai klasifikasi sistem manufaktur, antara lain : ([http // www. google. com / penjadwalan flow shop /](http://www.google.com/penjadwalan_flow_shop/) . diakses : 12 Agustus 2008. 17.04)

1. Tipe produksi

Bertrand, Wortman & Wijngaard (1990) Mengklasifikasikan sistem manufaktur berdasarkan tipe produksi menjadi 4 kategori, yaitu :

a. *Make to Stock* (MTS)

Pada strategi MTS, persediaan dibuat dalam bentuk produk akhir yang siap dipak. Siklus dimulai ketika perusahaan menentukan produk, kemudian menentukan kebutuhan bahan baku, dan membuatnya untuk disimpan. Konsumen akan memesan produk jika harga dan spesifikasi produk sesuai dengan kebutuhannya. Operasi difokuskan pada kebutuhan pemenuhan tingkat persediaan dan order yang tidak diidentifikasi pada proses produksi. Sistem produksi mengembangkan tingkat persediaan yang didasarkan pada order yang akan datang, bukan pada order sekarang. Pada strategi ini, resiko persediaan lebih besar. Contoh produk : makanan, minuman, mainan, dan lain-lain.

b. *Assemble to Order* (ATO)

Strategi ATO, semua subassembly masuk pada persediaan. Ketika order suatu produk datang, perusahaan dapat dengan cepat merakit komponen menjadi produk jadi. Strategi ini digunakan oleh perusahaan yang mempunyai produk modular, yang dapat dirakit menjadi beberapa produk akhir. Strategi ini mempunyai ' *moderate risk* ' terhadap investasi

persediaan. Operasi lebih difokuskan pada modul atau part. Contoh produk : automobile, elektronik, computer komersil, restoran fast food yang menyediakan beberapa paket makanan, dan lain-lain.

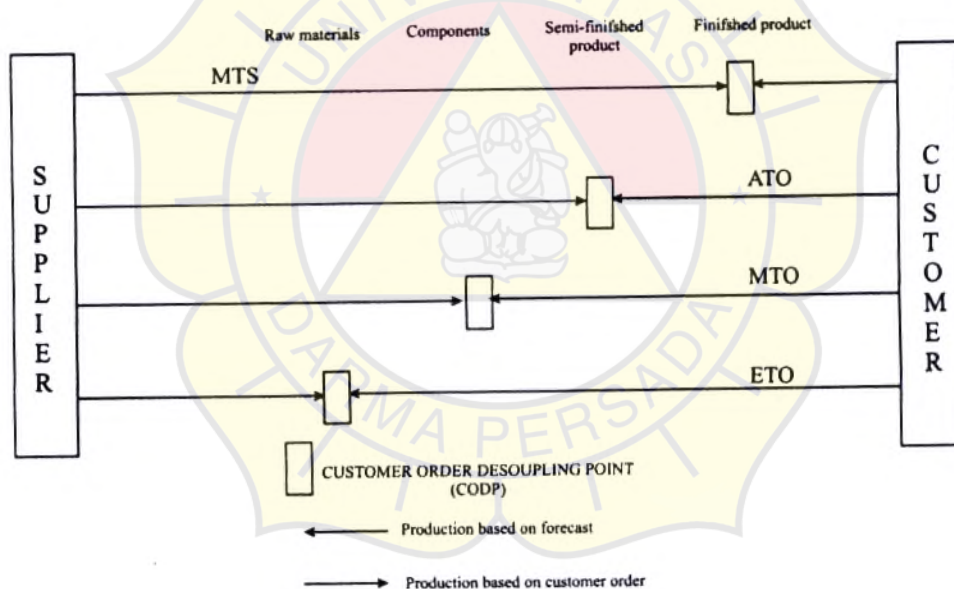
c. *Make to Order* (MTO)

Strategi MTO mempunyai persediaan tetapi hanya dalam bentuk desain produk dan beberapa bahan baku standar, sesuai dengan produk yang telah dibuat sebelumnya. Aktivitas proses berdasarkan order konsumen. Aktivitas proses dimulai pada saat konsumen menyerahkan spesifikasi produk yang dibutuhkan dan perusahaan akan membantu konsumen menyiapkan spesifikasi produk, beserta harga dan waktu penyerahan. Apabila telah dicapai kesepakatan, maka perusahaan akan mulai membuat komponen dan merakitnya menjadi produk dan kemudian menyerahkan kepada konsumen. Pada strategi ini, resiko terhadap investasi persediaan kecil, operasionalnya lebih fokus pada keinginan konsumennya. Contoh produk : komponen mesin, computer untuk riset, dan lain-lain.

d. *Engineering to Order* (ETO)

Dalam ETO, tidak ada persediaan. Produk belum dibuat sebelum ada order. Ketika order datang, perusahaan akan mengembangkan desain produk beserta waktu dan biaya

yang diperlukan. Apabila rancangannya disetujui konsumen, maka produk baru dibuat. Strategi ini tidak mempunyai resiko (*zero risk*) persediaan. Dan cocok untuk produk baru atau unik. Misalnya : kapal, computer untuk militer, prototype mesin baru, dan lain-lain. Operasi lebih difokuskan pada spesifikasi order dari konsumen daripada partnya itu sendiri. Penggambaran masing-masing strategi ini dapat dilihat pada gambar 2.2 dan karakteristiknya dapat dilihat pada tabel 2.1.



Gambar 2.2 Klasifikasi Sistem Manufaktur Berdasarkan Tipe Produksi

Tabel 2.1 Karakteristik Berbagai Sistem Manufaktur

Karakteristik	MTS	ATO	MTO	ETO
Produk	Standard	Keluarga produk tertentu	Tidak punya keluarga produk, <i>customized</i>	<i>Customized</i> total
Kebutuhan produk	Dapat diramalkan			Tidak dapat diramalkan
Kapasitas	Dapat direncanakan			Tidak dapat direncanakan
Waktu produksi	Tidak penting bagi pelanggan	Penting	Penting	Sangat penting
Kunci persaingan	Logistik	Perakitan akhir	Fabrikasi, perakitan akhir	Seluruh proses
Kompleksitas Operasi	Distribusi	Perakitan	Manufaktur komponen	Engineering
Ketidaktejelasan Operasi	Terendah			Tertinggi
Fokus manajemen puncak	Marketing/distribusi	Inovasi	Kapasitas	Kontrak order pelanggan
Fokus manajemen menengah	Kontrol stock	MPS dan order pelanggan	Shop floor control, pelanggan	Manajemen proyek

2. Volume produksi

Bedworth & Bailey, 1987 mengklasifikasikan sistem manufaktur menjadi 3 kategori, yaitu : ([http // www.google.com /](http://www.google.com/) penjadwalan flow shop / . diakses : 12 Agustus 2008. 17.04)

a. Produksi massa

Laju serta tingkat produksi pada produksi massa umumnya tinggi, permintaan terhadap produk yang dihasilkan tinggi, dan peralatan umumnya mempunyai fungsi khusus. Keahlian tenaga kerja tidak terlalu tinggi sebagai akibat dari fungsi peralatan yang khusus.

b. Produksi batch

Ukuran lot produksi adalah medium. Tujuan dilakukannya produksi batch adalah untuk memenuhi kebutuhan konsumen terhadap produk-produk yang diperlukan secara kontinu. Peralatan umumnya mempunyai fungsi umum tetapi dirancang untuk tingkat produksi yang tinggi.

c. Produksi job shop

Tingkat produksi rendah, peralatan mempunyai fungsi umum, keahlian yang diperlukan tenaga kerja cukup tinggi, biasanya membuat berdasarkan pesanan.

2.5 SKEDUL PRODUKSI

Proses produksi perlu direncanakan secara terperinci sebelum proses tersebut dimulai. Penyusunan rencana tersebut adalah menjadi wewenang dari bagian pengendalian produksi. Dalam pembuatan rencana ini perlu difikirkan mengenai jumlah pesanan, tanggal jatuh tempo pesanan, di samping tersedianya bahan tenaga serta mesin-mesinnya.

Suatu pesanan yang masuk tersebut harus disusun urutan pekerjaannya atau urutan proses produksinya, di samping itu kemudian perlu ditentukan skedul-skedul kerjanya bagi tiap-tiap kegiatan di dalam proses produksi tersebut.

Hal ini berarti bahwa perlu ditentukan jalur-jalur urutan-urutan kegiatan dalam proses pembuatan barang itu, dan perlu diperhitungkan waktu yang dibutuhkan untuk melakukan setiap kegiatan dalam penentuan jalur-jalur urutan kegiatan proses produksi ini sering disebut routing, sedangkan penentuan skedul waktu dari masing-masing kegiatan disebut scheduling.

Dalam sebuah fakultas atau akademi, scheduling ini adalah berupa kalender akademis atau jadwal kuliah. Skeduling atau rencana skala waktu bagi suatu industri sering dinyatakan dalam suatu bagan balok. Setelah kedua hal tersebut telah ditentukan maka perintah produksi dapat dilaksanakan, dan begitu proses produksi berjalan maka perlu dilakukan monitoring atau pengawasan terhadap kelancaran proses itu. Hal ini berarti bahwa perlu diawasi bahwa pekerjaan berjalan seperti dalam rencana di atas dan sesuai dengan skedul pula.

Untuk keperluan ini maka perlu diadakan monitoring pada setiap saat untuk dapat mengetahui sedini mungkin terjadinya penyimpangan-penyimpangan dan kemudia secepat mungkin dapat dicarikan jalan keluarnya agar produksi dapat selesai tepat pada waktunya dan kualitasnya pun cukup baik.

2.6 DEFINISI PENJADWALAN

Penjadwalan disusun dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan yang ada. Penjadwalan yang baik akan memberikan dampak positif, yaitu rendahnya biaya operasi dan waktu pengiriman, yang akhirnya dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. Penjadwalan dimulai dengan perencanaan kapasitas yang meliputi fasilitas dan penguasaan terhadap mesin, kemudian jadwal induk membagi rencana kasar dan membuat jadwal keseluruhan untuk output.

Penjadwalan adalah pengaturan waktu dari suatu kegiatan operasi. Penjadwalan mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan ataupun tenaga kerja bagi suatu kegiatan operasi dan menentukan urutan pelaksanaan kegiatan operasi ([http // www.google.com / penjadwalan /](http://www.google.com/) diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 11). Dalam hirarki pengambilan keputusan, penjadwalan merupakan langkah terakhir sebelum dimulainya operasi. Penjadwalan yang menyeluruh menjabarkan perencanaan kapasitas dan jadwal induk ke dalam perencanaan jangka pendek yang meliputi penugasan khusus untuk tenaga kerja, bahan, dan mesin.

Penjadwalan yang baik akan memberikan dampak positif, yaitu rendahnya biaya operasi dan waktu pengiriman, yang akhirnya dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. Penjadwalan jangka pendek menerjemahkan keputusan kapasitas, rencana jangka menengah ke dalam urutan pekerjaan, penugasan khusus terhadap karyawan, bahan baku dan fasilitas.

