Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1 Penjadualan

Penjadualan merupakan faktor yang sangat berpengaruh terhadap keberhasilan pelaksanaan produksi suatu perusahaan, karena penjadualan inilah yang digunakan dalam mengoptimalkan pemakaian sumber daya yang dimiliki oleh perusahaan tersebut. Penjadualan itu sendiri harus dibedakan dari perencanaan agregat. Perencanaan agregat merupakan kegiatan penentuan sumber daya yang diperlukan oleh suatu prusahaan. Sedangkan penjadualan merupakan kegiatan pengalokasian sumber daya tersebut guna mencapai tujuan yang diinginkan.

Penjadualan itu sendiri memiliki banyak definisi. Tiap ahli mengeluarkan definisi yang berbeda-beda. Diantara ahli-ahli tersebut ada yang mendefinisikan penjadualan sebagai proses pemilihan, pengorganisasian dan pemberian waktu dalam penggunaan sumber daya untuk melaksanakan aktivitas yang diperlukan agar menghasilkan output yang diinginkan dan memenuhi waktu serta kendala yang ada (*morton*, 1993). Selain itu ada juga yang berpendapat bahwa penjadwalan adalah suatu kegiatan yang berkaitan dengan proses pengurutan pengerjaan produk secara menyeluruh pada beberapa mesin.

Dari sekian banyak penjadualan yang telah ada pada saat ini, inti dari semua versi tersebut adalah :

- Penjadualan berfungsi sebagai alat pengambilan keputusan.
- Penjadualan merupakan teori yang berisi prinsip-prinsip dasar, model, teknik dan kesimpulan logis dalam pengambilan keputusan.

Untuk menyelesaikan masalah penjadualan yang dihadapi, dapat digunakan beberapa pendekatan. Pendekatan-pendekatan tersebut dikelompokan menjadi 2, yaitu :

- Pendekatan tradisional yang meliputi metode-metode penelitian operasional.
- Pendekatan yang lebih modern yang mencakup gabungan antara metode penelitian operasional, intelegensia tiruan, simulasi kejadian, dan ide-ide yang diambil dari teori kontrol (*Baker*, 1974)

2.1.1 Tujuan penjadualan

Beberapa tujuan yang ingin dicapai dengan dilaksanakannya penjadualan produksi adalah :

1. Meningkatkan utilitas sumber daya yang dimiliki.
2. Mengurangi makespan, yang juga berarti menurunkan *flow time* rata-rata dan *work in process* rata-rata.
3. Meminimasi biaya produksi
4. Mengurangi persediaan barang setengah jadi dengan jalan mengurangi jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu antrian suatu mesin yang dalam keadaan sibuk. Hal ini bertujuan untuk menghindari biaya *flow time* yaitu biaya penyimpanan produk setengah jadi.
5. Memenuhi keinginan konsumen, baik itu dalam hal kualitas produk yang dihasilkan maupun dalam hal ketepatan waktu.

Adapun tipe keputusan yang akan diperoleh dari pelaksanaan penjadualan tersebut berupa :

1. Pengurutan pekerjaan *(sequencing).*
2. Penugasan *(dispatching).*
3. Pengurutan operasi suatu job *(routing).*
4. Penentuan waktu mulai dan selesai pekerjaan *(timing).*

2.1.2 Permasalahan dalam penjadualan produksi

Permasalahan penjadualan muncul ketika terdapat sekumpulan operasi dari setiap pekerjaan yang harus ditetapkan pekerjaan apa yang dikerjaan terlebih dahulu dan bagaimana urutan kerja dari operasi berikutnya, serta mengalokasikannya pada mesin, sehingga diperoleh suatu proses produksi yang terencana.

Secara umum persoalan penjadualan dapat dinyatakan sebagai berikut :

- Misalnya α adalah resiko yang ditanggung karena mengerjakan tugas A terlebih dahulu daripada tugas B.
- Misalnya β adalah resiko yang ditanggung karena mengerjakan tugas B lebih dahulu daripada tugas A.

Pemilihan α dan β dapat dikaitkan dengan pemilihan kriteria optimalisasi yang digunakan oleh pengambil keputusan dan disesuaikan dengan system produksi yang ada. Pada umumnya, persoalan penjadualan ini dipecahkan dengan sendirinya menurut kebiasaan tertentu, sehingga pemecahan dengan menggunakan suatu teknik yang baru dianggap menarik karena mungkin lebih memudahkan dan lebih menguntungkan bagi pihak manajemen. Cara umum yang sering digunakan pada saat ini adalah berdasarkan kaidah *First Come First Serve (FCFS)*, sehingga tugas yang datang terlebih dahulu akan diproses lebih awal dari tugas yang datang kemudian.

