

BAB II

LANDASAN TEORI

2.1 Konsep Dasar Sistem Produksi

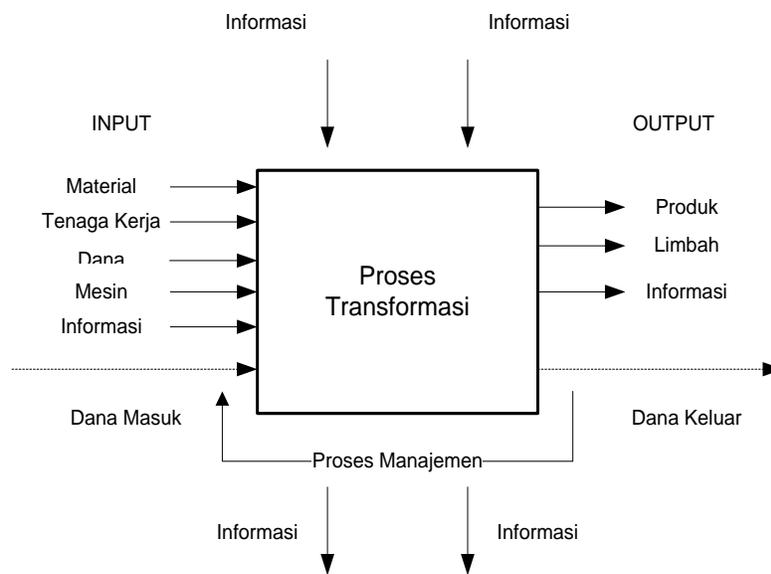
Organisasi industri merupakan salah satu mata rantai dari sistem perekonomian, karena ia memproduksi dan mendistribusikan produk (barang dan/atau jasa). Produksi merupakan fungsi pokok dalam setiap organisasi, mencakup aktivitas yang bertanggung jawab untuk menciptakan nilai tambah produk yang merupakan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

Sistem produksi merupakan kumpulan dari sub system – sub system yang saling berinteraksi dengan tujuan mentransformasi input produksi menjadi output produksi. Input produksi ini dapat berupa bahan baku, mesin, tenaga kerja, modal dan informasi, sedangkan output produksi merupakan produk yang dihasilkan brikut adalah hasil sampingannya seperti limbah, informasi, dan sebagainya.

Sistem produksi memiliki komponen atau elemen structural dan fungsional yang berperan penting dalam menunjang kontinuitas operasional system produksi itu.

Komponen atau elemen structural yang membentuk sistem produksi terdiri dari: bahan (material), mesin dan peralatan, tenaga kerja, modal, energi, informasi, tanah dan lain-lain. Sedangkan komponen atau elemen fungsional terdiri dari: supervise, perencanaan, pengendalian, koordinasi, dan kepemimpinan,

yang kesemuanya berkaitan dengan manajemen dan organisasi. Suatu sistem produksi selalu berada dalam lingkungan, sehingga aspek-aspek lingkungan seperti perkembangan teknologi, sosial dan ekonomi, serta kebijakan pemerintah akan sangat mempengaruhi keberadaan sistem produksi itu.



Gambar 2.1 Alur Sistem Produksi

Elemen-elemen utama dalam sistem produksi adalah : input, proses, dan output, serta adanya suatu mekanisme umpan balik untuk pengendalian sistem produksi itu agar mampu meningkatkan perbaikan terus-menerus (continuous improvement).

2.1.1 Sistem Produksi Menurut Proses Menghasilkan Output

Proses produksi merupakan cara, metode, dan teknik untuk menciptakan atau menambah kegunaan suatu produk dengan mengoptimalkan sumberdaya produksi (tenaga kerja, mesin, bahan baku, dan dana) yang ada. Sistem produksi menurut proses menghasilkan output dibedakan menjadi dua jenis yaitu:

1. Proses Produksi Kontinyu (*Continues Process*)

Pada proses ini, tidak memerlukan waktu set up yang lama dikarenakan proses ini memproduksi secara terus menerus hanya untuk jenis produk yang sama.

2. Proses Produksi Terputus (*Intermittent Process/ Discrete System*)

Proses produksi terputus ini memerlukan total waktu set up yang sangat lama karena pada proses ini memproduksi berbagai jenis spesifikasi barang sesuai pesanan, sehingga adanya pergantian jenis barang yang diproduksi tersebutlah yang akan membutuhkan kegiatan set up yang lebih lama dan berbeda dengan proses kontinyu.

2.1.2 Sistem Produksi Menurut Tujuan Operasinya

Dilihat dari tujuan perusahaan melakukan operasinya dalam hubungannya dengan pemenuhan kebutuhan konsumen, maka system produksi dibedakan menjadi empat jenis, yaitu :

1. **Engineering To Order (ETO)**, yaitu bila pemesan meminta produsen untuk membuat produk yang dimulai dari proses perancangannya

- 2 *Assembly To Order (ATO)*, yaitu bila produsen membuat desain standar, modul-modul opsinya standar yang sebelumnya dan merakit suatu kombinasi tertentu dari modul-modul tersebut sesuai dengan pesanan konsumen. Modul-modul standar tersebut bisa dirakit untuk berbagai tipe produk
3. *Make To Order (MTO)*, yaitu bila produsen akhirnya menyelesaikan item hanya jika telah menerima pesanan konsumen untuk item tersebut
- 4 *Make To Stock (MTS)*, yaitu bila produsen membuat item-item yang diselesaikan dan ditempatkan sebagai persediaan sebelum pesanan konsumen diterima. Item akhir tersebut baru akan dikirim dari system persediaannya setelah pesanan konsumen diterima

2.2 Pengertian Penjadwalan

Penjadwalan (*scheduling*) merupakan salah satu kegiatan penting dalam perusahaan. Penjadwalan adalah pengaturan waktu dari suatu kegiatan operasi, yang mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan maupun tenaga kerja, dan menentukan urutan pelaksanaan bagi suatu kegiatan operasi. Dalam suatu perusahaan industri, penjadwalan diperlukan antara lain dalam mengalokasikan tenaga operator, mesin dan peralatan produksi, urutan proses, jenis produk

persediaan, serta penggunaan yang efisien dan fasilitas, tenaga kerja, dan peralatan.

Penjadwalan biasanya disusun dengan mempertimbangkan berbagai keterbatasan yang ada.

Terlepas dan jenis perusahaannya, setiap perusahaan perlu untuk melakukan penjadwalan sebaik mungkin agar dapat memperoleh utilitasi yang maksimum dan sumber daya produksi dan aset lain yang dimilikinya. Penjadwalan yang baik akan memberikan dampak positif yaitu rendahnya biaya operasi dan waktu pengiriman, yang pada akhirnya dapat meningkatkan kepuasan pelanggan. Dalam hirarki pengambilan keputusan, penjadwalan merupakan langkah terakhir sebelum dimulainya operasi. Seperti telah dibahas pada awal buku ini kegiatan operasi dimulai dan perencanaan jangka panjang yang meliputi perencanaan fasilitas dan kebutuhan peralatan. Selanjutnya, dilakukan perencanaan jangka menengah dimana keputusan yang berkaitan dengan penggunaan fasilitas, tenaga kerja, dan subkontrak dibuat. Dan perencanaan jangka menengah disusun suatu jadwal induk yang memerinci rencana agregat dan mengembangkan suatu jadwal menyeluruh (*overall schedule*) untuk produk yang akan dibuat. Jadwal menyeluruh menjabarkan perencanaan kapasitas dan jadwal induk kedalam perencanaan jangka pendek yang meliputi penjadwalan untuk tenaga kerja, bahan, dan mesin.

2.3 Tujuan Penjadwalan

Bedworth (1987) mengidentifikasi beberapa tujuan dan aktivitas penjadwalan adalah sebagai berikut.

- Meningkatkan penggunaan sumberdaya atau mengurangi waktu tunggu, sehingga total waktu proses dapat berkurang, dan produktivitas dapat meningkat.
- Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan yang rnenunggu 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.
- Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi penalti *cost* (biaya kelambatan).
- Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan.

Pada saat merencanakan suatu jadwal produksi, yang harus dipertimbangkan adalah ketersediaan sumber daya yang dimiliki, baik berupa tenaga kerja, peralatan. Prosesor atau pun bahan baku. Karena sumber daya yang dimiliki dapat berubah-ubah

(terutama operator dan bahan baku), maka penjadwalan dapat kita lihat merupakan proses yang dinamis. Dalam menunjang MPS, akan ada beberapa sub penjadwalan yang harus ditentukan kapan dapat dimulainya suatu pekerjaan dan kapan dapat diselesaikan.