Sebuah fungsi penting dari pihak manajemen adalah koordinasi dan kendali atas beberapa aktivitas kompleks, termasuk pengalokasian sumber daya yang optimal. Pengalokasian sumber daya yang optimal secara umum berkaitan erat dengan masalah penjadwalan. Persoalan penjadwalan merupakan persoalan pengalokasian mesin yang mempunyai kapasitas dan jumlah yang terbatas dalam suatu jangka waktu tertentu. Morton dan Pentico (1993) mendefinisikan penjadwalan sebagai berikut: ([http // www.google.com /](http://www.google.com/) penjadwalan /. diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 11)

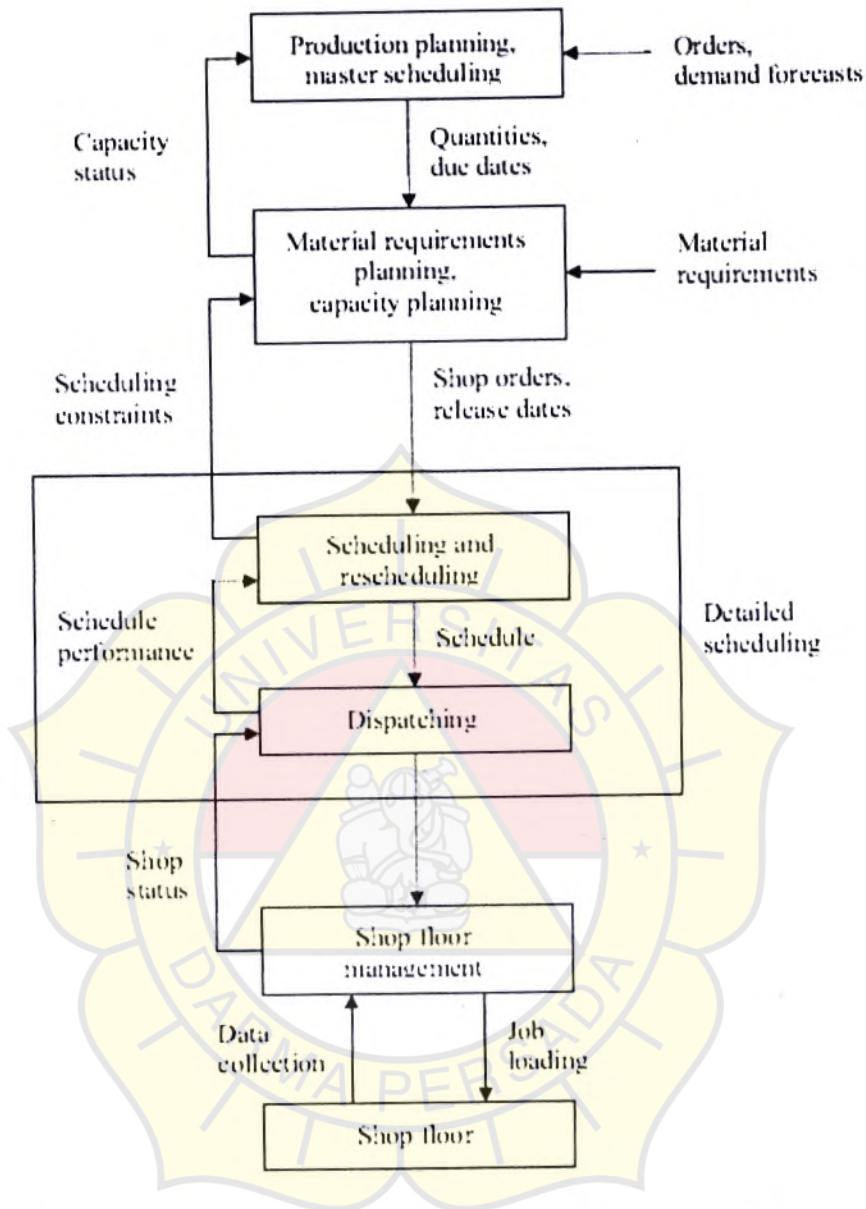
Scheduling is the process of organizing, choosing, and timing resources usage to carry pout all the activities necessary to produce the desired outputs ar the desired times, while satisfying a large number of time and relationship constraints among the activities and the resources.

Dengan kata lain, penjadwalan dapat diartikan sebagai kegiatan untuk mengalokasikan sumber daya yang dimiliki untuk mengerjakan sekumpulan pekerjaan (*job*) dengan sebuah kriteria performansi tertentu. Dalam model-model penjadwalan baik *flow shop* maupun *job shop*, suatu

berbeda dalam suatu situasi dibandingkan dengan situasi dan kondisi yang lain.

Lantai produksi (*shop floor*) bukan merupakan satu-satunya bagian dari organisasi yang mempengaruhi proses penjadwalan. Proses penjadwalan juga akan dipengaruhi oleh proses perencanaan produksi yang menangani perencanaan jangka menengah dan jangka panjang. Proses ini bertujuan untuk mengoptimalkan proses pengerjaan seluruh produk yang ada dan pengalokasian sumber daya jangka panjang yang didasarkan pada tingkat persediaan (*inventory levels*), peramalan permintaan (*demand forecasts*), dan kebutuhan sumber daya (*resources requirements*). Keputusan yang dibuat pada tingkat perencanaan yang lebih tinggi dapat mempengaruhi proses penjadwalan secara langsung.

Hubungan proses penjadwalan dengan sistem lainnya dalam suatu sistem manufaktur perusahaan dan alur informasinya dapat dilihat pada gambar 2.3 ([http // www.google.com /](http://www.google.com/) penjadwalan / . diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 3)



Gambar 2.3 Hubungan proses penjadwalan dengan sistem lain dan alur informasinya

2.6.1 Tujuan Penjadwalan

Tujuan dari penjadwalan menurut *Bedworth* (1987) yaitu: (Arman Hakim Nasution, hal 279)

1. Meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggu, sehingga total waktu proses dapat berkurang, dan produktifitas 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..

2.6.2. Terminologi

Dalam membahas masalah penjadwalan biasanya akan dijumpai beberapa variabel dan istilah. Variabel yang digunakan yaitu variabel $i =$ *job* dan $j =$ operasi.

- 1 Waktu operasi

* [http // www.lspitb.org /](http://www.lspitb.org/). diakses : 12 Februari 2008. 12.14

Merupakan perkiraan waktu penyelesaian suatu operasi j dan suatu *job* i . Perkiraan waktu ini dapat meliputi waktu *set-up* yang mungkin dibutuhkan (yang dapat diasumsikan independen maupun dependen), penghentian mesin, dan waktu pemindahan bahan ke mesin. Simbol yang digunakan untuk waktu proses pekerjaan (*job*) i dengan operasi j adalah t_{ij} .

2 *Completion time* (waktu penyelesaian)

Merupakan rentang waktu antara saat pekerjaan dimulai ($t = 0$), sampai dengan pekerjaan itu selesai. Disimbolkan dengan C_i . *Completion time* disebut juga sebagai *makespan*.

$$C_i = \sum_{j=1}^n t_{ij}$$

3 *Waiting time* (W_j)

Adalah waktu tunggu seluruh operasi dari suatu *job*

$$W_i = \sum W_{ij}$$

4 *Flow time* (F_i)

Adalah selang waktu antara saat suatu pekerjaan dapat dimulai sampai pekerjaan tersebut dapat diselesaikan. Waktu alir atau *flow time* dari suatu pekerjaan dengan demikian akan sama dengan waktu proses ditambah dengan waktu menunggu sebelum pekerjaan tersebut dikerjakan.

$$F_i = t_i + W_i$$

5 Rata-rata *flow time*

Dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$F = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n F_i$$

6 *Due date* (batas waktu)

Merupakan waktu maksimal yang dapat diterima untuk menyelesaikan pekerjaan tersebut. Kelebihan waktu dari waktu yang ditetapkan, merupakan suatu kelambatan. Batas waktu ini disimbolkan dengan d_i .

7 *Lateness* (kelambatan)

Merupakan penyimpangan antara waktu penyelesaian pekerjaan dengan batas waktu tertentu. Suatu pekerjaan akan mempunyai kelambatan positif jika diselesaikan sesudah batas waktu dan kelambatan negatif jika diselesaikan sebelum batas waktu. Simbol kelambatan ini adalah L_i .

$$L_i = C_i - d_i$$

8 Rata-rata *Lateness*

Merupakan rata-rata jumlah penyimpangan antara waktu penyelesaian pekerjaan dengan batas waktu tertentu.

$$L_s = \frac{1}{n} \sum (C_i - d_i)$$

9 *Earliness*

Adalah saat penyelesaian terlalu awal yaitu sebelum *due date*.
Earliness disebut juga dengan *lateness* negatif.

$$E_i = \max\{0, -L_i\}$$

10 *Tardiness* (ukuran kelambatan)

Merupakan ukuran untuk kelambatan positif. Jika suatu pekerjaan diselesaikan lebih cepat dari batas waktu yang ditetapkan, maka mempunyai nilai kelambatan negatif tetapi ukuran kelambatan positif. Ukuran ini disimbolkan dengan T_i , dimana T_i adalah maksimum dari $(0, L_i)$.

$$T_i = \max\{0, L_i\}$$

11 *Slack* (kelonggaran)

Merupakan ukuran yang digunakan untuk melihat selisih waktu antara waktu proses dengan batas waktu yang sudah ditetapkan. *Slack* dinotasikan S_i dan dihitung dengan persamaan:

$$S_i = d_i - t_i$$

2.6.3 Kriteria Optimalitas

Suatu jadwal (*schedule*) yang baik memerlukan suatu kriteria optimalitas. Memaksimalkan keuntungan dan meminimasi biaya adalah contoh kriteria optimalitas yang banyak digunakan. Tetapi sayangnya, sangat sulit untuk memperkirakan parameter keuangan yang

menghubungkan suatu jadwal dengan keuntungan maupun biaya. Dan juga, algoritma yang efisien untuk mengoptimalkan maksimasi keuntungan maupun minimasi biaya untuk model penjadwalan belum diketahui.

Fungsi-fungsi objektif yang umum digunakan di dalam penjadwalan yaitu: *minimizing total flow time/mean flow time, total tardiness, maximum completion time, maximum tardiness*. Kriteria-kriteria yang ada (kecuali C_{max} , L_{max} , dan T_{max}) adalah merupakan penjumlahan dari semua *job* yang ada dengan kuantitas tertentu untuk setiap *job*. Dengan demikian, terdapat sifat ekuivalensi antar kriteria yang ada. Hal ini mengacu pada penjelasan berikut: ([http // www.google.com /](http://www.google.com/) penjadwalan / . diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 9)

Because the sum of processing times is constant, minimizing makespan (C_{max}) is equivalent to minimizing idle time or maximizing utilization of the machines. If holding costs dominate, weighted flowtime is an equivalent measure. Minimizing flowtime is equivalent to minimizing completion time, lateness and job waiting times. Job waiting time is in-process inventory, so minimizing flowtime is equivalent to minimizing the number of jobs in process. Weighted flowtime corresponds to the value of in-process inventory. The number of tardy jobs, maximal tardiness, and total tardiness are measure of customer service.