2.1.3. Klasifikasi penjadualan

Penjadualan dapat berbeda apabila ditinjau dari beberapa kondisi yang mendasarinya. Oleh karena itu, masalah penjadualan dapat dibedakan menjadi 4 jenis berdasarkan kondisinya, yaitu :

1. Jumlah mesin

   Penjadualan dapat dibedakan atas proses dengan mesin tunggal atau mesin jamak (m mesin).

2. Pola kedatangan pekerjaan

   Pola kedatangan pekerjaan dapat dibedakan atas :

   a. Pola kedatangan statis, yaitu pola dimana pekerjaan datang secara bersama secara bersamaan dan siap dikerjakan pada mesin yang menganggur.
   b. Pola kedatangan dinamis, yaitu pola dimana pekerjaan datang secara acak/kedatangan pekerjaan tidak menentu.

3. Ketidakpastian pada pekerjaan dan mesin

   Dibagi menjadi dua bagian yaitu :

   a. Model deteministik yaitu model yang didalamnya terdapat kepastian tentang pekerjaan dan mesin, misalnya mengenai waktu kedatangan pekerjaan dan waktu proses.
   b. Model stokastik yaitu model yang didalamnya terdapat ketidakpastian mengenai pekerjaan dan mesin.

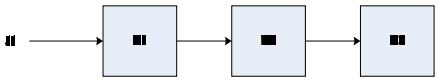
4. Pola aliran proses

   Terdapat dua aliran produksi :

   a. Flowshop, yang cenderung memiliki kesamaan urutan operasi (routing) untuk semua job.

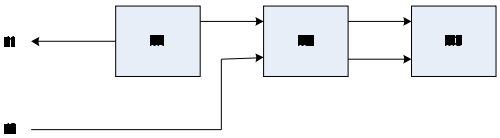
      Flowshop dibedakan atas :

      - Pure flowshop, yaitu flowshop yang memiliki jalur produksi yang sama untuk semua tugas.



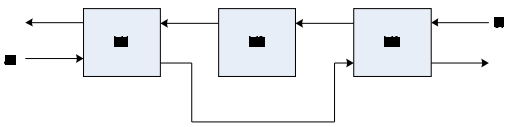
Gambar 2.1. lintasan proses pure flowshop

      - General flowshop, yaitu flowshop yang memiliki pola aliran yang berbeda. Ini disebabkan adanya variasi dalam pengerjaan tugas, sehingga tugas yang datang tidak harus dikerjakan pada semua mesin. Jadi mungkin saja suatu proses dilewati.



Gambar 2.2. lintasan proses general flowshop

   b. Job shop, yang memiliki urutan operasi (routing) yang unik dan berbeda-beda untuk semua job. Akibatnya pola yang timbul disini adalah pola random.



Gambar 2.3. lintasan proses job shop

2.2 Beberapa kendala dalam penjadualan di tingkat shoofloor

Pada saat penjadualan produksi dilaksanakan pada tingkat shopfloor akan mengalamu beberap gangguan atau kendala dalam pelaksanaannya. Oleh karena itu, sebelum supervisor melakukan tindakan untuk berusaha melakukan produksi sesuai jadwal produksinya, terlebih dahulu harus dideteksi beberapa kendala yang ada yaitu :

1. Mesin Rusak

   Pada saat mesin rusak, maka operasi tidak dapat berjalan dan produk yang akan dikerjakan pada mesin tersebut akan menunggu samapai mesin selesai diperbaiki. Hal ini merupakan kondisi yang kurang baik, terutama dengan antrian yang panjang sekali akan memberikan dampak psikologis kepada operator mesin tersebut. Untuk itu, dapat dilakukan rescheduling untuk melihat adanya kemungkinan perbaikan penjadualan yang ada agar tetap optimal. Beberapa hal yang perlu diketahui dalam kasus mesin rusak adalah mesin mana yang mengalami kerusakan, jenis kerusakannya dan waktu perbaikan yang diperlukan oleh bagian perawatan untuk memperbaiki mesin tersebut.