2.4 Kriteria Penjadwalan

Teknik scheduling yang benar bergantung kepada volume pesanan, sifat alami produksi, dan kompleksitas job keseluruhan, demikian pula kepentingan yang ditempatkan pada setiap kriteria sebagai berikut:

1. *Minimasi waktu penyelesaian*. Kriteria ini dievaluasi dengan menentukan waktu penyelesaian rata-rata untuk setiap job.
2. *Maksimasi utilisasi*. Kriteria ini dievaluasi dengan menghitung persentase waktu digunakannya fasilitas.
3. *Minimasi persediaan work-in-process (WIP)*. Kriteria ini dievaluasi dengan menentukan jumlah job rata-rata dalam sistem tersebut. Hubungan antara banyaknya job dalam sistem dan persediaan WIP akan tinggi.
4. *Minimasi waktu tunggu pelanggan*. Kriteria ini dievaluasi dengan menentukan jumlah keterlambatan rata-rata.

Kriteria di atas digunakan dalam industri untuk mengevaluasi kinerja scheduling. Pendekatan scheduling yang baik harus sederhana, jelas, mudah dipahami, mudah dilakukan, fleksibel, dan realistis. Dengan pertimbangan ini, *tujuan scheduling adalah untuk mengoptimalkan penggunaan sumberdaya sedemikian rupa sehingga tujuan produksi dapat dicapai.*

2.5 Penjadwalan Berdasarkan Volume Produksi

- **Flow Shop**

Usaha terbanyak yang dibutuhkan untuk melaksanakan suatu bentuk penjadwalan *flow shop* dilakukan pada tahapan desain sistem produksinya . Pada *flow shop* ini terjadilah suatu pergerakan unit-unit yang benar-benar terus menerus melalui suatu rangkaian stasiun-stasiun kerja yang disusun berdasarkan produk.

Susunan suatu proses produksi jenis *flow shop* dapat diterapkan dengan tepat untuk produk-produk dengan desain yang stabil dan diproduksi secara banyak volume, sehingga investasi dengan tujuan khusus (*special purpose*) yang digunakan dapat secepatnya kembali.

- **Batch Shop**

Dalam kegiatan produksi, seringkali terdapat beberapa jenis produk dibuat dengan menggunakan fasilitas yang sama (umum). Misalnya, suatu perusahaan minuman memproduksi berbagai jenis minuman dengan menggunakan satu fasilitas yang sama secara bergantian, atau suatu pabrik sabun memproduksi berbagai jenis sabun pada unit produksi yang sama. Persoalan yang dihadapi ialah bagaimana melakukan penjadwalan produksi dan berbagai produk dengan menggunakan fasilitas yang dipakai secara bersama. Dalam situasi seperti ini, produk biasanya dibuat dalam suatu *batch* (tumpukan). Keputusan yang harus dilakukan adalah menentukan urutan pembuatan produk dan berapa besar kuantitas *batch* untuk setiap jenis

produk. Kuantitas *batch* -yang secara ekivalen dapat disamakan dengan panjang waktu untuk suatu *production run*- dan frekuensi produksi mempengaruhi tingkat persediaan dan biaya *set-up*. Biaya *set-up* terjadi setiap waktu dilakukan pergantian untuk pembuatan suatu produk baru. Semakin lama *production run* semakin banyak penyimpanan dan semakin sedikit biaya *set-up*.

Sebaliknya, semakin pendek *production run* semakin sedikit biaya penyimpanan tetapi biaya *set-up* menjadi semakin besar. Kuantitas *batch* yang optimal dapat dihitung dengan menggunakan metode ukuran lot yang ekonomis (EOQ). Namun, apabila berbagai produk menggunakan fasilitas yang sama maka penggunaan EOQ dapat menjadi tidak optimal, ukuran lot perlu dimodifikasi karena urutan produk harus diperhitungkan. Pengurutan juga mempunyai efek terhadap biaya.

- **Job Shop**

Penjadwalan pada proses produksi tipe *job shop* lebih sulit dibandingkan penjadwalan *flow shop*. Hal ini disebabkan oleh 3 alasan:

1. *Job shop* menangani variasi produk yang sangat banyak, dengan pola aliran yang berbeda-beda melalui pusat-pusat kerja.
2. Peralatan pada *job shop* digunakan secara bersama-sama oleh bermacam-macam order dalam prosesnya, sedangkan peralatan pada *flow shop* digunakan khusus hanya untuk satu jenis produk.

3. Job-job yang berbeda mungkin ditentukan oleh prioritas yang berbeda pula. Hal ini mengakibatkan order tertentu yang dipilih harus diproses seketika pada saat order tersebut ditugaskan pada suatu pusat kerja. Sedangkan *pada flow shop* tidak terjadi permasalahan seperti diatas karena keseragaman output yang diproduksi untuk persediaan. Prioritas order pada *flow shop* dipengaruhi terutama pada pengirimannya dibandingkan tanggal pemrosesan.

Faktor-faktor tersebut diatas menghasilkan sangat banyak kemungkinan kombinasi dan pembebanan (*loading*) dan urutan-urutan (*sequencing*). Perhitungan dan identifikasi dan evaluasi jadwal-jadwal yang mungkin menjadi sangat sulit sehingga banyak perhatian diarahkan pada riset penjadwalan *job shop*. Selain itu, persiapan suatu penjadwalan *job shop*, penyesuaian dan pembaharuannya membutuhkan investasi yang besar untuk fasilitas komputer. Pada bagian ini kita membahas masalah penjadwalan *job shop* dengan memperhatikan permasalahan pada *job loading dan job sequencing*. *Job loading* mengartikan bahwa kita harus memutuskan pada pusat-pusat kerja yang mana suatu job harus ditugaskan. *Job sequencing* mengartikan bahwa kita harus menentukan bagaimana urutan proses dan bermacam-macam job harus ditugaskan pada mesin-mesin tertentu atau pusat kerja tertentu.

a. Loading

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 dapat 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. Berikut ini akan dibahas suatu pendekatan yang sering dipakai, yaitu *Gantt chart* (bagan Gantt). Pendekatan yang lain, yaitu Metode Penugasan (*assignment method*), Bagan Gantt merupakan alat bantu yang berguna dalam pembebanan pada produksi dengan volume rendah. Bagan ini membantu menunjukkan beban dan waktu kosong dari beberapa bagian mesin. Apabila suatu pusat kerja memiliki kelebihan beban, kita bisa memindahkan sementara sebagian dan personel pusat kerja yang bebannya kurang penuh kepada pusat kerja yang bebannya penuh tadi, atau memindahkan sebagian pekerjaan dan pusat kerja yang bebannya penuh kepada pusat kerja lain yang bebannya kurang penuh.

1. Pendekatan Gantt Chart

Merupakan alat peraga visual yang bermanfaat dalam loading dan scheduling scheduling. Nama ini didapatkan dari Henry Gantt (akhir 1800-an). Gantt chart menunjukkan penggunaan sumberdaya, seperti work center dan tenaga kerja.

Ketika digunakan dalam loading, Gantt chart menunjukkan loading dan waktu luang pada beberapa departemen, mesin, atau fasilitas. Gantt chart menunjukkan beban kerja dalam sistem sedemikian rupa sehingga manajer mengetahui penyesuaian apa yang sesuai. Sebagai contoh, ketika sebuah work center dibebani secara

berlebihan, maka karyawan dari work center yang memiliki beban rendah dapat dipindahkan untuk sementara untuk dapat meningkatkan jumlah tenaga kerja. Atau jika job yang sedang menunggu dapat diproses pada work center yang berbeda, maka beberapa job pada work center dengan beban tinggi dapat dipindahkan kepada work center yang memiliki beban rendah. Peralatan serbaguna juga dapat dipindahkan di antara work center.

contoh

Suatu perusahaan pembuat kipas angin menerima pesanan untuk membuat empat jenis kipas angin, sebut saja model A, B, C dan D, untuk keperluan tertentu. Proses produksi dan setiap jenis kipas angin berbeda urutan dan waktunya. Jadwal proses produksi dan pembebanan kerja untuk setiap pusat kerja dapat digambarkan dalam suatu bagan Gantt sebagai berikut.