Beberapa kriteria optimalitas yang ada yaitu sebagai berikut: (*ibid*, hal 10)

- Minimasi *Makespan* : $C \max = \max \{C_i\}$
- Minimasi *Mean Flow time* : $F = \frac{1}{n} \sum F_j$
- Minimasi *Mean Tardiness* : $T = \frac{1}{n} \sum T_i$
- Minimasi *Maximum Flow time* : $F = \max(F_i)$
- Minimasi *Mean Lateness* : $L = \frac{1}{n} \sum L_i$
- Minimasi *Maximum Tardiness* : $T \max = \max(T_i)$

2.6.4. Jenis penjadwalan

Jenis dari penjadwalan produksi akan sangat bergantung pada hal-hal sebagai berikut: ([http // www.google.com / penjadwalan /](http://www.google.com/penjadwalan/). diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 10)

1. Jumlah *job* yang akan dijadwalkan
2. Jumlah mesin yang dapat digunakan
3. Ukuran dari keberhasilan pelaksanaan penjadwalan
4. Cara *job* datang
5. Jenis aliran proses produksi

Jumlah *job* yang dijadwalkan mungkin terdiri dari 1, 2, 3 sampai n *job*, demikian juga dengan jumlah mesin yang dapat digunakan. Ukuran dari keberhasilan pelaksanaan penjadwalan terdiri dari beberapa kriteria yang telah disebutkan di atas. Cara *job* datang dapat dibedakan menjadi

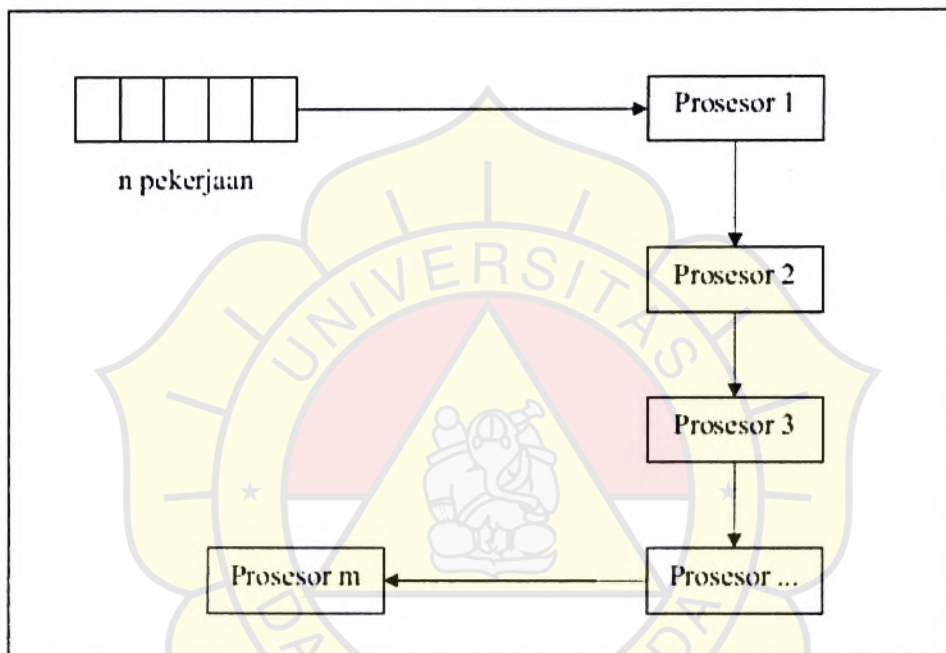
dua, yaitu statis dan dinamis. Cara *job* datang statis adalah bila tidak ada *job* yang

datang pada saat jadwal tersebut dilaksanakan, sedangkan cara *job* datang dinamis adalah bila *job* yang datang pada saat dijadwalkan, sehingga perlu dibuatkan jadwal baru. Jenis dari aliran proses produksi yang digunakan sangat mempengaruhi permasalahan yang akan terjadi pada saat tahap penjadwalan produksi. Karena penjadwalan digunakan untuk mengatur aliran kerja yang melalui suatu sistem, maka faktor kunci yang mendominasi strategi penjadwalan adalah jenis aliran dari desain prosesnya. Jadi, pemilihan metode penjadwalan tergantung apakah tipe aliran yang digunakan merupakan proses kontinu seperti pada pabrik kilang minyak, *flow shop* (dengan produksi massal yang fleksibel atau ketat), *job shop* untuk item-item dengan pesanan khusus atau proyek yang melibatkan produk/jasa yang unik. Beberapa buku mendefinisikan *job shop* dengan pola kedatangan statis sebagai suatu penjadwalan *job shop* dengan urutan proses sama, atau disebut juga dengan *flow shop scheduling*. Penjadwalan ini akan melibatkan *job loading* dan *job sequencing* untuk kasus dengan tanpa *due date* (*due date* sama) maupun dengan *due date*. Sesuai dengan permasalahan yang dibahas pada bab satu, maka teori penjadwalan yang digunakan yaitu penjadwalan "*n*" *job* pada "*m*" prosesor untuk penjadwalan seri. Adapun kriteria yang digunakan untuk mengevaluasi penjadwalan *flow shop* ini yaitu:

Minimasi *Makespan*: $C_{\max} = \max\{C_i\}$

Dan kriteria pendampingnya (digunakan sebagai prioritas kedua dalam Algoritma Genetika), yaitu:

Minimasi *Total Flow Time*: $F_i = t_i + W_i$



Gambar 2.4. Gambaran m prosesor seri

2.6.5. Metode Penjadwalan*

1 Aturan SPT (*Shortest Processing Time*)

Aturan *shortest processing time* berarti pada saat menjadwalkan suatu pekerjaan di satu atau beberapa prosesor, pekerjaan tersebut diurutkan mulai dari waktu pemrosesan (*processing*

* [http : //www.aooale.com/deniadwalan/](http://www.aooale.com/deniadwalan/). diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 12-15

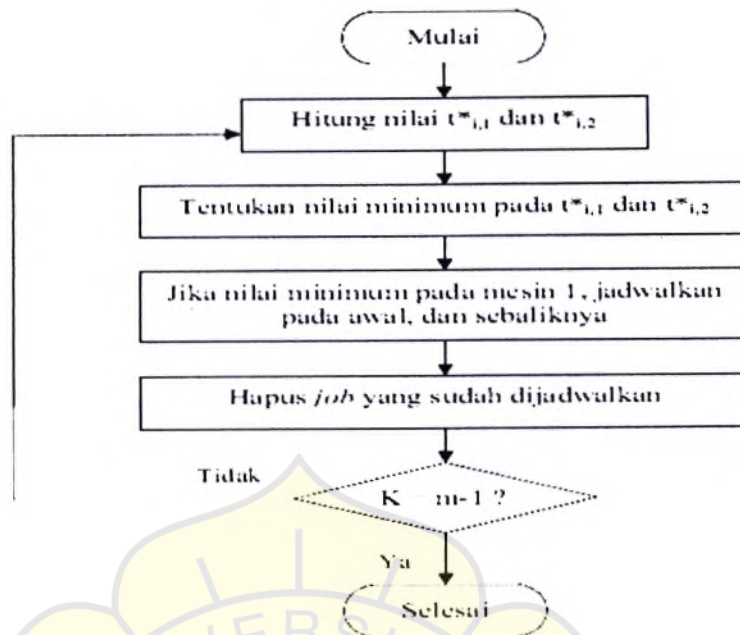
time) terkecil. Aturan SPT ini dapat digunakan untuk meminimasi waktu alir dan meminimasi kelambatan rata-rata.

2 Algoritma Dudek, Campbell, dan Smith

Modifikasi aturan Johnson untuk digunakan pada prosesor seri lebih dari dua diusulkan oleh Dudek, Campbell, dan Smith.

Langkahlangkah algoritma CDS yaitu sebagai berikut:

- 1 Tentukan jumlah alternatif dengan rumus $m-1$.
- 2 Hitung nilai $t^*_{i,1}$ dan $t^*_{i,2}$.
- 3 Tentukan nilai minimum pada $t^*_{i,1}$ dan $t^*_{i,2}$.
- 4 Jika nilai minimum terletak pada mesin 1, jadwalkan pada posisi awal. Jika nilai minimum terletak pada mesin 2, jadwalkan pada posisi akhir.
- 5 Hapus job yang sudah dijadwalkan.
- 6 Ulangi dari langkah 2 sampai iterasi $m-1$, kemudian berhenti.



Gambar 2.5. Flowchart Algoritma CDS

3 Aturan LPT (Longest Processing Time)

Aturan *least processing time* merupakan kebalikan dari aturan *shortest processing time* dimana pada saat menjadwalkan pekerjaan pada satu atau beberapa prosesor, pekerjaan tersebut diurutkan mulai dari waktu pemrosesan (*processing time*) terpanjang.

2.7 PEMBEBANAN PEKERJAAN

Pembebanan melibatkan penyesuaian kebutuhan kapasitas untuk order-order yang diterima / diperkirakan dengan kapasitas yang tersedia. Pembebanan dilakukan dengan menugaskan order-order pada fasilitas-fasilitas, operator-operator, dan peralatan tertentu.

Pembebanan (Loading) berkaitan dengan penugasan pekerjaan kepada pusat-pusat kerja tertentu sehingga biaya proses, waktu kosong, atau pemenuhan waktu dapat dilakukan seminimal mungkin. Jika suatu tugas hanya diproses di suatu pusat kerja tertentu, pembebanan bukan merupakan masalah. Akan tetapi, jika terdapat beberapa pekerjaan yang akan diproses dan terdapat sejumlah pusat kerja yang mampu mengerjakan pekerjaan-pekerjaan itu, maka timbul masalah pembebanan. Dalam hal ini kita memerlukan suatu cara untuk membagi pekerjaan itu kepada pusat-pusat kerja. Ada beberapa pendekatan yang sering dipakai, yaitu Gantt Chart (Bagan Gantt).

2.8 ALGORITMA GENETIKA*

2.8.1 Pendahuluan

Evolutionary algorithm atau Algoritma evolusi merupakan terminologi umum yang menjadi payung bagi empat istilah: *genetic algorithm*, *genetic programming*, *evolution strategies*, dan *evolutionary programming*. Tetapi, jenis algoritma evolusi yang paling populer dan banyak digunakan adalah *genetic algorithm* atau algoritma genetik.

Metode Algoritma Genetika (*genetic algorithm*) dikembangkan oleh John Holland, seorang pengajar di University of Michigan pada tahun 1969 setelah mengamati bahwa proses evolusi dapat dipakai sebagai analogi dari alam untuk persoalan optimasi dalam bidang teknik. Algoritma Genetika merupakan algoritma pencarian terstruktur yang didasarkan

* [http //www.google.com/penjadwalan/](http://www.google.com/penjadwalan/). diakses : 5 Mei 2008. 08.39. hal 16-28

pada analogi mekanisme seleksi dan informasi genetika alami. Algoritma Genetika memulai pemecahan persoalan dengan mengkodekan solusi persoalan ke dalam bentuk *string*. *String* pada algoritma genetika berperan sama dengan kromosom pada evolusi alamiah.

Pada masalah penjadwalan, kromosom dapat diartikan sebagai urutanurutan operasi yang harus dikerjakan mulai dari awal sampai akhir. Setiap gen dalam kromosom tersebut menunjukkan sebuah operasi dari urutan pekerjaan. Susunan yang berbeda dalam suatu kromosom dapat menunjukkan hasil yang berbeda pula.

Dalam penjadwalan, hal-hal yang dapat digunakan sebagai fungsi suaian antara lain: (Bedworth, 1987)

- a. Minimasi *makespan*
- b. Minimasi *mean flow time*
- c. Minimasi *idle time*

Masalah penjadwalan dalam algoritma genetika mempunyai ketetapan masalah sebagai berikut:

- a. Suatu proyek terdiri dari sejumlah aktivitas dengan durasi yang diketahui.
- b. Waktu mulai dari setiap aktivitas bergantung kepada penyelesaian dari beberapa aktivitas kendalah pendahulu.
- c. Konsumsi sumber daya konstan selama penjadwalan.
- d. Tidak ada substitusi di antara sumber daya.
- e. Aktivitas tidak dapat dihentikan.