2. Bahan baku tidak ada

   Kendala lain yang mungkin dihadapi ditingkat *shop floor* adalah bahan baku yang seharusnya telah ada ternyata tidak tersedia pada waktunya, sehingga mesin tidak dapat menjalankan tugasnya(idle). Oleh karena itu, perlu dilakukan penjadualan ulang dengan diupayakan bahwa utilitas sumber daya yang ada dapat semaksimal mungkin. Data yang perlu diketahui adalah jumlah bahan baku yang terlambat, berapa lama keterlambatan akan terjadi.

3. Aktivitas perawatan

   Dalam beberapa kasus tertentu, produksi dapat dihentikan atau terpaksa berhenti karena adanya aktivitas perawatan yang kritis dan harus dilaksanakan pada suatu waktu tertentu. Hal ini dilakukan dengan maksud untuk mempertahankan keandalan mesin pada saat dilakukan produksi. Beberapa hal yang perlu diketahui adalah mesin mana yang dikenai aktivitas perawatannya, dan waktu yang diperlukan dalam melakukan aktivitas perawatan.

4. Penambahan order baru

   Pada saat produksi telah berjalan setengahnya, tidak tertutup kemungkinan bahwa tiba-tiba terjadi penambahan pesanan baru, sehingga pelaksanaan penjadualan yang tadinya belum memperhitungkan pesanan baru, tersebut akan mengalami gangguan atau kekacauan. Oleh karena itu, diperlukan penjadualan ulang dengan mempertimbangkan pesanan baru tersebut,

sehingga akan tetap berada pada kondisi yang optimal serta *shop floor* dapat segera menyesuaikan diri dengan penjadualan yang baru tersebut. Beberapa hal yang perlu diketahui adalah jenis produk baru yang dipesan, beserta routingnya, jumlah pesanan dan juga due date yang diminta konsumen.

5. Perubahan due date

   Produk mengalami perubahan due date akan menyebabkna perubahan pada jadwal produksi semula. Perubahan due date ada dua macam, yaitu :

   - Due date semakin maju (due date baru lebih kecil dari due date lama).
   - Due date semakin mundur (due date baru lebih besar dari pada due date lama.

   Apabila perubahan yang terjadi adalah due date yang semakin mundur, maka jadwal produksi semula relatif tidak berubah dan hal ini juga tidak mengakibatkan perubahan pada performasi penjadualan semua. Tetapi apabila perubahan due date semakin maju, maka sangat diperlukan adanya perubahan pada jadwal produksi semula agar kriteria optimalisasi yang dipilih dapat tetap dipertahankan dengan adanya perubahan due date tersebut.

   Seluruh hambatan atau gangguan dalam melaksanakan jadwal produksi semula tersebut dapat terjadi secara bersamaan *(muti disturbances)* maupun secara sendiri-sendiri *(single disturbances)*

2.3 Asumsi masalah penjadualan

Dalam masalah menerapkan penjadualan biasanya diberlakukan beberapa asumsi yang menyangkut karakteristik tugas (job), mesin yang digunakan dan waktu pemrosesan. Hal ini dimaksudkan untuk menyederhanakan masalah penjadualan itu sendri akibat beberapa penundaan yang disebut gangguan-gangguan dalam proses pelaksanaan penajadualan didalam *shop floor*, seperti :

- Penundaan pengiriman bahan baku
- Terjadinya kerusakan mesin
- Ketidakhadiran pekerja
- Perubahan spesifikasi pada tugas atau job
- Batas akhir penyerahan dipercepat atau diperlambat

- Terjadinya pengulangan operasi karena adanya kerusakan pada beberapa unit produk.
- Waktu pengerjaan yang bervariasi
- Kemungkinan-kemungkinan lainnya.

2.4 Penjadualan dalam job shop

Metode penjadualan tidak sama untuk tipe sistem produksi karena mempunyai karakteristik yang berbeda satu dengan yang lain. Penjadualan tipe sistem produksi job shop dicirikan dengan adanya banyaknya konflik karena permasalahan muncul akibat beragamnya jenis produk yang diproduksi pada mesin yang sama, untuk itu diperlukan asumsi dan batasan yang jelas dalam penggunaan sumber daya yang terbatas. Dalam permasalahan job shop, n job harus diproses pada m mesin dengan asumsi-asumsi yang ditentukan. Setiap job mempunyai beberapa operasi yang harus diproses di mesin yang berbeda. Oleh karena itu diperlukan pengurutan *(sequencing)* dari tiap operasi dari masing-masing job, agar diperoleh performasi yang baik.