Pusat kerja	Hari					
	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu
Bengkel logam	A	B	■	D		
Bengkel mesin	B		A	C	■	
Bengkel listrik	C		B	A	C	D
Bengkel cat				B	A	C

- waktu kosong yang direncanakan untuk perbaikan mesin atau ruang kerja

Gambar 2.2. Bagan Pembebanan Gantt Chard

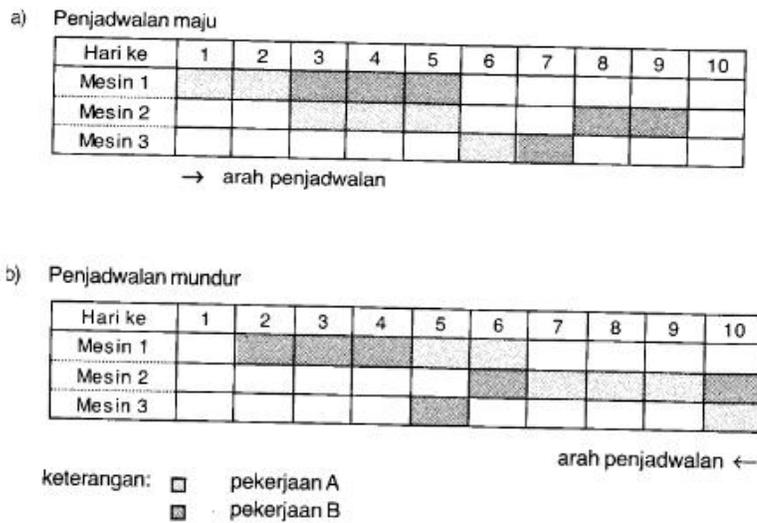
Gambar 2.2 dapat diketahui bahwa bengkel listrik memiliki beban yang penuh selama seminggu yang akan datang, sebaliknya bengkel cat memiliki tiga hari kerja yang kosong. Bengkel logam dan bengkel mesin masing - masing memiliki satu hari

kosong dan satu hari kerja yang dijadwalkan untuk kegiatan pemeliharaan (*maintenance*) mesin atau ruang kerja. Penjadwalan dengan bagan Gantt dapat dilakukan dalam dua cara, yaitu penjadwalan maju dan penjadwalan mundur.

- **Forward scheduling** memulai schedule segera setelah persyaratan suatu job diketahui. Forward scheduling digunakan dalam berbagai organisasi seperti produsen perkakas mesin. Dalam fasilitas seperti ini, job dilakukan sesuai dengan pesanan pelanggan, dan biasanya diminta untuk dikirim sesegera mungkin. Forward scheduling pada umumnya dirancang untuk menghasilkan sebuah schedule yang dapat dipenuhi sekalipun hal ini berarti batas waktunya tidak dapat dipenuhi. Dalam banyak kejadian, forward scheduling menjadi penyebab tertumpuknya work-in-process.
- **Backward scheduling** dimulai dari batas waktu, dan menjadwalkan produksi yang terakhir terlebih dahulu. Kemudian urutan job dijadwalkan satu demi satu, dengan susunan terbalik. Dengan mengurangi lead time untuk setiap item, maka diperoleh waktu mulai. Bagaimanapun, sumberdaya yang diperlukan untuk memenuhi schedule mungkin tidak ada. Backward scheduling digunakan dalam banyak lingkungan manufaktur. Dalam praktek, sebuah kombinasi dari forward scheduling dan backward scheduling sering digunakan untuk menemukan titik temu di antara apa yang dapat dipenuhi dan batas waktu pelanggan.

Tabel 2.1 Data mesin dan waktu untuk pekerjaan A dan B

Unutan proses	Pekerjaan A		Pekerjaan B	
	Mesin	Waktu (jam)	Mesin	Waktu (jam)
1	A	2	A	3
2	B	3	C	1
3	C	1	B	2



Gambar 2.3. Penjadwalan Maju dan Penjadwalan Mundur

2. Pendekatan Assigment

mencakup proses penugasan tugas atau job pada sumberdaya. Penugasan job pada mesin. Tujuan yang paling sering adalah untuk meminimasi biaya total atau waktu yang diperlukan untuk melaksanakan tugas yang ada. Satu karakteristik permasalahan penugasan yang penting adalah bahwa terdapat hanya satu job (atau pekerja) yang ditugaskan untuk satu mesin (atau projek).

Setiap masalah penugasan menggunakan sebuah tabel. Angka-angka dalam tabel adalah waktu atau biaya yang berkaitan dengan tugas tertentu.

Contoh

Jika First Printing memiliki tiga karyawan typesetter yang tersedia (A, B, dan C) dan tiga job baru yang harus diselesaikan, maka tabelnya mungkin akan tampak sebagai

berikut. Nilai dollar mewakili perkiraan perusahaan akan biaya untuk menyelesaikan job yang akan diselesaikan oleh setiap karyawan typesetter.

Tabel 2.2 Penugasan First Printing

Job	Typesetter		
	A	B	C
R-34	\$11	\$14	\$6
S-66	\$8	\$10	\$11
T-50	\$9	\$12	\$7

Assignment method mencakup penambahan dan pengurangan angka-angka yang sesuai dalam tabel untuk menemukan biaya peluang yang paling rendah untuk setiap tugas. Terdapat empat step yang ditempuh:

1. Kurangi semua angka pada baris dengan angka terkecil yang terdapat pada baris tersebut dan kemudian, dari matriks yang dihasilkan, kurangi angka yang paling kecil dalam kolom tersebut. Step ini memiliki tujuan untuk mengurangi angka dalam tabel sehingga tampak serangkaian angka nol, yang berarti *biaya peluang sama dengan nol*. Walaupun angka-angka berubah, soal pengurangan ini sama dengan yang sebelumnya, dan solusi yang sama akan optimal.
2. Gambarkan garis lurus horisontal dan vertikal seminimal mungkin untuk

mencoret semua angka nol dalam tabel. Jika jumlah garis sama dengan jumlah baris atau jumlah kolom yang dimiliki oleh tabel, maka penugasan yang optimal telah ditemukan (lihat step 4). Jika jumlah garis kurang dari jumlah baris atau kolom, maka lanjutkanlah pada step ke tiga.

3. Kurangi setiap angka yang tidak tercoret dalam tabel dengan angka terkecil yang ditemukan yang juga tidak tercoret oleh garis. Tambahkan angka yang sama kepada angka yang ditutupi oleh dua garis. Jangan mengubah angka yang hanya tercoret oleh satu garis. Kembali ke step 2 dan teruskan hingga penugasan yang optimal ditemukan.
4. Penugasan yang optimal akan selalu berada pada nilai nol pada tabel. Salah satu cara yang sistematis untuk membuat sebuah penugasan yang sah adalah memilih sebuah kolom atau baris yang berisi hanya satu kotak nol. Penugasan dapat dilakukan pada kotak tersebut, dan kemudian gambarkan garis melalui kolom dan baris tersebut. Penugasan telah dibuat, dan lanjutkan prosedur hingga setiap orang atau mesin sudah ditugaskan pada satu job.

Contoh

Merujuk pada tabel biaya yang telah ditunjukkan. Penugasan job dengan biaya total minimal job typesetter didapatkan dengan cara menerapkan step 1 hingga 4.

Step 1a: Dengan menggunakan tabel yang sebelumnya, kurangi semua angka dalam baris dengan angka terkecil yang terdapat dalam baris tersebut. Hasilnya ditunjukkan di bawah

Tabel 2.3 Step 1 b

Typesetter			
Job	A	B	C
R-34	5	8	0
S-66	0	2	3
T-50	2	5	0

Step 1 b: Dengan menggunakan tabel sebelumnya, kurangi semua angka dalam kolom dengan angka terkecil yang terdapat dalam kolom tersebut. Hasilnya ditunjukkan pada tabel di bawah.

Tabel 2.4 Step 2

Typesetter			
Job	A	B	C
R-34	5	6	0
S-66	0	0	3
T-50	2	3	0

Step 2: Gambarkan garis lurus horisontal dan vertikal seminimal mungkin yang diperlukan untuk menutupi semua angka nol. Karena dua garis sudah cukup untuk menutupi semua angka nol yang ada, maka solusi belum optimal.

Tabel 2.5 Step 3

Typesetter			
Job	A	B	C
R-34	5	6	0
S-66	0	0	3
T-50	2	3	0

→ Angka terkecil yang tidak tertutupi

Step 3: Kurangi semua angka dalam tabel dengan angka terkecil dari angka yang tidak tertutup garis (dalam tabel ini bernilai 2) dan menambahkannya ke angka yang ditutupi oleh dua garis.

Tabel 2.6 Step 4

Typesetter			
Job	A	B	C
R-34	3	4	0
S-66	0	0	5
T-50	0	1	0

Kembali ke step 2. Coret lagi nilai nol dengan garis lurus.

Karena dibutuhkan tiga garis, maka penugasan yang optimal sudah ditemukan (lihat step 4). Tugaskan R-34 ke C, S-66 ke B, dan T-50 ke A. Dengan mengacu pada tabel biaya awal, maka terlihat bahwa:

$$\text{Biaya minimal} = \$6 + \$10 + \$9 = \$25$$

Catatan: Jika S-66 telah ditugaskan ke A, T-50 tidak dapat ditugaskan lagi pada lokasi yang bernilai nol.