Metode penjadwalan algoritma genetika memiliki prosedur sebagai berikut:

- a. Membentuk populasi yang berasal dari kromosom induk

Sebuah populasi akan terdiri dari sejumlah kromosom. Perubahan kromosom yang layak ini dimulai dengan memilih secara acak *job* yang akan dijadwalkan.

- b. Menghitung fungsi tujuan dari setiap kromosom

Perhitungan fungsi tujuan dari setiap kromosom berdasarkan fungsi suaian dari kromosom yang terbentuk tadi.

- c. Menciptakan sebuah populasi baru

- Seleksi

Mengurutkan kromosom berdasarkan susunan kromosom terbaik menurut fungsi tujuannya.

- Kawin silang (*crossover*)
- Mutasi
- Penerimaan

Kromosom anak diterima dan menggantikan kromosom induk dalam populasi apabila kromosom anak tersebut memiliki nilai fungsi tujuan yang lebih baik.

- d. Pengulangan

Ketiga proses di atas diulangi kembali sampai mencapai kriteria pemberhentian tertentu (setelah n kali percobaan), semakin banyak percobaan yang dilakukan, semakin baik hasil yang

diperoleh. Hanya kromosom dengan fungsi tujuan yang terbaik yang dapat bertahan sampai pengulangan terakhir dilakukan.

2.8.2 Langkah - Langkah Algoritma Genetika

Secara umum, algoritma genetika dibangun dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- 1 Inisialisasi populasi kromosom.
- 2 Evaluasi tiap kromosom pada populasi.
- 3 Membuat kromosom baru dengan memasang kromosom yang ada, menerapkan kawin silang dan mutasi pada kromosom yang berpasangan.
- 4 Hilangkan kromosom yang lama untuk memberikan ruang bagi kromosom yang baru.
- 5 Evaluasi kromosom yang baru dan masukkan kromosom tersebut ke dalam populasi.
- 6 Jika aturan pemberhentian terpenuhi, maka berhenti dan dapatkan kromosom yang terbaik. Jika tidak, kembali ke langkah 3.

Sesuai dengan permasalahan yang dianalisa di dalam penelitian ini yaitu mengenai permasalahan penjadwalan, maka langkah-langkah algoritma genetika yang dilakukan adalah sebagai berikut:

Langkah 1:

- 1.1. Tentukan populasi 1 dan populasi 2

Urutan populasi diperoleh dari urutan penjadwalan terbaik dari metode awal.

- 1.2. Buat kromosom (jadwal) awal yang berbeda dengan cara menukar urutan *job* ke- k dengan urutan *job* $k+1$.

$$k \leftarrow k - 1 \quad \text{dimana: } 1, 2, 3, \dots, n$$

- 1.3. Hitung *makespan* dan *total flow time* dari setiap urutan kromosom yang dihasilkan pada langkah 1.2.
- 1.4. Urutkan kromosom dari setiap sub populasi berdasarkan prioritas penjadwalan terbaik yaitu mulai dari nilai *makespan* terkecil. Apabila terdapat nilai *makespan* yang sama, pilih nilai *total flow time* yang lebih kecil. Output dari langkah 1.4. ini adalah populasi awal. (*Number of Generation* = 0)

Langkah 2:

- 2.1. Lakukan *crossover*
Crossover dilakukan dengan cara mengambil kromosom ke- i dari sub populasi 1 dan kromosom ke- i dari sub populasi 2 yang selanjutnya disebut *parent* 1 dan *parent* 2. Hasil dari *crossover* adalah *child* 1 dan *child* 2.
- 2.2. Hitung *makespan* dan *total flow time* dari setiap *parent* dan *child*.
- 2.3. Bandingkan *parent* 1 dan *child* 1 serta *parent* 2 dan *child* 2. Pilih yang lebih baik berdasarkan prioritas penjadwalan. Apabila urutan kromosom *child* lebih baik dari kromosom *parent*, maka kromosom

child akan menjadi kromosom *parent* yang baru, namun bila kromosom *parent* lebih baik, maka yang diinginkan tetap kromosom *parent*. Urutan kromosom yang terpilih akan menjadi sub populasi 1 dan sub populasi 2 pada populasi 1. (Number of Generation = 1).

Langkah 3:

- 3.1. Urutkan kromosom dari sub populasi 1 dan sub populasi 2 hasil *crossover* sebelumnya berdasarkan nilai *makespan* terkecil.
- 3.2. Lakukan *crossover* seperti yang telah dijelaskan pada langkah 2 hingga populasi baru yang dibentuk memiliki populasi yang sama dengan populasi sebelumnya.
- 3.3. Urutkan kromosom dari populasi terakhir berdasarkan prioritas penjadwalan terbaik yaitu mulai dari nilai *makespan* terkecil. Apabila terdapat nilai *makespan* yang sama, pilih *total flow time* yang lebih kecil. Output dari langkah 3.3. ini adalah populasi awal untuk proses Mutasi.

Langkah 4:

- 4.1. Tentukan bilangan random untuk menentukan posisi pembatas. Posisi pembatas diperoleh dengan cara mengalikan bilangan random dengan jumlah *job*.
- 4.2. Buat kromosom *child* dengan melakukan mutasi terhadap kromosom *parent*.

- 4.3. Hitung *makespan* dan *total flow time* dari setiap *parent* dan *child*.
- 4.4. Bandingkan *parent* 1 dan *child* 1 serta *parent* 2 dan *child* 2. Pilih yang lebih baik berdasarkan prioritas penjadwalan. Urutan kromosom yang terpilih akan menjadi sub populasi 1 dan sub populasi 2.
- 4.5. Urutkan kromosom dari sub populasi 1 dan sub populasi 2 hasil mutasi sebelumnya berdasarkan nilai *makespan* terkecil.

Langkah 5:

- 5.1. Tentukan kromosom terbaik dari setiap *number of generation* untuk membentuk populasi selanjutnya.
- 5.2. Urutkan kromosom terbaik sesuai dengan prioritas penjadwalan.

Langkah 6:

- 6.1. Buat populasi akhir dengan menukar posisi ke-k dengan posisi ke-k+1 dari kromosom terbaik populasi sebelumnya.
- 6.2. Urutkan kromosom berdasarkan prioritas penjadwalan.
- 6.3. Kromosom terbaik akan menjadi urutan penjadwalan yang diusulkan.

2.8.3 Operator Genetika

Operator genetika merupakan mekanisme yang dipakai untuk mendapatkan suatu kromosom generasi pengganti. Terdapat tiga operator

yang umumnya diterapkan pada algoritma genetika (yang juga terdapat pada evolusi kromosom alamiah) yaitu:

1. Reproduksi seleksi (*reproduction selection*)

Konsep dari algoritma genetika adalah mempertahankan kromosom-kromosom yang kuat yang akan ditingkatkan performansinya melalui proses genetika sampai generasi terakhir. Kromosom-kromosom yang kuat akan direproduksi dan mengalami proses genetika. Pada tahap ini, sejumlah kromosom dari populasi dipilih dan digabungkan untuk menghasilkan keturunan yang akan menjadi generasi yang selanjutnya. Kromosom tersebut dipilih secara acak dengan menggunakan pola pencarian yang lebih baik. Kromosom yang baik mungkin dapat dipilih beberapa kali dalam suatu generasi dan kromosom yang tidak baik atau buruk mungkin tidak akan terpilih sama sekali.

2. Kawin silang (*crossover*)

Dalam proses kawin silang, dua kromosom induk dipisah pada posisi yang ditentukan secara acak, akan disilangkan untuk menghasilkan kromosom anak yang diharapkan akan memiliki performansi yang lebih baik dari induknya. Ada tiga jenis *crossover* yaitu:

a. *Partially Mapped Crossover* (PMX)

Diperkenalkan oleh Goldberg dan Lingle. Langkah-langkahnya:

- Pilih dua posisi dari string yang ada secara acak. Substring yang berada di antara dua posisi tersebut dinamakan "mapping sections".

Parent 1

1	2	3	4	5	6	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

Parent 2

5	4	6	9	2	1	7	8	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Pertukarkan substring antar parent guna menghasilkan *protochildren*.

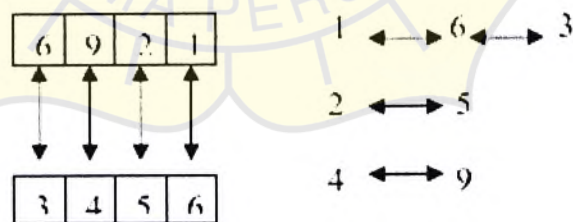
Protochild 1

1	2	6	9	2	1	7	8	9
---	---	---	---	---	---	---	---	---

★ Protochild 2

5	4	3	4	5	6	7	8	3
---	---	---	---	---	---	---	---	---

- Tentukan peta relasi (*mapping relationship*) antara kedua *mapping sections*.



- Regalisasikan anak dengan pemetaan

Offspring 1

3	5	6	9	2	1	7	8	4
---	---	---	---	---	---	---	---	---

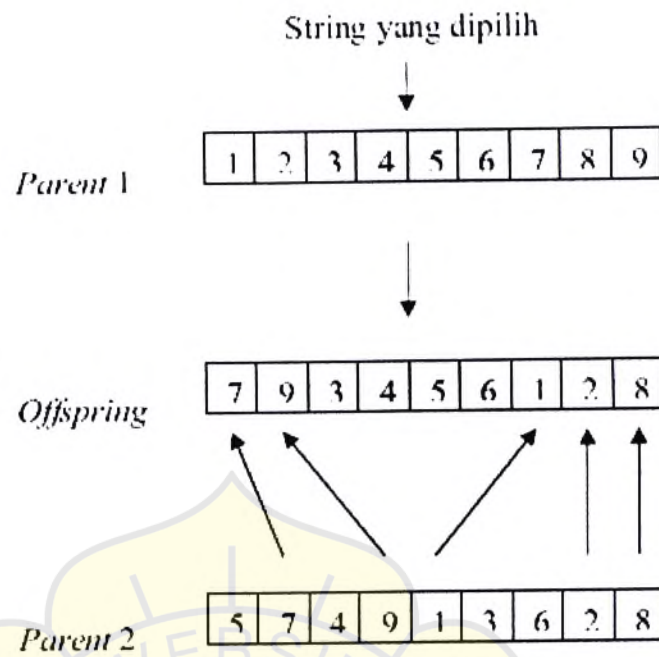
Offspring 2

2	9	3	4	5	6	7	8	1
---	---	---	---	---	---	---	---	---

b. *Order Crossover (OX)*

Diperkenalkan oleh Davis. Langkah-langkahnya:

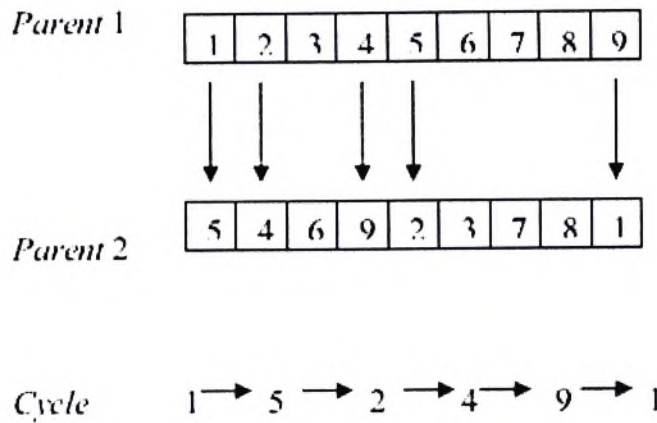
1. Pilih substring dari satu induk secara acak.
2. Hasilkan *protochild* dengan meng-copy substring tersebut ke posisi yang bersesuaian .
3. Hapus nilai-nilai yang sudah ada di *protochild* dari induk kedua. Hasil yang ada merupakan urutan nilai yang merupakan nilai yang dibutuhkan oleh *protochild*.
4. Tempatkan nilai-nilai yang tinggal dari induk kedua ke dalam *protochild* yang belum terisi dari kiri ke kanan.



c. *Cycle Crossover (CX)*

Diperkenalkan oleh Oliver, Smith dan Hollard. Langkah langkah:

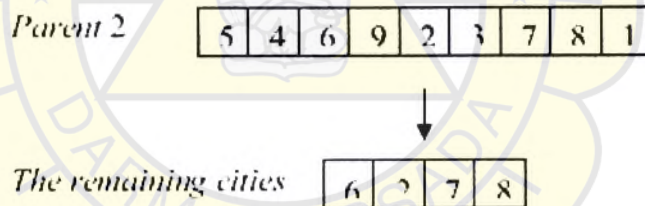
1. Tentukan siklus yang diidentifikasi oleh posisi nilai yang ada pada kedua induk.