Kriteria performasi yang baik ini tergantung pada tujuan dan kebijakan manajemen. Sehingga dalam penjadualan job shop diperlukan input berupa jumlah job, jumlah operasi dalam tiap job dan urutan operasi beserta mesin yang memprosesnya (routing). Hal itu ditampilkan dalam bentuk matrik waktu proses, yang menyatakan waktu pemprosesan tiap operasi dari tiap job dan matrik routing, yang menyatakan urutan mesin yang memproses tiap-tiap urutan operasi.

Ciri khas persoalan penjadualan job shop adalah aliran pekerjaannya dalam shop tidak searah. Karena itu hasil penjadualan digambarkan dengan susunan balok-balok, dimana dari tiap balok merupakan triplet dari job-operasi-mesin. Panjang balok menyatakan waktu proses pekerjaan yang bersangkutan. Notasi triplet yang digunakan pada tiap balok adalah (i, j, k) dimana i menunjukan nomor pekerjaan, j menyatakan urutan pekerjaan, dan k mewakili mesin yang diperlukan. Masalah

penjadualan ini dideskripsikan secara grafis dengan menggunakan skala *Gant Chart*. Berikut ini matrik waktu proses dan matrik routing mesin (*baker*, hal 180):

Tabel 2.1. contoh matrik waktu proses

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	4	3	2
	2	1	4	4
	3	3	2	3
	4	3	3	1

Tabel 2.2. contoh matrik waktu routing

		OPERASI		
		1	2	3
JOB	1	1	2	3
	2	2	1	3
	3	3	2	1
	4	2	3	1

Pada matrik waktu proses, operasi i dari job 1 memiliki waktu proses 4 satuan waktu dan pada matrik routing operasi 1 dari job 1 dikerjakan di mesin 1. untuk menuliskan kondisi tersebut seringkali digunakan notasi O_{ijk} untuk mempresentasikan suatu operasi j dari job i diproses di mesin k dan t_{ijk} untuk mempresentasikan waktu proses suatu operasi j dari job i diproses di mesin k. setelah input dari masing-masing job telah didefinisikan, proses selanjutnya adalah penugasan operasi dari job pada tiap mesin. Penugasan ini mempunyai aturan yang bermacam-macam dan penggunaannya biasanya ditentukan oleh kebijakan manajemen dan berdasarkan sistem produksinya serta kriteria optimalitas yang diinginkan.

Sebuah jadwal yang layak adalah kumpulan dari hubungan presendensi *(precedence relation)*, yang memberikan urutan proses yang lengkap pada setiap mesin.

Hal tersebut harus memenuhi tiga kondisi berikut :

1. Routing tiap job diikuti.
2. Setiap mesin hanya memproses satu job pada suatu waktu, dan pemprosesan tidak diinterupsi.

3. waktu proses dari tiap operasi telah ditentukan

Permasalahan penjadualannya adalah memilih sebuah jadwal dari semua jadwal yang layak dengan kriteria performasi yang diinginkan.

2.4.1 Teknik-teknik pemecahan penjadualan job shop

Teknik dalam melakukan penjadualan job shop dapat dibedakan dalam dua bentuk yaitu :

1. Teknik penjadualan optimal

   Teknik dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

   § Teknik integer programming

   § Teknik branch and bound

2. Pendekatan heuristik

   Teknik ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya :

   § Priority dispatching

   Dispatching adalah salah satu jenis metode penjadualan dimana waktu siap dari setiap mesin ditentukan sedemikian rupa sehingga berurutan naik. Keputusan pemilihan produk yang akan diproses dapat dilakukan pada saat mesin siap menerima produk (mesin mengganggur). Pada teknik ini ditentukan aturan prioritas untuk memilih satu operasi diantara operasi-operasi yang mengalami konflik pada mesin m pada setiap tahap.