Permasalahan penugasan berisi maksimasi laba, efektivitas, atau pemberian imbalan dari penugasan orang kepada tugas tertentu atau job kepada mesin. Sangat mudah untuk menjadikan masalah ini menjadi soal minimasi dengan cara mengubah setiap angka dalam tabel menjadi sebuah *peluang kerugian*. Untuk mengubah sebuah masalah maksimasi menjadi masalah minimasi yang sama, setiap angka dalam tabel dikurangi dengan angka yang terbesar dalam tabel tersebut. Kemudian step 1 dari assignment method empat step dilanjutkan. Hal ini menunjukkan bahwa meminimasi peluang kerugian menghasilkan solusi penugasan yang sama dengan permasalahan maksimasi sebelumnya.

b. Sequencing

Istilah penjadwalan dapat diartikan sebagai proses penentuan waktu mulai dan selesainya tugas. Sementara pengurutan (*sequencing*) mencakup penentuan urutan pekerjaan yang diproses. Dalam praktek, perbedaan ini mungkin tidak terlalu kelihatan, penjadwalan sering kali sudah mencakup waktu dan urutan pekerjaan. Pengurutan menentukan urutan pekerjaan yang harus dikerjakan pada suatu pusat kerja. Misalnya, terdapat 5 jenis pekerjaan yang akan diproses. Pekerjaan mana yang harus dikerjakan lebih dulu, apakah yang lebih dulu datang atau yang paling cepat selesai. Metode pengurutan menentukan urutan pekerjaan yang dilakukan oleh suatu pusat kerja berdasarkan urutan prionitas yang telah ditentukan.

Terdapat beberapa aturan dalam pengurutan, setiap urutan tentunya mempunyai pengaruh yang berbeda, baik terhadap kecepatan selesainya pekerjaan maupun terhadap faktor (annya seperti tingkat rata-rata persediaan, biaya *set-up* maupun rata-rata keterlambatan pekerjaan. Urutan yang dipilih tentu harus disesuaikan dengan tujuan yang hendak dicapai. Beberapa aturan prioritas yang umum sebagai berikut.

- FCFS (*first come first serve*), pekerjaan yang datang lebih awal pada suatu pusat kerja akan dikerjakan lebih dulu. Aturan ini banyak digunakan pada bank, *supermarket*, kantorpos, dan sebagainya.
- SPT (*shortest processing time*), pekerjaan yang paling cepat selesainya mendapat prioritas pertama untuk dikerjakan lebih dulu. Cara ini sering kali diterapkan bagi perusahaan perakitan atau jasa.
- EDD (*earliest due date*), pekerjaan yang harus selesai paling awal dikerjakan lebih dulu.

Disamping ketiga aturan prioritas tersebut, dikenal juga beberapa cara, antara lain *critical ratio* dan *least slack*. Dalam *critical ratio* (CR), pekerjaan yang rasio antara *due-date* terhadap lama waktu kerja paling kecil mendapat prioritas lebih dulu. Sementara dalam *least slack* (LS), pekerjaan yang memiliki *slack time* terkecil mendapat prioritas untuk dikerjakan lebih dulu. *Slack time* menunjukkan perbedaan antara waktu tersisa hingga tanggal jatuh tempo

dengan waktu proses yang tersisa. Sebelum masuk ke dalam penyusunan pengurutan pekerjaan, berikut ini beberapa terminologi yang dipakai.

- Lama proses menunjukkan waktu yang diperlukan untuk memproses pekerjaan itu sampai selesai.
- Waktu selesai menunjukkan total waktu suatu pekerjaan berada pada sistem. Waktu selesai ini mencakup lama proses ditambah dengan waktu menunggu sampai pekerjaan yang bersangkutan mendapat giliran diproses.
- Jadwal selesai (*due date*) merupakan batas waktu yang diharapkan pekerjaan yang bersangkutan telah selesai diproses (jatuh tempo), yaitu berapa hari sejak pekerjaan masuk kedalam sistem.
- Keterlambatan menunjukkan jumlah hari keterlambatan dan batas yang diharapkan selesai, yaitu perbedaan antara waktu selesai dan jadwal selesai.
- Rata-rata waktu penyelesaian pekerjaan (*average completion time*), dihitung dan jumlah waktu selesai semua pekerjaan dibagi dengan jumlah pekerjaan. Rata-rata waktu penyelesaian yang rendah dapat memperkecil jumlah persediaan dalam proses yang pada akhirnya dapat mempercepat pelayanan.
- Rata-rata waktu keterlambatan (*average job lateness*), dihitung dan jumlah hari keterlambatan dibagi dengan jumlah pekerjaan. Rata-rata keterlambatan yang rendah menunjukkan waktu pengiriman (*delivery time*) yang lebih cepat

- Rata-rata jumlah pekerjaan pada sistem (pusat kerja) adalah rata-rata jumlah pekerjaan dalam sistem (baik yang sedang menunggu maupun sedang diproses dan awal sampai pekerjaan terakhir selesai diproses. Rata-rata jumlah pekerjaan yang sedikit menunjukkan sistem dalam keadaan longgar (tidak penuh).

Contoh

CV Maart memiliki lima pekerjaan yang akan diproses dengan menggunakan suatu pusat kerja yang sama. Data waktu proses dan kapan pekerjaan yang bersangkutan harus selesai ditunjukkan dalam tabel berikut ini. Di asumsikan kedatangan pekerjaan secara berturut-turut adalah A, B, C, D dan E.

Tabel 2.7 data pekerjaan

Pekerjaan	Lama proses	Jadwal selesai
A	10	15
B	6	10
C	11	21
D	12	18
E	9	16

Pengurutan pekerjaan berdasarkan beberapa aturan prioritas dijelaskan dalam Tabel 2.8 sampai dengan Tabel 2.10 berikut ini.

Tabel 2.8. Pengurutan Berdasarkan Metode FCFS

Urutan pekerjaan (kedatangan)	Lama proses	Waktu selesai	Jadwal selesai	Keterlambatan
A	10	10	15	0
B	6	16	10	6
C	11	27	21	6
D	12	39	18	21
E	9	48	16	32
	48	140		65

Rata-rata waktu penyelesaian pekerjaan = $140/5 = 28$ hari

Rata-rata waktu keterlambatan = $65/5 = 13$ hari

Rata-rata jumlah pekerjaan dalam sistem = $140/48 = 2,91$

Tabel 2.9. Pengurutan Berdasarkan Metode SPT

Urutan pekerjaan	Lama proses	Waktu selesai	Jadwal selesai	Keterlambatan
B	6	6	10	0
E	9	15	16	0
A	10	25	15	10
C	11	36	21	15
D	12	48	18	30
	48	130		55

Rata-rata waktu penyelesaian pekerjaan = $130/5 = 26$ hari

Rata-rata waktu keterlambatan = $55/5 = 11$ hari

Rata-rata jumlah pekerjaan dalam sistem = $130/48 = 2,7$

Tabel 2.10. Pengurutan Berdasarkan Metode EDD

Urutan pekerjaan	Lama proses	Waktu selesai	Jadwal selesai	Keterlambatan
B	6	6	10	0
E	9	16	15	1
A	10	25	16	9
C	11	37	18	19
D	12	48	21	27
	48	132		56

Rata-rata waktu penyelesaian pekerjaan = $132/5 = 26,4$ hari

Rata-rata waktu keterlambatan = $56/5 = 11,2$ hari

Rata-rata jumlah pekerjaan dalam system = $132/48 = 2,75$

Dan hasil pengurutan tersebut, diketahui perbedaan yang ada dan penggunaan aturan prioritas pengurutan. Dan ketiga aturan tersebut, SPT membenikan rata-rata Penyelesaian pekerjaan yang paling cepat dan rata-rata keterlambatan yang paling rendah. Hal ini tidak terjadi secara kebetulan dalam contoh ini tetapi SPT memang selalu superior dibandingkan aturan prioritas pengurutan yang lain. Kelemahan metode SPT adalah pekerjaan yang memiliki waktu proses terlama akan

ditempatkan pada urutan terakhir. Hal ini tentunya dapat merugikan pemberi order yang bersangkutan apalagi kalau yang bersangkutan sebetulnya datang lebih awal. Meskipun secara keseluruhan cara ini menguntungkan perusahaan, karena semua pekerjaan akan selesai dalam waktu yang lebih pendek.

Dalam menentukan urutan, tentunya perusahaan harus mengikuti aturan prioritas yang telah ditetapkan. Perusahaan tidak selalu dapat menggunakan cara seperti ini misalnya, antrian pembayaran di pasar swalayan selalu menggunakan aturan FCFS akan menjadi masalah kalau tiba-tiba petugas menerapkan konsep SPT. Meskipun FCFS tidak memberikan rata-rata penyelesaian yang tercepat, aturan ini adil bagi pelanggan, dan merupakan suatu hal yang penting dipertimbangkan dalam kaitannya dengan pelayanan.