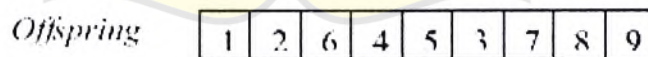
- 2 Salinkan isi siklus ke dalam *child* dengan posisi yang sesuai dengan salah satu induk.



- 3 Tentukan isi *child* sisanya dengan menghapus isi yang sudah ada di dalam siklus dari induk kedua.



- 4 Lengkapi *child* dengan sisa dari induk kedua



3. Mutasi (*mutation*)

Mutasi dapat disebut sebagai proses perubahan (rekonstruksi) gen-gen dalam sebuah kromosom. Tujuan dari mutasi ini adalah untuk memperkenalkan kembali bahan genetika (*genetic material*) yang

kemungkinan hilang dalam generasi keturunan dan untuk memperoleh kromosom-kromosom anak yang diharapkan mempunyai performansi yang lebih baik daripada induknya. Proses mutasi dilakukan setelah kawin silang. Proses mutasi ini secara acak mengubah gen-gen yang ada dalam susunan kromosom. Proses mutasi ini memberikan pencarian yang dilakukan secara acak, untuk memastikan semua kemungkinan yang layak juga telah diteliti. Jika prosesor *crossover* memerlukan dua buah induk untuk menghasilkan kromosom anak, pada operasi mutasi ini hanya membutuhkan 1 kromosom induk guna menghasilkan 1 kromosom anak.

Ada empat metode mutasi yaitu:

a. *Inversion*

Metode ini memilih dua posisi dalam kromosom secara acak dan membalik (*invert*) *substring* yang berbeda di antara kedua posisi yang sudah ditetapkan terdahulu.

Parent

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Child

1	2	6	5	4	3	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

b. *Insertion*

Metode ini memilih gen secara random dan memasukkannya secara random pula.

Parent

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Child

1	2	6	3	4	5	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

c. *Resiprocal Exchange.*

Metode ini memiliki dua posisi secara random dan menukarkan isi kedua gen yang ada pada posisi tersebut.

Parent

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Child

1	2	6	4	5	3	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

d. *Heuristic Mutation*

Parent

1	2	3	4	5	6	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

Child

1	2	3	4	5	8	7	6
---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	8	4	5	3	7	6
---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	8	4	5	6	7	3
---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	6	4	5	8	7	3
---	---	---	---	---	---	---	---

1	2	6	4	5	3	7	8
---	---	---	---	---	---	---	---

2.9 PROSES PEMBUATAN BESI DAN BAJA

2.9.1 Penambangan dan Pengolahan Biji Besi*

* Asyari Daryus, hal 8

bahan baku awal dalam pembuatan besi dan baja adalah biji besi (iron core). Biji besi yang didapatkan dari alam umumnya merupakan senyawa besi dengan oksigen seperti hematite (Fe_2O_3); magnetite (Fe_3O_4); limonite (Fe_2O_3); atau siderite (Fe_2CO_3). Pembentukan senyawa besi oksida tersebut sebagai proses alam yang terjadi selama beribu-ribu tahun. Kandungan senyawa besi di bumi ini mencapai 5 % dari seluruh kerak bumi ini.

Penambangan biji besi tergantung keadaan dimana biji besi tersebut ditemukan. Jika biji besi ada di permukaan bumi maka penambangan dilakukan dipermukaan bumi (open-pit mining), dan jika biji besi berada didalam tanah maka penambangan dilakukan dibawah tanah (underground mining). Karena biji besi didapatkan dalam bentuk senyawa dan bercampur dengan kotoran-kotoran lainnya maka sebelum dilakukan peleburan biji besi tersebut terlebih dahulu harus dilakukan pemurnian untuk mendapatkan konsentrasi biji yang lebih tinggi (25 - 40%). Proses pemurnian ini dilakukan dengan metode : *crushing*, *screening*, dan *washing* (pencucian). Untuk meningkatkan kemurnian menjadi lebih tinggi (60 - 65%) serta memudahkan dalam penanganan berikutnya, dilakukan proses agglomerasi dengan langkah-langkah sebagai berikut :

- 1 Biji besi dihancurkan menjadi partikel-partikel halus (serbuk).
- 2 Partikel-partikel biji besi kemudian dipisahkan dari kotoran-kotoran dengan cara pemisahan magnet (magnetic separator) atau metode lainnya.

- 3 Serbuk biji besi selanjutnya dibentuk menjadi pellet berupa bola-bola kecil berdiameter antara 12,5 - 20 mm.
- 4 Terakhir, pellet biji besi dipanaskan melalui proses sinter/pemanasan hingga temperatur 1300 °C agar pellet tersebut menjadi keras dan kuat sehingga tidak mudah rontok.

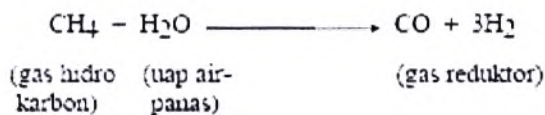
2.9.2 Proses Reduksi*

Tujuan proses reduksi adalah untuk menghilangkan ikatan oksigen dari biji besi. Proses reduksi ini memerlukan gas reduktor seperti hidrogen atau gas karbon monoksida (CO).

Proses reduksi ini ada 2 macam yaitu proses reduksi langsung dan proses reduksi tidak langsung.

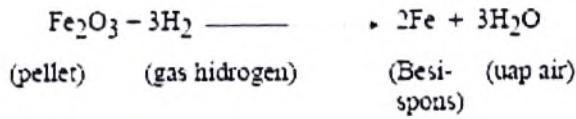
a. Proses Reduksi Langsung

Proses ini biasanya digunakan untuk merubah pellet menjadi besi spons (sponge iron) atau sering disebut: besi hasil reduksi langsung (direct reduced iron). Gas reduktor yang dipakai biasanya berupa gas hidrogen atau gas CO yang dapat dihasilkan melalui pemanasan gas alam cair (LNG) dengan uap air didalam suatu reaktor yaitu melalui reaksi kimia berikut :



* Asyari Daryus, hal 9-12

Dengan menggunakan gas CO atau hidrogen dari persamaan diatas maka proses reduksi terhadap pellet biji besi dapat dicapai melalui reaksi kimia berikut ini :



atau



b. Proses Reduksi Tidak Langsung

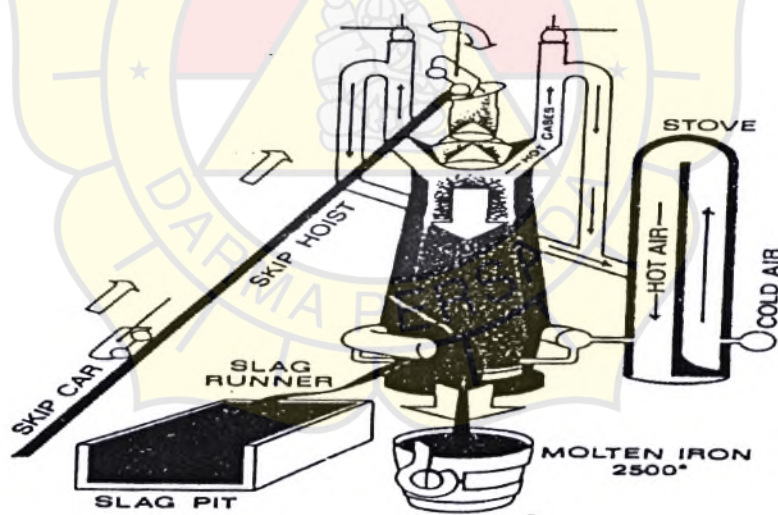
Proses ini dilakukan dengan menggunakan tungku pelebur yang disebut juga tanur tinggi (blast furnace). Sketsa tanur tinggi diperlihatkan pada gambar 2.4. Biji besi hasil penambangan dimasukkan ke dalam tanur tinggi tersebut dan didalam tanur tinggi dilakukan proses reduksi tidak langsung yang cara kerjanya sebagai berikut :

Bahan bakar yang digunakan untuk tanur tinggi ini adalah batu bara yang telah dikeringkan (kokas). Kokas dengan kandungan karbon (C) diatas 80%, tidak hanya berfungsi sebagai bahan bakar, tetapi juga berfungsi sebagai pembentuk gas CO yang berfungsi sebagai reduktor. Untuk menimbulkan proses pembakaran maka ke dalam tanur tersebut ditiupkan udara dengan menggunakan blower (gambar 2.4) sehingga terjadi proses oksidasi sebagai berikut :



Gas CO yang terjadi dapat menimbulkan reaksi reduksi terhadap biji yang dimasukkan ke dalam tanur tersebut. Sedangkan panas yang ditimbulkan berguna untuk mencairkan besi yang telah tereduksi tersebut.

Untuk mengurangi kotoran-kotoran (impuritas) dari logam cair, ke dalam tanur biasanya ditambahkan sejumlah batu kapur (limestone). Batu kapur tersebut akan membentuk terak (slag) dan dapat mengikat kotoran-kotoran yang ada didalam logam cair. Karena berat jenis terak lebih rendah dari berat jenis cairan besi maka terak tersebut berada dipermukaan logam cair sehingga dapat dikeluarkan melalui lubang terak (lihat gambar 2.6).



Gambar 2.6. Konstruksi sebuah tanur tinggi (Blast Furnace).

bahan-bahan penambah seperti ingot ferrosilikon, feromangan dan batu kapur. Proses peleburan dapat dilakukan pada tungku BOF (Basic Oxygen Furnace) atau pada tungku busur listrik (Electric Arc Furnace atau disingkat EAF). Tanpa memperhatikan tungku atau proses yang diterapkan, proses peleburan baja pada umumnya mempunyai tiga tujuan utama, yaitu :

1. mengurangi sebanyak mungkin bahan-bahan impuritas.
2. mengatur kadar karbon agar sesuai dengan tingkat grade/spesifikasi baja yang diinginkan.
3. menambah elemen-elemen padu yang diinginkan.

a. Proses Peleburan Baja Dengan BOF

Proses ini termasuk proses yang paling baru dalam industri pembuatan baja. Gambar sketsa dari tungku ini ditunjukkan dalam gambar 7. Terlihat bahwa dalam gambar tersebut bahwa konstruksi BOF relatif sederhana, bagian luarnya dibuat dari pelat baja sedangkan dinding bagian dalamnya dibuat dari bata tahan api (firebrick). Kapasitas BOF ini biasanya bervariasi antara 35 ton sampai dengan 200 ton.