   § Sampling

   § Probabilistic dispatching

2.4.2 Klasifikasi pejadualan job shop

Dalam penjadualan job shop, jika ada n job yang akan diproses dalam m mesin, maka ada $(n!)^m$ set jadwal yang layak. Ruang jawab persoalan job shop dikatakan memiliki jadwal yang layak bila :

1. Seluruh operasi dari semua job tersedia
2. Ketentuan pengurutan pekerjaan seperti dalam routing sudah dipenuhi (tidak ada overlap antar operasi)

Berdasarkan ketentuan tersebut, jumlah kombinasi penjadualan yang mungkin dibuat adalah tak hingga oleh karena waktu mengganggur dapat disisipkan diantara operasi sebanyak mungkin tanpa melanggar syarat presedensi. Dengan demikian perlu dipertimbangkan suatu jadwal yang mendekati ukuran performasi yang dipilih. Jadwal-jadwal yang layak tersebut diklasifikasikan atas :

1. Set jadwal semi aktif (AS)
   Kumpulan jadwal dimana tidak satupun operasi dapat dikerjakan lebih awal tanpa mengubah susunan beberapa operasi pada mesin.
2. Set jadwal aktif (A)
   Kumpulan jadwal dimana tidak satupun operasi dapat dipindahkan lebih awal tanpa menunda operasi lain.
3. Set jadwal non delay
   Kumpulan jadwal dimana tidak satupun mesin dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama terdapat operasi yang membutuhkan operasi tersebut.
4. Set jadwal optimal (o)
   Kumpulan jadwal dimana tidak terdapat jadwal lain yang memiliki tingkat prefensi lebih tinggi dan set jadwal optimal.

Dalam suatu jadwal dapat dilakukan *local leftshift* yaknik pergeseran operasi ke kiri (lebih awal) tanpa merubah merubah susunan operasi-operasi pada mesin, serta *global leftshift* yaknik pergeseran lebih awal dengan merubah susunan operasi tanpa menunda operasi lain, sehingga dapat diperoleh beberapa teorema yang menyatakan hubungan antar keempat jenis set jadwal tersebut.

2.4.3 Aturan prioritas dalam penjadualan job shop

Keputusan detail dalam masalah penjadualan dalam lingkungan job shop biasanya ditentukan oleh keberadaan aturan penugasan/prioritas. Beberapa aturan prioritas ini seringkali diekspresikan secara numerik, digunakan untuk menentukan urutan order yang mana seharusnya diproses terlebih dahulu. *Baker* mengklasifikasikan dua aturan prioritas, yaitu :

1. Aturan prioritas lokal, jika prioritas penugasan didasarkan hanya pada informasi yang berkaitan dengan job pada antrian mesin secara individu. Yang termasuk dalam klasifikasi ini antara lain :
   - § SPT *(Shortest Processing Time)* : prioritas tertinggi diberikan kepada operasi yang memiliki waktu proses terpendek.
   - § LWKR *(Least Work Remaining)* : prioritas tertinggi diberikan kepada operasi yang berkaitan dengan job yang memiliki jumlah total operasi pada sisa paling dekat.
2. Aturan prioritas global, jika memanfaatkan informasi/stasiun dari mesin lain. Contoh aturan ini antara lain :
   - § AWINQ *(Anticipatied Work In Next Queue)* : prioritas tertinggi diberikan untuk operasi yang menunggu yang memiliki operasi successor langsung yang akan menghadapi antrian paling minimal.
   - § FOFO *(First Off First On)* : operasi yang akan diselesaikan paling awal mempunyai prioritas tertinggi.

Selain itu *Baker* juga mengklasifikasikan aturan ini berdasarkan informasi-informasi bersifat dinamis. Pembagian tersebut adalah sebagai berikut :

1. Aturan statis adalah jika setiap operasi dari tiap job prioritas yang sama . contohnya :
   - § FAFS (First Arrival at the Shop First Served) : job yang paling awal di shop mempunyai prioritas tertinggi.
   - § TWORK *(Total Work)* : job dengan total pemrosesan untuk semua operasi yang paling sedikit mempunyai prioritas tertinggi.
   - § EDD *(Earlist Due Date)* : job yang mempunyai prioritas tertinggi adalah job yang due datenya paling cepat.
2. Aturan dinamis, memberikan prioritas yang berbeda untuk operasi-operasi dalam satu job. Beberapa aturan yang termasuk dalam aturan ini adalah :
   - § FCFS *(First Come First Serve)* : prioritas tertinggi diberikan kepada operasi yang masuk ke St (Stasiun) lebih dulu.