2.6 Penjadwalan Berdasarkan Mesin yang Digunakan

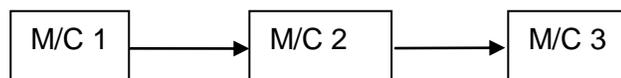
- Penjadwalan pada mesin tunggal
- Penjadwalan pada mesin jamak

2.7 Penjadwalan Berdasarkan Aliran Proses

- **Pure Flow Shop.**

Pola aliran proses identik dari satu mesin ke mesin yang lainnya sehingga semua tugas akan mengalir pada jalur produksi yang sama.

Input

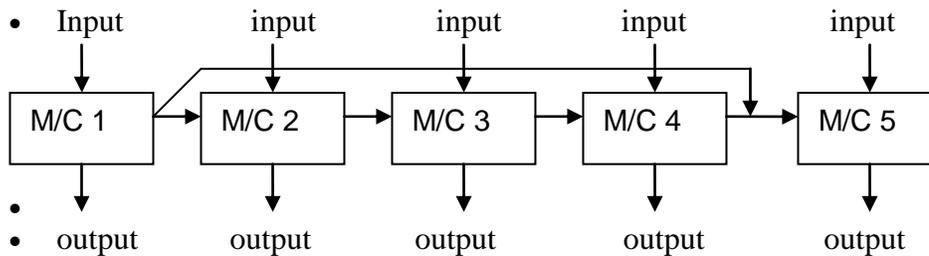


Gambar 2.4 Aliran Produksi pada jalur produksi yang sama

- **General Flow Shop.**

Aliran proses tidak terlalu identik, sehingga ada tugas–tugas yang berbeda pola aliran prosesnya. Hal tersebut disebabkan oleh:

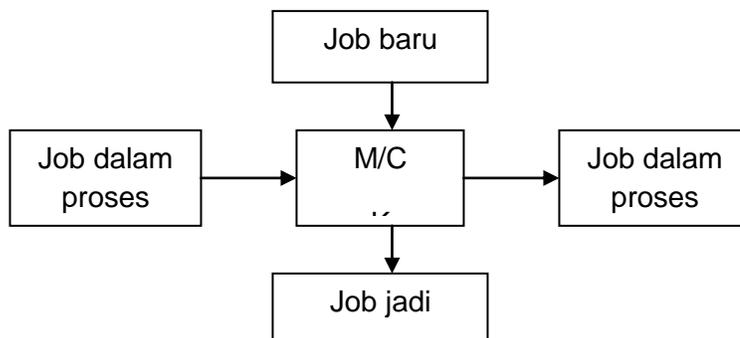
- suatu shop dapat menangani tugas yang bervariasi
- tugas yang datang ke dalam flow shop tidak harus dikerjakan pada semua mesin, sehingga ada kemungkinan suatu proses dilewati .



Gambar 2.5 Aliran Produksi Pada General Flow Shop

- **Job Shop.**

Semua tugas yang masuk memiliki pola aliran yang berbeda, sehingga setiap tugas yang akan diproses pada suatu mesin dapat berupa job baru maupun job dalam proses, dan job yang keluar dari suatu mesin dapat merupakan job jadi atau job dalam proses.



Gambar 2.6 Aliran Produksi Pada Job Shop

2.8 Penjadwalan Berdasarkan Pola Datangnya Job

- **Pola kedatangan statis.**

Tugas datang secara serempak dan siap dikerjakan pada mesin – mesin yang tidak bekerja.

- **Pola kedatangan dinamis.**

Sifat kedatangan tugas tidak menentu, sehingga dijumpai adanya variable waktu sebagai faktor yang berpengaruh.

2.9 Penjadwalan Berdasarkan Informasi yang Diterima

- **Model deterministik.**

Memiliki informasi yang pasti mengenai elemen – elemen yang ada.

- **Model stokastik dan probabilistik.**

Memiliki informasi yang tidak pasti mengenai elemen-elemen yang ada.

Elemen yang dimaksud meliputi:

- Elemen data tugas mengenai data waktu kedatangan bahan, data waktu penyelesaian produk, data prioritas pengerjaan produk, data waktu proses, dan data jumlah operasi.
- Elemen data mesin mengenai susunan mesin, kapasitas mesin, jumlah mesin, dan kecocokan tiap mesin dengan tugas yang diberikan.

2.10 Teknik Penjadwalan

2.10.1 Penyeimbangan lini (line balancing)

Bertujuan untuk memperoleh suatu arus produksi yang lancar dalam rangka memperoleh utilisasi yang tinggi atas fasilitas, tenaga kerja, dan peralatan melalui penyeimbangan waktu kerja antar stasiun kerja (*work station*). Elemen tugas dalam suatu kegiatan produksi dikelompokkan sedemikian rupa dalam beberapa stasiun kerja yang telah ditentukan sehingga dapat diperoleh penyeimbangan waktu kerja yang baik. Untuk menjelaskan lebih lanjut bagaimana penyeimbangan lini dilakukan, digunakan contoh berikut ini.

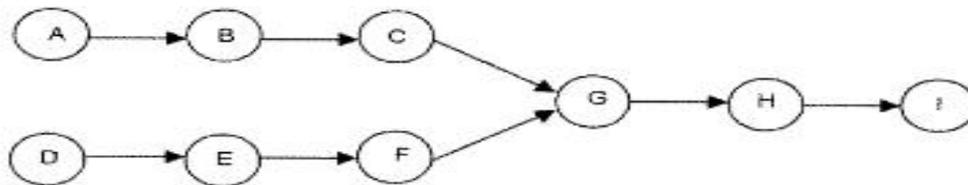
Contoh

PT Januari merupakan suatu industri perakitan komponen elektronika. Untuk membuat suatu komponen audio visual diperlukan urutan kegiatan dan waktu proses sebagai berikut.

Tabel 2.11. Elemen Kegiatan Pembuatan Komponen Audio Visual pada PT Januari.

Tugas	Tugas pendahulu	Waktu (menit)
A	-	6
B	A	2
C	B	3
D	-	7
E	D	3
F	E	2
G	C,F	10
H	G	5
I	H	4

Dalam bentuk diagram jaringan kerja, kegiatan produksi itu dapat digambarkan sebagai berikut:



2.7 Gambar diagram jaringan kerja

Dalam menyusun keseimbangan lini, terdapat dua faktor yang perlu diketahui yaitu jumlah waktu seluruh tugas dan waktu elemen tugas terlama (terpanjang). Kedua faktor ini diperlukan untuk mengetahui waktu siklus (*cycle time*) maksimum dan waktu siklus minimum. Kecuali untuk unit produksi yang pertama, waktu siklus ini menunjukkan interval waktu antara dihasilkannya satu unit produk dan unit produk berikutnya. Dalam contoh ini, jumlah waktu seluruh tugas 42 menit, yang menunjukkan waktu siklus maksimum yang mungkin. Sementara waktu elemen tugas terpanjang ialah 10 menit (waktu untuk pengerjaan tugas G), merupakan waktu siklus minimum yang mungkin. Apabila waktu siklus telah ditetapkan, kapasitas keluaran dapat dihitung dengan membagi waktu operasi dengan waktu siklus.

$$K = \frac{WO}{WS}$$

Di mana:

K = kapasitas keluaran (unit/hari)

WO = waktu operasi (jam/hari atau menit/hari)

WS = waktu siklus (menit/unit)

Misalnya, pabrik itu beroperasi 8 jam per hari (480 menit per hari), dan apabila digunakan waktu siklus 10 menit/unit, maka

$$\text{Kapasitas keluaran} = \frac{480 \text{ menit/hari}}{10 \text{ menit/unit}} = 48 \text{ unit/hari}$$

Jika menggunakan waktu siklus 42 menit, maka

$$\text{Kapasitas keluaran} = \frac{480 \text{ menit/hari}}{42 \text{ menit/unit}} = 11,4 \text{ unit/hari}$$

Pemilihan waktu siklus yang lebih pendek menghasilkan kapasitas keluaran yang lebih besar, tetapi dengan konsekuensi akan memerlukan jumlah stasiun kerja yang lebih besar juga. Pada umumnya, kapasitas keluaran sudah ditetapkan terlebih dahulu. Dengan demikian, waktu siklusnya dihitung dengan menyesuaikan terhadap jumlah keluaran yang telah ditetapkan tadi. Jika waktu siklus tidak terletak antara batas minimum dan maksimum, keluaran yang diinginkan harus direvisi karena tidak mungkin dicapai dengan menggunakan kapasitas yang ada, kecuali dilakukan penambahan waktu kerja. Waktu siklus dihitung sebagai berikut.

$$WS = \frac{WO}{K}$$

Di mana:

K = tingkat keluaran yang diinginkan.