Bahan-bahan utama yang digunakan dalam proses peleburan dengan BOF adalah : besi kasar cair (65-85%), scrap baja (15-35%), batu kapur dan gas oksigen (kemurnian 99,5%). Keunggulan proses BOF dibandingkan proses pembuatan baja

lainnya adalah dari segi waktu peleburannya yang relatif singkat yaitu hanya berkisar sekitar 60 menit untuk setiap proses peleburan.

Tingkat efisiensi yang demikian tinggi dari BOF ini disebabkan oleh pemakaian gas oksigen dengan kemurnian yang tinggi sebagai gas oksidator utama untuk memurnikan baja. Gas oksigen dialirkan ke dalam tungku melalui pipa pengalir (oxygen lance) dan bereaksi dengan cairan logam di dalam tungku. Gas oksigen akan mengikat karbon dari besi kasar berangsur-angsur turun sampai mencapai tingkat baja yang dibuat. Disamping itu, selama proses oksidasi berlangsung terjadi panas yang tinggi sehingga dapat menaikkan temperatur logam cair sampai di atas 1650°C .

Pada saat oksidasi berlangsung, ke dalam tungku ditambahkan batu kapur. Batu kapur tersebut kemudian mencair dan bercampur dengan bahan-bahan impuritas (termasuk bahan-bahan yang teroksidasi) membentuk terak yang terapung di atas baja cair.

Bila proses oksidasi selesai maka aliran oksigen dihentikan dan pipa pengalir oksigen diangkat/dikeluarkan dari tungku. Tungku BOF kemudian dimiringkan dan benda uji dari baja cair diambil untuk dilakukan analisa komposisi kimia.

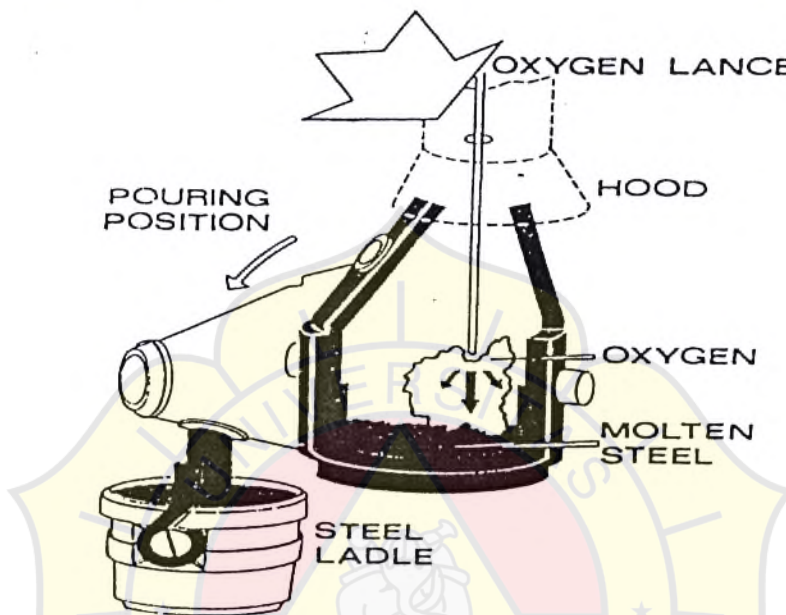
Bila komposisi kimia telah tercapai maka dilakukan penuangan (tapping). Penuangan tersebut dilakukan ketika temperatur baja cair sekitar 1600°C . Penuangan dilakukan dengan memiringkan perlahan-lahan sehingga cairan baja akan tertuang masuk kedalam ladle. Di dalam ladle biasanya dilakukan skimming untuk membersihkan terak dari permukaan baja cair dan proses perlakuan logam cair (metal treatment). *Metal treatment* tersebut terdiri dari proses pengurangan impuritas dan penambahan elemen-elemen padu atau lainnya dengan maksud untuk memperbaiki kualitas baja cair sebelum dituang ke dalam cetakan.

b. Proses Peleburan Baja Dengan EAF

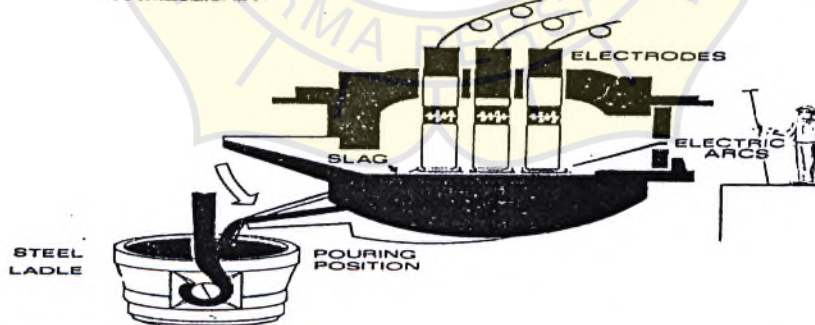
Proses peleburan dalam EAF ini menggunakan energi listrik. Konstruksi tungku ini ditunjukkan dalam gambar 8. Panas dihasilkan dari busur listrik yang terjadi pada ujung bawah dari elektroda. Energi panas yang terjadi sangat tergantung pada jarak antara elektroda dengan muatan logam di dalam tungku. Bahan elektroda biasanya dibuat dari karbon atau grafit. Kapasitas tungku EAF ini dapat berkisar antara 2 - 200 ton dengan waktu peleburannya berkisar antara 3 - 6 jam.

Bahan baku yang dilebur biasanya berupa besi spons (sponge iron) yang dicampur dengan skrap baja. Penggunaan besi spons dimaksudkan untuk menghasilkan kualitas baja yang

lebih baik. Tetapi dalam banyak hal (terutama untuk pertimbangan biaya) bahan baku yang dilebur seluruhnya berupa skrap baja, karena skrap baja lebih murah dibandingkan dengan besi spons.



Gambar 2.7. Gambar sketsa sebuah tungku BOF.



Gambar 2.8. Gambar sketsa sebuah tungku listrik dari jenis electric arc furnace (EAF).

Disamping bahan baku diatas, seperti halnya pada proses BOF, bahan-bahan lainnya yang ditambahkan pada EAF adalah batu kapur, ferosilikon, feromangan, dan lain-lain dengan maksud yang sama pula.

Proses basa dan asam dapat diterapkan dalam EAF. Untuk pembuatan baja berupa produk cor maka biasanya digunakan proses asam, sedangkan untuk pembuatan baja spesial biasanya digunakan proses basa.

Peleburan baja dengan EAF ini dapat menghasilkan kualitas baja yang lebih baik karena tidak terjadi kontaminasi oleh bahan bakar atau gas yang digunakan untuk proses pemanasannya.

2.9.4 Proses Peningkatan Kualitas Baja*

Untuk memperoleh kualitas baja yang tinggi maka sebelum cairan baja dituang membentuk ingot atau bentuk antara lainnya seperti : *billet*, *bloom* atau *slab*, seringkali dilakukan proses-proses seperti :

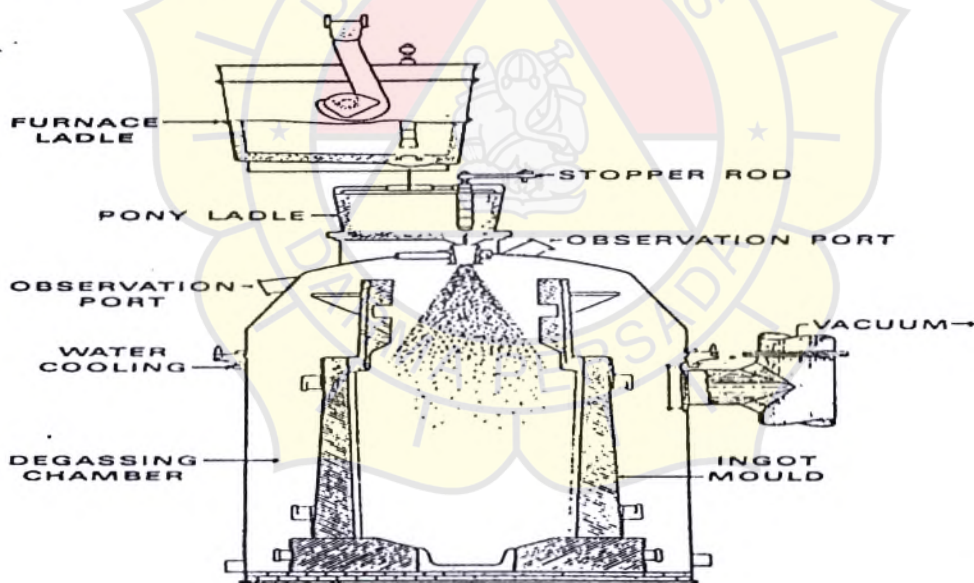
- proses de-oksidasi, atau
- proses vacuum-degassing.

Proses deoksidasi dilakukan dengan menambahkan bahan-bahan deoksidator seperti ferosilikon dan aluminium ke dalam ladle sesaat sebelum logam cair dituang. Bahan deoksidator tersebut dapat mengurangi pembentukan gas yang disebabkan oleh reaksi karbon dengan oksigen serta mengurangi pembentukan oksida-oksida yang

* Asvari Darvus. hal 18-20

dapat menimbulkan inklusi ketika logam membeku. Berdasarkan tingkat proses deoksidasi yang dilakukan, baja dapat dibagi menjadi empat jenis yaitu : *rimmed steel*, *semikilled steel*, *killed steel* dan *capped steel*.

Vacuum degassing dilakukan dengan tujuan untuk mengurangi kadar gas hidrogen dalam baja cair sehingga dapat menghindari terbentuknya rongga-rongga udara di dalam baja ketika proses pembekuan. Disamping mengurangi kadar hidrogen, proses *vacuum degassing* juga dimaksudkan untuk menurunkan kadar oksigen dan nitrogen di dalam baja sehingga baja menjadi lebih bersih, bebas dari inklusi-inklusi seperti oksida-oksida atau nitrida. Teknik *vacuum degassing* ini ditunjukkan dalam gambar 2.9



Gambar 2.9. Teknik Vacuum Degassing untuk menghasilkan baja berkualitas tinggi (baja yang bersih).

2.9.5 Hot Rolled Coil / Plate (HRC / P)*

Baja lembaran canai panas dalam gulungan (hot rolled coil) atau plate dibuat dengan menggunakan bahan baku berupa slab baja. Untuk mendapatkan ketebalan HRC yang diinginkan maka slab ditipiskan dalam proses penipisan yang dilakukan pada hot strip mill (HSM).

Krakatau Steel(KS) sebagai produsen utama HRC saat ini sedang melakukan revitalisasi fasilitas HSM nya yang akan selesai pada pertengahan 2010. Untuk proyek tersebut KS menggunakan teknologi baru dari SMS Demag dari Jerman. HSM ini akan memproduksi pelat baja berketebalan 60 mm dan lebar sekitar 3,5 meter dengan kapasitas 500.000 ton per tahun. Saat ini KS baru mampu memproduksi HRC/Plate ketebalan 20 mm dan lebar maksimal 2 meter.