- § MST *(Minimum Slack Time)* : order dengan slack time terkecil mempunyai prioritas tertinggi.
- § OPNDD *(Operation Due Date)* : order yang memiliki due date tercepat mempunyai prioritas tertinggi. Suatu due date operasi diperoleh dengannmembagi interval antara due date job dan waktu kedatangan operasi.
- § S/OPN *(Slack per Operation)* : job dengan ratio slack time dan operasi tersisa yang terkecil mempunyai prioritas tertinggi.
- § SRPT *(Short Remaining Process Time)* : prioritas tertinggi diberikan pada job yang mempunyai sisa waktu proses terpendek.

Beberapa aturan prioritas lainnya yang juga sering digunakan :

1. Random : Pemilihan pekerjaan dalam antrian untuk diproses dilakukan secara random/sembarang. Artinya setiap pekerjaan mempunyai kemungkinan yang sama untuk terpilih.
2. CR *(Critical Ratio)* : order dengan critical ratio terkecil mempunyai prioritas tertinggi.
3. MWKR *(Most Work Remaining)* : prioritas tertinggi diberikan pada job yang memiliki sisa waktu proses terlama.
4. LSU *(Least Set-up)* : job yang terpilih adalahj job dengan waktu setup yang terkecil. Aturan ini akan menghasilkan minimasi *set-up* dalam *changeover time*.

2.5 Kriteria optimalitas dalam penjadualan

Pemilihan suatu sistem penjadualan, pendekatan, dan teknik yang digunakan tergantung pada tujuan yang ingin dicapai dan kriteria optimalitas yang menjadi titik berat perhatian manajemen. Kriteria optimalitas yang dapat digunakan sangat bervariasi dan kriteria tidak selalu baik untuk semua tipe sistem produksi.

Beberapa istilah yang biasa digunakan dalam kriteria optimalitas penjadualan adalah *(Baker,*1974*)* :

§ Waktu proses (ti)

Merupakan waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan job i, termasuk didalamnya waktu untuk persiapan atau setup.

§ Makespan (Ms)/Flow time Maksimun

Jangka waktu penyelesaian suatu penjadualan dan merupakan jumlah seluruh waktu proses pada suatu mesin.

$$M_s = \sum_{i=1}^{n} t_i$$

§ Ready Time (Ri)

Menyatakan waktu yang dibutuhkan suatu job pada saat siap untuk dijadualkan.

§ Completion Time (Ci)

Rentang waktu yang dibutuhkan sejak job pertama mulai dikerjakan sampai job i selesai diproses.

$$Ci = ri + Fi$$

§ Waiting Time (Wi)

Waktu tunggu seluruh operasi dari suatu job.

$$W_i = \sum_{j=1}^{nj} W_{ij}$$

§ Flow Time (Fi)

Menunjukkan waktu yang dibutuhkan oleh job i sejak job tersebut siap diproses hingga proses tersebut selesai.

$$Fi = ti + Wi$$

$$Fi = Ci - ri$$

Dimana Wi : waiting time

§ Mean Flow Time

Rata-rata waktu yang digunakan atau dihabiskan oleh setiap pekerjaan dilantai pabrik.

$$F_s = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^{n} F_t$$

§ Lateness (L_i)

Penyimpangan antara waktu penyelesaian dengan *due date*.

$$L_i = C_i - d_i$$

$L_i < 0$, saat penyelesaian memenuhi batas akhir

$L_i > 0$, saat penyelesaian melewati batas akhir

§ Mean lateness

Rata-rata penyimpangan antara waktu penyelesaian dengan *due date*.

$$L_s = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n}(fi - di)$$

§ Tardiness (T_i)

Keterlambatan penyelesaian suatu pekerjaan hingga saat *due datenya*. Ditunjukkan oleh lateness yang berharga positif.

$$Ti = Max\ (li,0)$$

§ Mean Tardiness (Ts)

$$T_s = \frac{1}{n}\sum_{i=1}^{n} T_i$$

§ Earliness (Ei)

Penyelesaian suatu job lebih awal dari due datenya atau lateness yang bernilai negatif.

$$E_i = m_i\ (L_i,0)$$

§ Number of Tardiness

Menunjukkan kuantitas job yang terlambat.

$$N_t = \sum_{i=1}^{n}\delta_i$$

$\delta = 1$, bila $Ti < 0$

$\delta = 0$, bila $Ti > 0$

§ Slack Time (Si)

Waktu sisa yang tersedia bagi suatu job

$$S_i = d_i - t_i$$

§ Due Date (di)

Menunjukkan batas waktu suatu job harus diselesaikan. Penyelesaian yang melebihi batas waktu ini menyebabkan job dianggap job i dianggap terlambat.