Apabila diinginkan keluaran sebesar 40 unit/hari, maka

$$\text{Waktu siklus} = \frac{480 \text{ menit/hari}}{40 \text{ unit/hari}} = 12 \text{ menit/unit}$$

Jumlah minimum stasiun kerja (*work station*) yang diperlukan dapat dihitung dengan rumus sebagai berikut :

$$N = \frac{KxT}{WO} = \frac{T}{WS}$$

Di mana:

N = jumlah minimum stasiun kerja (buah)

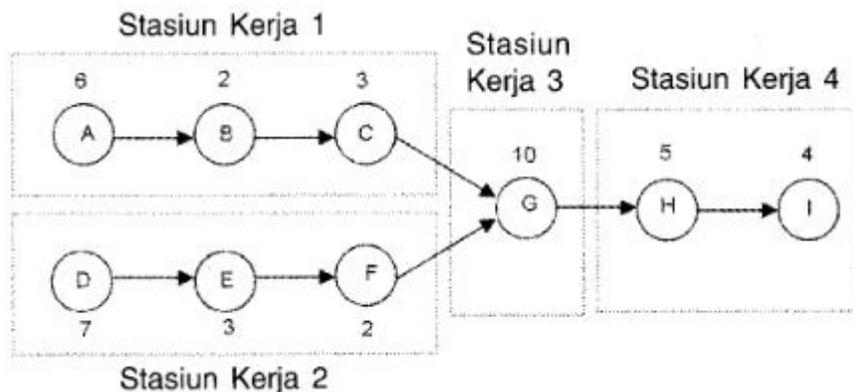
T = jumlah waktu seluruh tugas (menit/unit) = $\sum t_i$

Perlu dijelaskan di sini, yang dimaksud dengan stasiun kerja itu bisa berarti seorang operator, satu grup operator, sebuah mesin, sekelompok mesin, atau kombinasi operator mesin. Jika dalam perhitungan jumlah minimum stasiun kerja diperoleh angka pecahan, dilakukan pembulatan menjadi bilangan bulat (angka *integer*) di atasnya. Jumlah minimum stasiun kerja dalam contoh di atas adalah:

$$N = \frac{40 \times 42}{480} = 3,5 = 4 \text{ (dibulatkan ke atas)}$$

Selanjutnya dilakukan pembagian tugas, yaitu mengelompokkan tugas-tugas kedalam stasiun-stasiun kerja, dimana setiap stasiun kerja terdiri dari tugas-tugas yang memiliki total waktu kerja tidak melebihi waktu siklus. Cara yang termudah dalam pembagian tugas ini dengan cara uji coba (*trial and error*) yaitu dengan melakukan uji coba pengelompokan stasiun kerja kedalam empat kelompok yang masing-masing kelompok memiliki total waktu maksimal 12 menit. Dalam pengelompokan ini

sedapat mungkin diusahakan agar setiap stasiun kerja memiliki elemen-elemen tugas yang berurutan, karena secara praktis akan lebih memudahkan daripada mengerjakan tugas-tugas yang tidak berurutan. Gambar 2.7 menunjukkan pembagian tugas tersebut. Terlihat terjadinya keseimbangan waktu kerja dan stasiun-stasiun kerja. Stasiun-stasiun kerja itu merupakan lini-lini produksi, berarti terjadi keseimbangan dalam lini produksi. Dengan adanya penyeimbangan diantara lini-lini produksi maka waktu kosong bisa diminimalkan, yang berarti efisiensi dapat ditingkatkan.



Gambar 2.8. Pembagian Tugas ke dalam Stasiun Kerja

Terdapat cara lain dalam melakukan pengelompokan tugas ke dalam stasiun kerja, yaitu melalui pendekatan *heuristic*.

Dengan menggunakan pendekatan ini, pengelompokan penugasan dilakukan dengan prosedur sebagai berikut.

- 1) Tetapkan tugas yang dapat dipilih, yaitu tugas yang tidak ada tugas lain yang mendahuluinya atau tugas yang mendahuluinya sudah selesai dikerjakan
- 2) Tetapkan tugas yang cocok dengan waktu yang tersedia
- 3) Tetapkan penugasan pada suatu stasiun sampai maksimal
- 4) Lanjutkan ke stasiun kerja berikutnya dengan mengulangi prosedur di atas sampai selesai semua penugasan.

Tabel 2.11 merupakan hasil pendekatan *heuristik* dan contoh soal *PT Januari*. Meskipun dapat melakukan pengelompokkan penugasan sampai selesai, metode ini tidak selalu memberikan hasil yang optimal. Kadang-kadang perlu dilakukan penyesuaian agar hasil yang dicapai dapat optimal, yaitu pembagian waktu kerja yang paling seimbang dengan proses kerja yang efisien. Untuk kasus yang sederhana pendekatan *trial and error* akan lebih mudah dan lebih cepat dibandingkan pendekatan *heuristic*. Pendekatan *heuristic* akan bermanfaat kalau jumlah elemen tugasnya sangat banyak. Salah satu tujuan penyeimbangan lini alah meningkatkan efisiensi dengan meminimalkan waktu kosong stasiun kerja. Efisiensi dan waktu kosong (dalam menit) dapat dihitung dengan rumus:

$$effisiensi = \frac{T}{N \times WS} \times 100\%$$

Tabel 2.12. Perhitungan Heuristik dalam Penyeimbangan Lini

Stasiun kerja	Waktu yang tersedia	Tugas yang dapat dipilih	Tugas yang cocok	Penugasan (waktu)	Waktu kosong
I	12 6 4 1	A,B D,B D,C D	A,D B C -	A(6) B(2) C(3) -	1
II	12 5 2	D E F	D E F	D(7) E(3) F(2)	0
III	12 2	G H	G -	G(10) -	2
IV	12 7 3	H -	H I -	H(5) (4) -	3

$$\text{Waktu kosong} = N \times WS - T$$

$$\text{Waktu kosong (\%)} = 100\% - \text{efisiensi(\%)}$$

Waktu kosong dalam persen disebut juga sebagai tunda seimbang (*balance delay*), yang menunjukkan tingkat suatu lini mendekati seimbang sempurna. Suatu lini disebut seimbang sempurna jika tunda seimbangnnya nol, atau sangat kecil. Dalam contoh di atas, efisiensi dan waktu kosongnya sebagai berikut:

$$\text{efisiensi} = \frac{42}{4 \times 12} = 87,5\%$$

$$\text{Waktu kosong (tunda seimbang)} = 100\% - 87,5\% = 12,5\%$$

Waktu kosong terjadi karena adanya pembulatan yang dilakukan dan hasil perhitungan jumlah minimum stasiun kerja menjadi angka integer terdekat di atasnya. Dalam contoh di atas dan 3,5 menjadi 4. Hal ini memang tidak bisa dihindari karena stasiun kerja yang pecahan (yang berarti bekerja secara paruh waktu) tidak mungkin diterapkan dalam produksi yang berulang (massal) seperti ini.

2.10.2 Metode Run – Out Time

Teknik penjadwalan yang sering digunakan dalam satuan pemrosesan secara *batch* ialah penjadwalan melalui metode *run-out time* (waktu habis). *Run-out time* (ROT) menunjukkan berapa lama suatu produk tertentu akan habis dan persediaan, atau dalam bentuk rumus:

$$\text{tingkat persediaan} \quad \boxed{ROT = \frac{\text{tingkat.persediaan}}{\text{rata - rata.per min taan}} = 100\%}$$

Aturan penjadwalan dalam ROT ialah menjadwalkan pekerjaan yang memiliki ROT paling kecil lebih dulu. Setelah selesai satu tahap penjadwalan (lot) kemudian dievaluasi kembali untuk menentukan produk yang memiliki ROT terkecil lagi, demikian seterusnya sampai beberapa lot telah dijadwalkan. Perlu ditekankan di sini bahwa dalam menggunakan ROT terkecil kita tidak menjadwalkan seluruh produk dalam suatu urutan rotasi (*rotating sequence*), tetapi menjadwalkannya satu persatu dengan memperhatikan tingkat persediaan yang ada (*current inventory*) danantisipasi permintaan, sehingga merupakan pendekatan yang dinamis. Pendekatan ini tidak mempertimbangkan biaya penyimpanan, biaya kekurangan persediaan, maupun biaya *set-up*. Kita perlu memperhatikan proyeksi persediaan semua jenis produk

untuk melihat apakah mereka berkurang secara cepat atau menumpuk pada tingkat yang tidak diperlukan. Contoh berikut ini menunjukkan bagaimana penjadwalan secara ROT dilakukan.