2.10 PENGELASAN**

Pengelasan adalah suatu proses penyambungan dua atau lebih logam menjadi satu akibat panas dan atau tanpa pengaruh tekanan. Definisi lain adalah ikatan metalurgi yang ditimbulkan oleh gaya tarik menarik antara atom. Sebelum atom-atom tersebut membentuk ikatan, permukaan yang menjadi satu perlu bebas dari gas yang terserap atau oksida-oksida. Bila dua permukaan yang rata dan bersih ditekan, beberapa kristal akan tertekan dan bersinggungan. Bila tekanan diperbesar, daerah singgung ini bertambah luas, lapisan oksida yang rapuh, pecah logam mengalami deformasi plastik. Batas antara dua

*[http// www.datacom.co.id/baja2008ind.html/](http://www.datacom.co.id/baja2008ind.html/).diakses: 16 Agustus 2009. 11.09

** [http//www.bsn.co.id/](http://www.bsn.co.id/).diakses : 16 Agustus 2009. 11.40. hal 1-5

permukaan kristal dapat menjadi satu dan terjadilah sambungan, proses ini disebut *pengelasan dingin*. Sampai saat ini telah berhasil dikembangkan kurang lebih empat puluh jenis proses pengelasan yang berbeda, tetapi secara umum dapat dikelompokkan menjadi:

- a. Proses pengelasan busur listrik (*Arc Welding Proses*).
- b. Proses pengelasan gas (*Gas Welding Proses*).
- c. Proses pengelasan tahanan listrik (*Electric Resistance Welding*).

pengelasan yang digunakan untuk pembuatan pipa pada *BPI* menggunakan *Electric Resistance Welding (ERW)*. Proses pengelasan las resistansi listrik yaitu dengan menggunakan arus yang cukup besar dialirkan melalui logam sehingga menimbulkan panas pada sambungan, dan dibawah pengaruh tekanan dan pengaturan hambatan listrik sehingga terbentuklah sambungan las. Transformator yang terdapat dalam mesin las merubah tegangan arus bolak - balik dari 110-220 V menjadi 4-12 V dan arusnya menjadi cukup besar sehingga menghasilkan panas yang diperlukan. Bila arus mengalir dalam logam, panas timbul didaerah ujung elektrode dengan tahanan listrik yang terbesar, yaitu pada batas permukaan kedua logam atau lembaran dan terjadilah sambungan las.

Besar arus yang diperlukan didaerah sambungan berkisar antara 50-60 MVA/m² dengan tenggang waktu sekitar 12 m/menit, tekanan yang diperlukan berkisar antara 30-50 MPa. Las resistansi listrik ini pada dasarnya merupakan proses penyambungan lembaran tipis. Pada proses ini sambungan mengalami tekanan selama proses pemanasan yang diatur

dengan cermat dan prosesnya sendiri berlangsung secara cepat. Hampir semua logam dapat dilas dengan las resistansi listrik, meskipun ada beberapa logam seperti timah putih, seng dan timbel agak sulit dilas. Pada pengelasan resistansi listrik ada tiga faktor yang perlu diperhatikan:

- a. Besarnya arus listrik yang dipergunakan untuk pengelasan.
- b. Besarnya tahanan arus listrik yang digunakan dalam pengelasan.
- c. Waktu yang digunakan dalam siklus pengelasan.

Sehingga besarnya masukan energi panas yang dihasilkan dapat dihitung dengan rumus:

$$Q = \eta \cdot I^2 \cdot R \cdot t \text{ (Joul /m)}$$

Dengan:

η = Efisiensi pengelasan (0,7)

I = Arus listrik (A)

R = Tahanan listrik (Ohm)

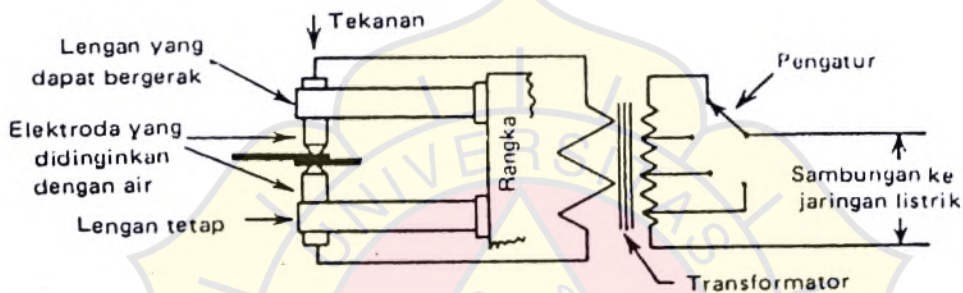
t = Waktu siklus pengelasan (sekon)

Untuk mendapatkan hasil yang baik ketiga variable diatas, perlu diperhatikan dan ditentukan dengan cermat. Dan ketiga besaran sangat tergantung pada tebal bahan, diameter elektroda dan tekanan yang digunakan. Proses Pengelasan Resistansi Listrik meliputi:

2.10.1 Las Titik (*Spot Welding*)

Las titik merupakan cara las resistansi listrik dimana dua atau lebih lembaran logam dijepit diantara elektroda dan logam. Kemudian siklus las

mulai pada saat elektroda bersinggungan dengan logam dibawah pengaruh tekanan sebelum arus dialirkan, waktu yang singkat disebut waktu tekan, kemudian dialirkan arus bertegangan rendah diantara elektroda, logam yang saling bersinggungan menjadi panas dan suhu naik sampai mencapai suhu pengelasan. Segera setelah suhu pengelasan dicapai tekanan antara elektroda memaksa logam menjadi satu dan terbentuklah sambungan las.



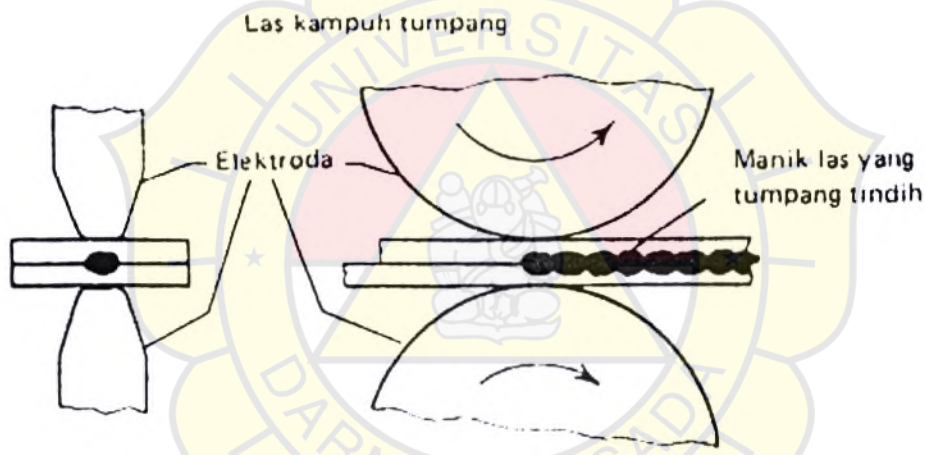
Gambar 2.10 Distribusi Suhu pada Las Titik

2.10.2 Pengelasan Kampuh (*Seam Welding*)

Las kampuh adalah proses las yang menghasilkan sambungan las yang kontinyu pada dua lembaran logam. Sambungan terjadi oleh panas yang di timbulkan tahanan. Arus mengalir melalui lembaran logam yang ditekan antara dua buah elektroda bulat. Metode ini merupakan pengelasan titik yang kontinyu. Pengelasan kampuh berkecepatan tinggi digunakan arus bertindak sebagai *interruptor*.

Panas yang dihasilkan pada permukaan kontak elektroda adalah minimal karena disini digunakan elektroda paduan tembaga dan panas

berdesipasi dengan cepat karena elektroda dan daerah las dialiri air. Jumlah panas yang terjadi pada permukaan batas karena tahanan kontak dapat ditingkatkan dengan menurunkan tekanan elektroda variable lain, yang berpengaruh adalah waktu pengelasan. Bila kecepatan pengelasan bertambah maka panas yang dihasilkan akan berkurang. Las kampuh digunakan dalam pembuatan wadah logam, knalpot kendaraan dan spatbor, lemari es dan tangki bahan bakar. Keuntungan metode pengelasan ini adalah disain yang rapi, penghematan bahan, sambungan yang rapat, sambungan yang rapat dan biaya yang murah.

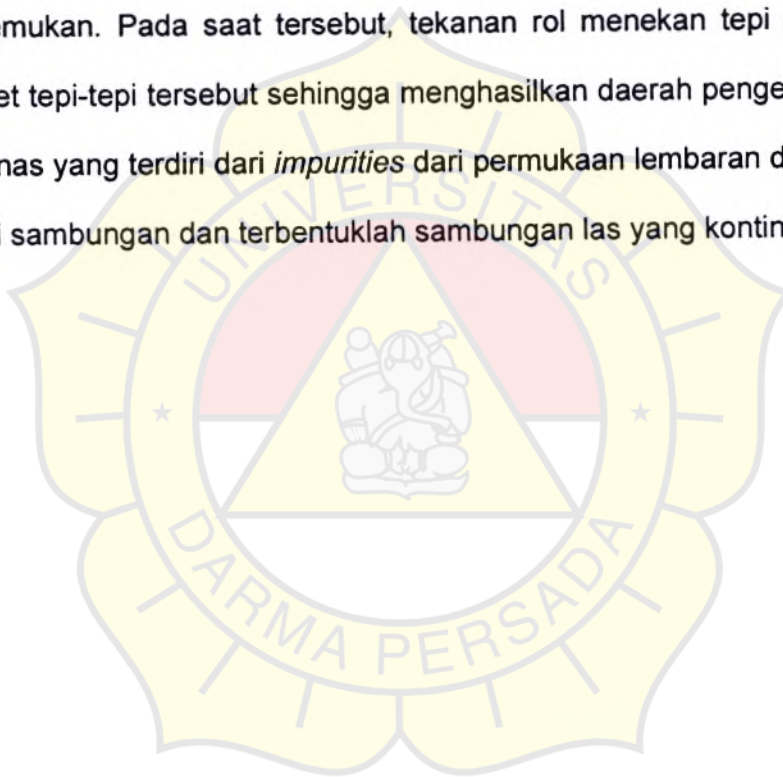


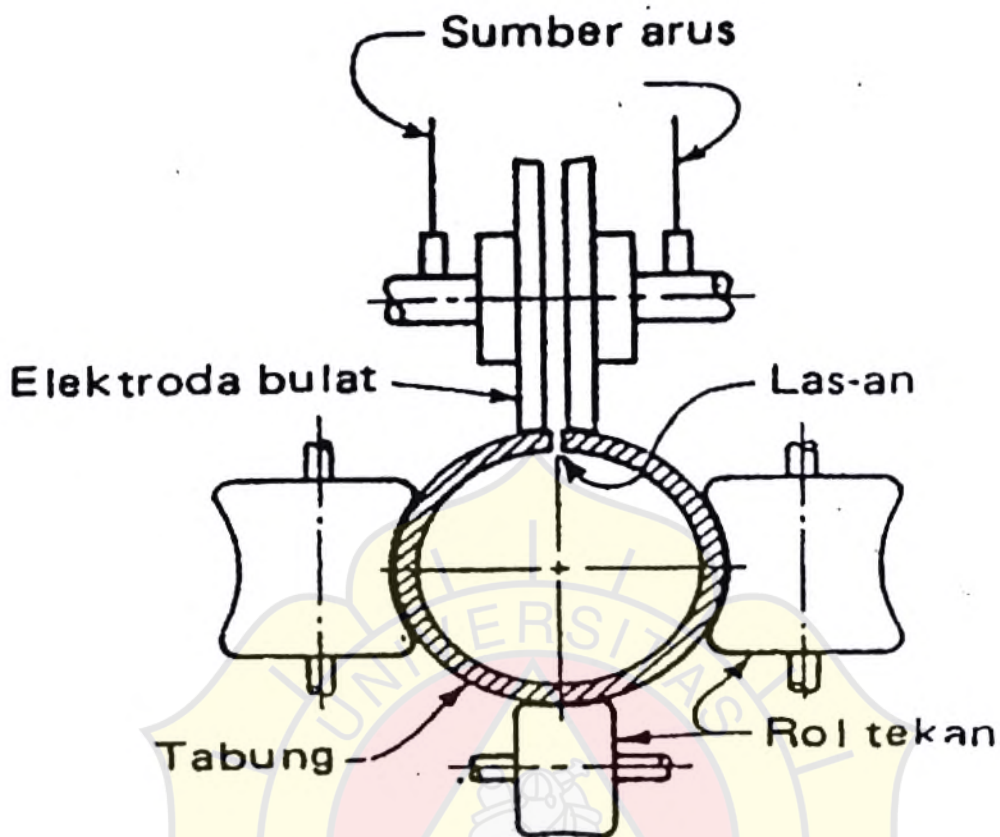
Gambar 2.11 Las Kampuh Tumpang

2.10.3 Pengelasan Kampuh Kontinyu (*Continuous Seam Welding*)

Proses inilah yang dipakai pada pembuatan pipa baja pada BPI. Proses ini biasanya digunakan pada produk yang panjang dan sejenis. Cara kerjanya yaitu lembaran logam ditebuk dengan tekanan yang telah