§ Utilitas Mesin (U)

Merupakan bagian dari kapasitas mesin yang dibebani untuk menjalankan proses-proses yang dibtuhkan terhadap waktu yang tersedia.

$$U = \frac{\sum_{i=1}^{n} t_i}{C_{\max}}$$

§ Critical Ratio (CR)

$$C = \frac{a_{j(t)}}{P_j}$$

Dimana : $a_{j(t)} = d_j - t$

$a_{j(t)}$ = Allowance

d_j = due date

P_j = waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan operasi j,

Sehingga : $P_j = a_{j(t)} - S_j$

S_j = slack time

Sedangkan kriteria optimalitas penjadualan yang sering digunakan pada saat ini adalah :

1. Berkaitan dengan waktu, antara lain :
   - § Minimasi mean flow time
   - § Minimasi max flow time
   - § Minimasi mean tardiness
   - § Minimasi mean lateness
   - § Minimasi max tardiness
2. Berkaitan dengan ongkos

   Kriteria ini lebih menekankan pada ongkos yang timbul dari penjadualan yang dilakukan, seperti ongkos penalty akibat keterlambatan, ongkos flowtime, ongkos inventory. Adapun tujuan akhir yang ingin dicapai adalah mendapatkan ongkos minimal.

3. Kriteria gabungan

   Merupakan gabungan atau kombinasi dari beberapa kriteria optimalitas.

Berikut ini adalah uraian beberapa cara untuk memperoleh performasi penjadualan dengan kriteria tertentu.

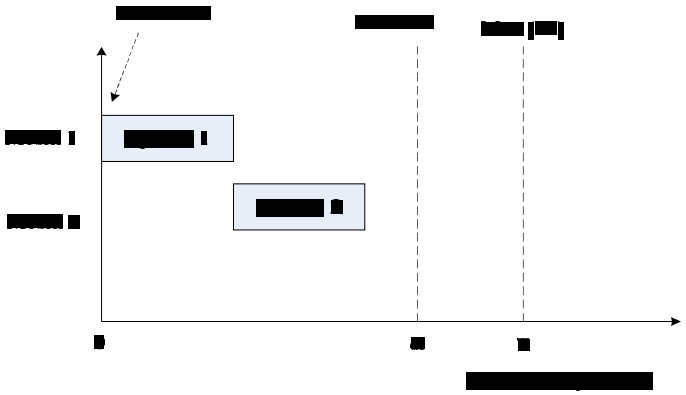
2.6 Metode-Metode Penjadualan

Proses perancangan algoritma penjadualan dengan memperhatikan aktivitas perawatan pencegah merupakan pengembangan dari rancangan algoritma penjadualan yang sudah ada. Beberapa metode penjadualan heuristik yang telah dikenal antara lain :

1. Metode Forward

   Metode ini menjadualkan proses kerja dalam setiap sumber daya mulai sejak awal produksi (saat t = 0) sampai dapat diselesaikannya keseluruhan produk yang direncanakan. Tujuan dari metode ini adalah menjadualkan produksi apabila titik waktu mulainya telah ditentukan menjadualkan sebelumnya dan tidak diberikan batas waktu harus diselesaikannya keseluruhan produk tersebut.

   Kelebihan metode ini adalah bahwa dalam penjadualan dapat disusun secara *Shorst Processing Time (SPT)* sehingga didapat suatu penjadualan produksi dengan *flow time* yang minimum. Sedangkan kelemahannya adalah adanya kemungkinan untuk melewati bata waktu (due date) yang ditetapkan oleh konsumen.