Contoh

PT Febrero membuat lima jenis produk untuk persediaan. Ukuran lot, rata-rata produksi serta rata-rata permintaan adalah sebagai berikut:

Tabel 2.13. Data untuk Analisis Run-out Time

Produk	Data permintaan		Data produksi		
	Persediaan	Permintaan per minggu	Ukuran lot	Produksi per minggu	Waktu produksi (minggu)
A	400	100	500	1000	0,5
B	1200	150	750	750	1
C	2100	300	1200	600	2
D	1100	200	600	400	1,5
E	1200	200	800	800	1

ROT setiap produk dapat dihitung melalui rasio antara persediaan yang ada dan taksiran rata-rata permintaan per minggu. Produk yang memiliki ROT terkecil harus dijadwalkan lebih dulu. Pada awal periode, produk A mempunyai ROT terkecil yaitu 4 minggu. Untuk itu A dijadwalkan diproduksi lebih dulu. Ukuran lot untuk A sebesar 500 unit dengan rata-rata produksi sebesar 1.000 unit per minggu, oleh karenanya A dijadwalkan selama 0,5 minggu untuk memproduksi satu lot. Tabel 2.3 menunjukkan bagaimana penjadwalan melalui metode ROT ini dilakukan.

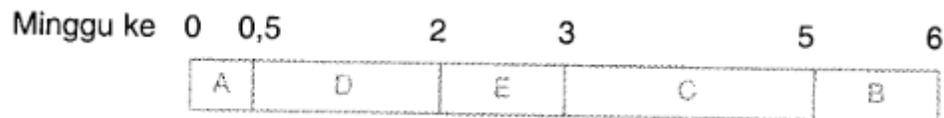
Persewaan dan ROT selanjutnya diproyeksikan pada akhir 0,5 minggu kedepan. seperti terlihat pada Tabel 2.2 kolom 4 dan 5. Pada posisi itu, produk D memiliki ROT yang terkecil yaitu 5 minggu, maka D selanjutnya dijadwalkan untuk diproduksi sebanyak 1 lot, yang akan memakan waktu selama 1,5 minggu. Proyeksi selanjutnya dibuat untuk 1,5 minggu kemudian atau pada akhir minggu ke-2 sejak perencanaan dimulai. Pada akhir minggu ke-2, produk E merupakan produk yang memiliki ROT terkecil, 4 minggu, sehingga E merupakan produk yang dijadwalkan berikutnya. Pada tahap ini untuk menghasilkan 1 lot E diperlukan waktu 1 minggu, sehingga status diproyeksikan kedepan sampai pada akhir minggu ke-3. Proses berikutnya akan menghasilkan urutan penjadwalan C, B, D, dan seterusnya.

Tabel 2.14. Penjadwalan dengan Metode Run-out Time

Produk	Awal periode		Akhir minggu ke 0,5		Akhir minggu ke 2	
	Persediaan	ROT	Persediaan	ROT	Persediaan	ROT
A	400	4	850	8,5	700	7
B	1200	8	1125	7,5	900	6
C	2100	7	1950	6,5	1500	5
D	1100	5,5	1000	5	1300	6,5
E	1200	6	1100	5,5	800	4

Produk	Akhir minggu ke 3		Akhir minggu ke 5		Akhir minggu ke 6	
	Persediaan	ROT	Persediaan	ROT	Persediaan	ROT
A	600	6	400	4	300	3
B	750	5	450	3	1050	7
C	1200	4	1800	6	1500	5
D	1100	5,5	700	3,5	500	2,5
E	1400	7	1000	5	800	4

Rangkuman urutan penjadwalannya sebagai berikut:



Gambar 2.9 Contoh Grantt Chart

2.10.3 Flow Shop Mesin Tunggal

- **SPT (Shortest Processing Time), WSTP (weighted)**

Memilih priority rules berdasarkan waktu proses yang terpendek. Fungsi :

- meminimumkan Mean Flow Time
- Meminimumkan mean lateness

$$t_1 \leq t_2 \leq \dots \leq t_n$$

- **EDD (Earliest Due Date)**

Memilih priority rules berdasarkan due date yang terkecil

Fungsi: Meminimumkan Maximum Tardiness

$$d_1 \leq d_2 \leq \dots \leq d_n$$

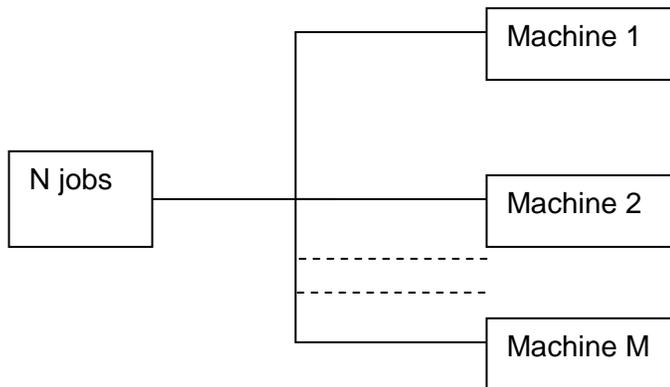
- **Slack**

Memilih urutan scheduling berdasarkan sisa waktu proses yang terkecil

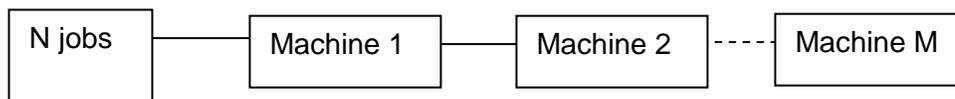
Fungsi: Memaksimumkan Mean Flow Time

$$d_1 - C_1 < d_2 - C_2 < \dots < d_n - C_n$$

2.10.4 Flow Shop Beberapa Mesin



Gambar 2.10 M machines - parallel



Gambar 2.11 M machines – serial

2.10.5 Metoda Deterministik

- **N Jobs M Machines – identical**

Contoh – Scheduling Flow shop yang dilakukan terhadap 10 job yang akan dikerjakan pada 3 mesin parallel yang identik (sama) :

Tabel 2.15 Soal N job M Machines identical

Job	Waktu Proses	Due Date	Slack
1	5	8	3
2	6	9	5
3	3	14	11
4	8	12	4
5	7	11	4
6	2	5	3
7	3	8	5
8	5	10	5
9	4	15	11
10	2	7	5

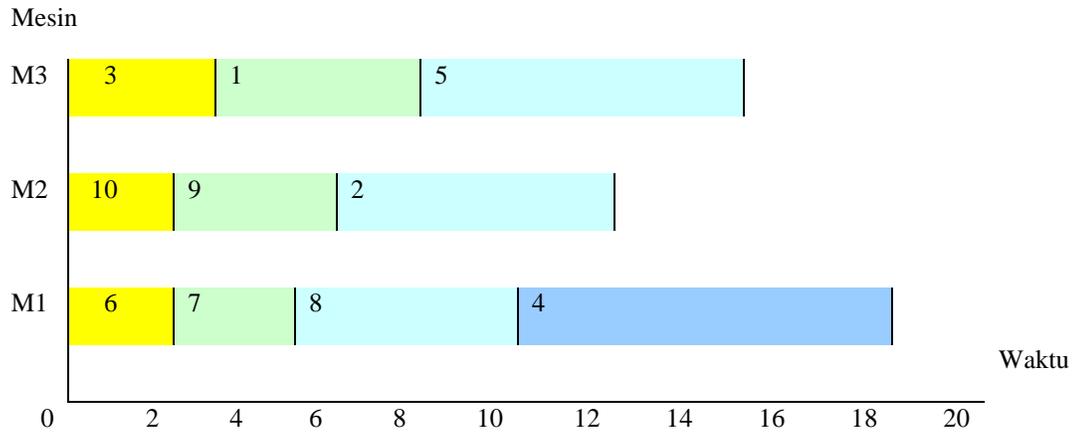
Jawab

- **Berdasarkan SPT rule**

Urutan scheduling dilakukan dari job yang memiliki waktu proses terkecil :

6-10-3-7-9-1-8-2-5-4

dalam bentuk Gantt Chart:

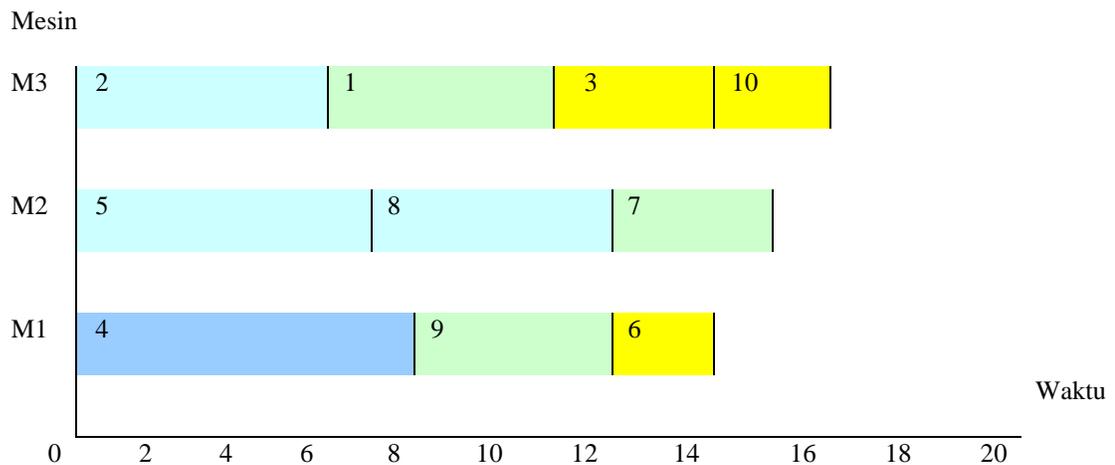


- **Berdasarkan LPT rule**

Urutan scheduling dilakukan dari job yang memiliki waktu proses terpanjang :