ditentukan sehingga membentuk sudut 40-70. Puncak bentuk V yang terbuka meninggalkan kontak, sesuai arah gerakan. Aliran frekuensi tinggi menyusuri daerah yang terlakolisasi pada sisi V satu dan lalu balik lagi pada sisi yang lainnya yang menyebabkan efek kulit dan "proximiki". Tahanan logam terhadap aliran arus memanasi daerah tepi saja tidak sampai melebur kedalam. Kecepatan pengelasan dan tingkat power disesuaikan sehingga dua tepi yang dilas selalu pada temperatur *welding* ketika ditemukan. Pada saat tersebut, tekanan rol menekan tepi panas dan menset tepi-tepi tersebut sehingga menghasilkan daerah pengelasan. Logam panas yang terdiri dari *impurities* dari permukaan lembaran ditekan keluar dari sambungan dan terbentuklah sambungan las yang kontinyu





Gambar 2.12 Pengelasan Resistansi Tumpul secara Kontinyu pada
Tabung

2.11 Pengerjaan Dingin Logam*

Logam pada umumnya mengalami pengerjaan dingin pada suhu ruang, meskipun perlakuan tersebut mengakibatkan kenaikan suhu. Pengerjaan dingin mengakibatkan timbulnya distorsi pada butir. Pengerjaan dingin dapat meningkatkan kekuatan, memperbaiki kemampuan permesinan, meningkatkan ketelitian dimensi, dan

* Asvari Darvus. hal 92

menghaluskan permukaan logam. Secara umum, proses pengerjaan dingin berakibat :

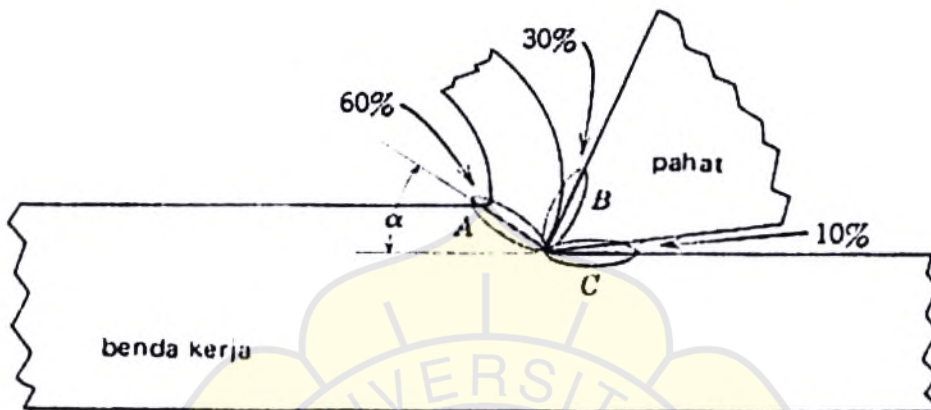
1. Terjadinya tegangan dalam logam, tegangan tersebut dapat dihilangkan dengan suatu perlakuan panas.
2. Struktur butir mengalami distorsi atau perpecahan.
3. Kekerasan dan kekuatan meningkat, hal ini seiring dengan kemunduran dalam keuletan.
4. Suhu rekristalisasi baja meningkat.
5. Penyelesaian permukaan lebih baik.
6. Dapat diperoleh toleransi dimensi yang lebih ketat.

Media Pendingin (Coolant)

Gambar 2.11. menunjukkan sumber utama dari panas yang akan bisa mengakibatkan permukaan logam cenderung untuk melekat satu sama lain jika panasnya berlebihan. Media pendingin mempunyai fungsi al.:

1. Mengurangi gesekan antara serpihan, pahat dan benda kerja.
2. Mengurangi suhu padat dan benda kerja.
3. Mencuci serpihan
4. memperbaiki penyelesaian permukaan.
5. Menaikkan umur pahat.
6. Menurunkan daya yang diperlukan.
7. Mengurangi kemungkinan korosi pada benda kerja dan mesin.
8. Membantu mencegah menempelnya serpihan kepala pahat.

Media pendingin harus mempunyai syarat : tidak ada penolakan dari operator, tidak merusakkan mesin dan stabil. Disamping itu juga harus memiliki perpindahan panas yang baik, tidak menguap, tidak berbuih, memberikan pelumasan dan mempunyai suhu nyala yang tinggi.



Gambar 2.13. Perkiraan sumber panas dalam tiga daerah, A. Bidang geser, B. Bidang gesek, C. Bidang permukaan.

Umunya pendingin berbentuk cair, karena dapat diarahkan pada pahat dan mudah disirkulasi. Media pendingin kimia banyak digunakan yang antara lain :

1. Amina dan nitrit untuk mencegah karat.
2. Nitrat untuk menstabilkan nitrit.
3. Fosfat dan borat untuk melunakkan air.
4. Bahan sabun dan pembasah untuk pelumasan dan mengurangi tegangan permukaan.
5. Gabungan dari fosfor, chlorin dan belerang untuk pelumasan

6. Chlorin untuk pelumasan.
7. Glikol sebagai bahan pengaduk dan pembasah.
8. Germisida untuk mengendalikan pertumbuhan bakteri.

Pengenaan media pendingin adalah antara pahat dengan benda kerja, atau kalau memungkinkan antara serpihan dengan pahat.

Berdasarkan jenis bahan, media pendingin yang digunakan antara lain :

1. **Besi Cor.** digunakan media pendingin udara tekan, minyak cair atau dikerjakan kering.
2. **Aluminium.** digunakan pelumas kerosin, minyak cair atau air soda.
3. **Besi mampu tempa.** Digunakan minyak larut air atau dikerjakan kering.
4. **Kuningan.** Dikerjakan kering, minyak parafin atau campuran minyak lemak binatang.
5. **Baja.** minyak larut air, minyak tersulfurisasi atau minyak mineral.
6. **Besi tempa.** minyak lemak binatang atau minyak larut air.

2.12 MESIN BUBUT*

2.12.1 Mesin Bubut Turet

Mesin bubut turet memiliki ciri khusus yang terutama disesuaikan untuk kebutuhan mesin produksi.

Keahlian pekerja disesuaikan pada mesin ini sehingga operator yang kurang pengalaman bisa menghasilkan komponen yang sejenis. Karakteristik utama kelompok mesin ini adalah bahwa pahat/perkakas bisa

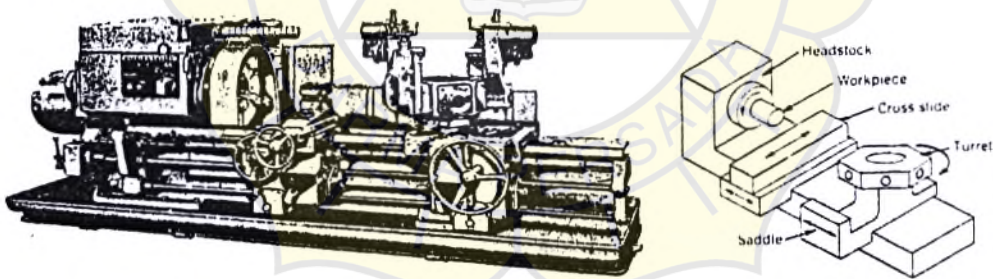
* Asvari Darvus. hal 67-69

distel untuk operasi berurutan. Walaupun tenaga skill/terlatih diperlukan untuk menyetel perkakas dengan benar, namun setelah itu untuk mengoperasikannya bisa dilakukan oleh tenaga tidak terlatih.

2.12.2 Mesin Bubut Turet Horizontal

Mesin ini dibuat dalam dua desain umum yaitu *ram* dan *sadel*. Mesin bubut jenis *ram* disebut demikian sesuai dengan cara turet dipasang. Turet ditempatkan pada peluncur atau *ram* yang bergerak kebelakang dan kemuka pada sebuah *sadel* yang diapitkan kepada bangku mesin bubut. Pengaturan ini menghasilkan gerakan cepat dari turet dan dianjurkan untuk untuk kerja batang atau pencekaman tugas ringan. *Sadelnya* tidak bergerak selama operasi.

Pada jenis *sadel* (gambar 2.14.), yang digunakan untuk pekerjaan pencekaman, mempunyai turet yang dipasang langsung pada *sadel*. *Sadelnya* bergerak bolak balik bersama turet.



Gambar 2.14. Mesin bubut turet pencekaman jenis *sadel*.

Karena perkakas pencekaman menggantung (*overhang*) dan tidak mendukung benda kerja, maka perkakas pencekam harus sekaku mungkin. Mesin bubut turet dikonstruksi dengan cara yang sama dengan mesin bubut biasa.

Perbedaan Antara Mesin Bubut Turet Dengan Mesin Bubut Biasa

Perbedaan utamanya adalah bahwa mesin bubut turet disesuaikan untuk pekerjaan produksi yang banyak sedangkan mesin bubut biasa terutama digunakan untuk berbagai pekerjaan, untuk pembubut ruang perkakas atau kerja tunggal. Ciri ciri mesin bubut turet yang membuatnya dipakai untuk produksi banyak adalah :

1. Perkakas bisa distel pada turet untuk pekerjaan berurutan.
2. Setiap stasiun dilengkapi dengan penghenti atau penggerak hantaran sehingga masing-masing pemotongan oleh pahat adalah sama dengan pemotongan sebelumnya.
3. Pemotongan majemuk dapat diambil dari stasiun yang sama pada saat yang sama, misalnya pembubutan atau pemboran lubang sebanyak dua buah atau lebih.
4. Pemotongan kombinasi dapat dibuat yaitu pahat pada peluncur menyilang (cross slide) dapat digunakan bersamaan dengan pahat pada turet yang lagi memotong.
5. Kekakuan pada pemegang benda kerja atau pahat harus dibuat pada mesin untuk pekerjaan majemuk atau pemotongan kombinasi.
6. Mesin bubut turet mungkin dilengkapi dengan berbagai perlengkapan seperti pembuatan tirus, pembuatan ulir dan pekerjaan duplikasi dan bisa dikontrol dengan pita/kaset.