4-5-2-1-8-9-3-7-6-10

dalam bentuk Gantt Chart :

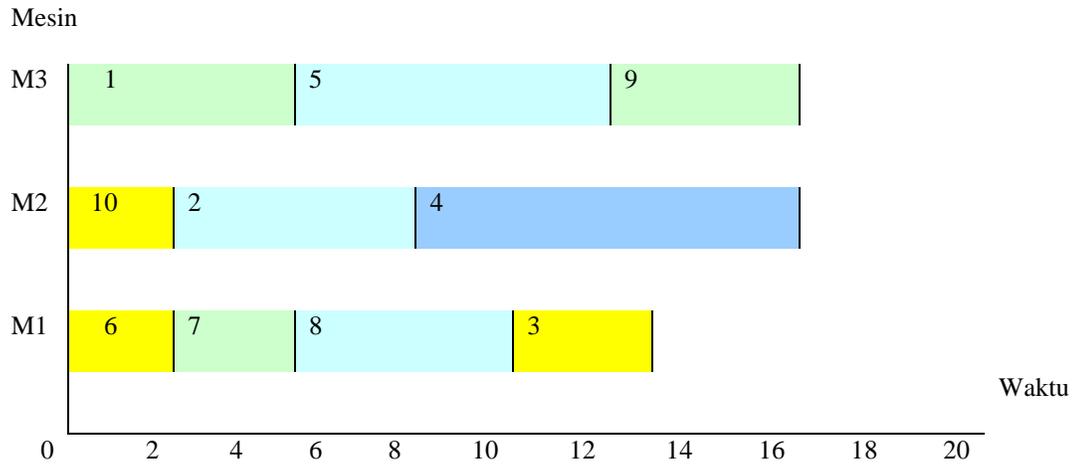


- **Berdasarkan EDD rule**

Urutan scheduling dilakukan dari job yang memiliki due date terpendek :

6-10-1-7-2-8-5-4-3-9

dalam bentuk Gantt Chart



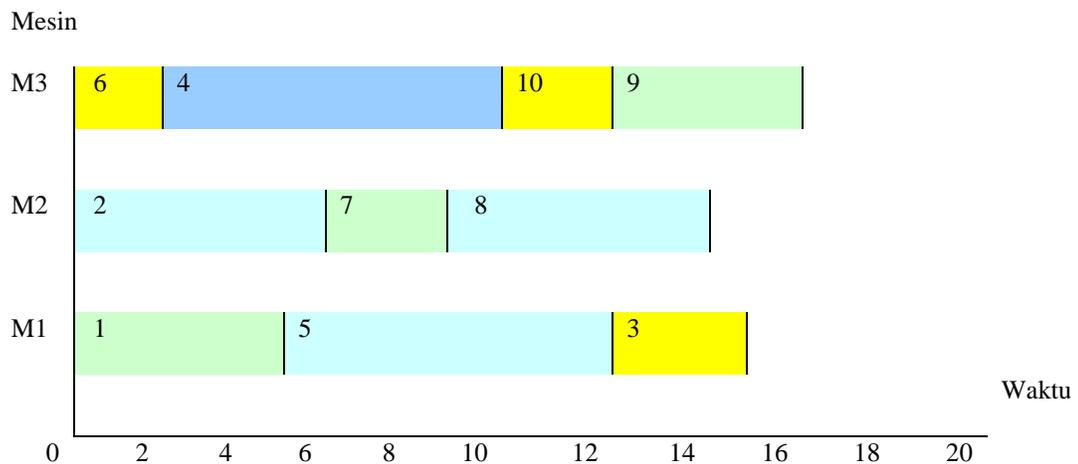
- **Berdasarkan Slack**

Urutan scheduling dilakukan dari job yang dimiliki Slack (sisa waktu proses)

terkecil :

1-2-6-4-5-7-8-10-3-9

dalam bentuk Gantt Chart



- **Hodgson Rule**

Contoh :

Job	Waktu Proses	Due Date
1	1	2
2	5	7
3	3	8
4	9	13
5	7	11

Step 1: Urutkan job berdasarkan Due date

$E = (1, 2, 3, 5, 4)$

Step 2: Hitung selisih C_t dengan d_i

$C_t = \text{Completion Time}$

$d_i = \text{Due date}$

Job	$C_t - d_i$
1	1 - 2
2	6 - 7
3	9 - 8 → job yang terlambat
5	16 - 11
4	25 - 13

Step 3: Pindahkan job yang terlambat ke kelompok baru

$$E = (1, 2, 5, 4) \quad L = (3)$$

Step 4: Kembali ke step 2

Job	$C_j - d_t$
1	1 - 2
2	6 - 7
5	13 - 11 → job yang terlambat 22 - 13
4	

Step 5: Sama dengan step 3

$$E = (1, 2, 4) \quad L = (3, 5)$$

Step 6: Sama dengan step 2

Job	$C_j - dt$
1	1 - 2
2	6 - 7
4	15 - 13 → job yang terlambat

Step 7: Sama dengan step 3

$$E = (1, 2) \quad L = (3, 5, 4)$$

Step 8: Sama dengan step 2

Tidak ada lagi job yang terlambat

Step 9: Urutan scheduling

$$(1, 2, 3, 5, 4)$$

- **N Jobs 2 Machines - different**

Kerumitan berikutnya yang dapat terjadi adalah kasus di mana terdapat jobs sejumlah N (di mana N adalah 2 atau lebih) yang harus melalui dua mesin atau work center yang berbeda dalam urutan yang sama. Kasus seperti ini disebut sebagai permasalahan $N/2$.

Aturan Johnson dapat digunakan untuk meminimasi waktu pemrosesan untuk mengurutkan sekelompok jobs melalui dua work center. Aturan ini juga meminimasi

waktu luang total pada mesin. *Aturan Johnson* melibatkan empat step:

1. Semua jobs dimasukkan dalam sebuah daftar, berikut waktu yang dibutuhkan pada setiap mesin.
2. Pilih job dengan waktu aktivitas terpendek. Jika waktu terpendek ada pada mesin pertama, maka job tersebut dijadwalkan pertama kali. Jika waktu terpendek berada pada mesin kedua, maka jadwalkan job tersebut terakhir. Jika terdapat waktu aktivitas seri maka dapat dipilih salah satunya.
3. Setelah sebuah job dijadwalkan, maka hilangkan job tersebut dari daftar.
4. Terapkan step 2 dan 3 pada job yang tersisa, dan bekerja hingga ke tengah urutan schedule.

Contoh - Terdapat lima job khusus di sebuah workshop di Fredonia, New York, yang harus diproses melalui dua work center yaitu drill press (mesin bor) dan lathe (mesin bubut). Waktu pemrosesan untuk setiap job adalah sebagai berikut:

Work (Processing) Time for Jobs (in hours)

Job	Work Center 1 (Drill press)	Work Center 2 (Lathe)
A	5	2
B	3	6
C	8	4
D	10	7
E	7	12

1. Diharapkan untuk menentukan urutan yang akan meminimasi waktu pemrosesan

total bagi kelima job. Job dengan waktu pemrosesan terpendek A, ada pada work center 2 (dengan waktu pemrosesan 2 jam). Karena job tersebut ada pada work center dua, maka jadwalkan A sebagai job yang terakhir. Hapus job dari daftar.

A

2. Job B adalah job dengan waktu pemrosesan terpendek berikutnya (3 jam). Karena waktu terpendek tersebut ada pada work center pertama, maka job B dijadwalkan pertama kali, dan dihapuskan dari daftar.

B

A

3. Waktu terpendek berikutnya adalah job C (4 jam) pada mesin kedua. Oleh karena itu, ditempatkan seakhir mungkin.

B

C

A

4. Terdapat seri (selama 7 jam) pada job yang tersisa. Job E, dapat ditempatkan pada work center pertama, terlebih dahulu. Kemudian D ditempatkan pada posisi urutan yang berikutnya.

B

E

D

C

A