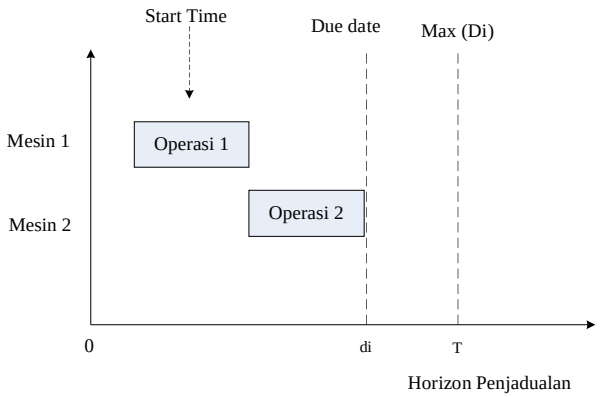


Gambar 2.4.Diagram gantt untuk metode *Forward*

2. Metode *Backward*

Pada penjadualan dengan metode *backward*, operasi yang paling akhir pada routing dijadwalkan terlebih dahulu. Kemudian sisa operasi diseimbangkan menurut order (pesanan) dengan pendekatan mundur dalam perhitungan satuan wakktu tersedia, saat (tanggal) dimulainya penjadualan dapat ditentukan. Pada metode *backward* menggunakan pendekatan mundur dan waktu mulai tidak harus berada di nol (start time) dan dalam penyusunan jadwal bergerak mundur dari due date. Metode ini menjadwalkan produksi mulai dari batas akhir diselesaikannya keseluruhan produk*(due date)* kemudian mundur terus kebelakang sampai didapatkan waktu mulainya produksi (didapatkan t=0).

Kelebihan dari metode ini adalah bahwa hasil penjadualan dengan metode ini tidak akan terlambat, karena dijadualkan mundur atau dengan kata lain bahwa due date selalu dipenuhi. Sedangkan kelemahan dari metode ini tidak bisa diterapkan pada penjadualan n job m mesin jika ada beberapa job yang mempunyai due date yang sama. Kelemahan lain dari penerapan metode ini bahwa penjadualan tidak dapat mendeteksi adanya sumber daya yang menganggur sehingga utilitas sumber daya yang tidak dapat maksimum. Selain itu ada kemungkinan menghasilkan penjadualan yang tidak fleksibel yaitu waktu mulai proses pertama kali sudah terlewat dari waktu sekarang (waktu saat menjadualkan).



Gambar 2.5 Diagram gantt untuk metode *Backward*

2.7 Rescheduling dan faktor-faktornya

Berikut ini akan dijelaskan mengenai teori yang berkaitan dengan penjadualan ulang *(rescheduling)* yang terdiri dari konsep *rescheduling* dan faktor-faktornya.

2.7.1 Konsep Rescheduling

Dalam pelaksanaan jadwal produksi di tingkat *shoop floor* seringkali jadual yang telah disusun menjadi tidak layak. Karena karakteristik sistem job shop yang dinamis dan pola kedatangan job yang stokastik serta perubahan-perubahan kondisi dalam *shoop floor* yang tidak bisa diperkirakan, seringkali menyebabkan jadual tidak mampu mengakomodasi perubahan-perubahan kondisi tersebut.

Dua hal yang berhubungan erat dengan perubahan kondisi produksi adalah event dan aktivitas. Dengan kata lain event adalah perubahan kondisi dalam produksi. Sedangkan aktivitas akan selalu terjadi dua event, masing-masing adalah event saat dimulainya aktivitas dan event saat aktivitas itu berakhir. Seringkali event saat berakhirnya aktivitas merupakan event saat dimulai aktivitas berikutnya.

Pada sistem manufaktur event juga dapat dibedakan menjadi dua, yaitu :

1. Event yang dapat diperkirakan (teramal)

   Event yang dapat diperkirakan kejadiannya yang berhubungan dengan produk/benda kerja meliputi, akhir operasi pengerjaan, kedatangan order normal yang teramal dan sebagainya. Sedangkan yang berhubungan dengan peralatan produksi antara lain, akhir operasi (pemesinan, transportasi), instalasi peralatan baru, akhir perbaikan, perawatan, dan sebagainya.
2. Event yang tidak bisa diramalkan (tak teramal).

   Event yang tidak teramal yang berkaitan dengan produk/benda kerja meliputi kedatangan order dengan prioritas tinggi atau order normal yang tidak teramal, perubahan due date, dan sebagainya. Sedangkan yang berkaitan dengan peralatan produksi antara lain meliputi : kerusakan peralatan, power failures, keterlambatan operasi dan sebagainya.

Dalam bentuk tabel jenis-jenis event tersebut dapat diperlihatkan sebagai berikut :

Tabel 2.3. Jenis event pada sistem manufaktur

Komponen Produksi	Event-event	
	Dapat diprediksi	Tidak dapat diprediksi
Produk/benda kerja	• Akhir operasi • Kedatangan order normal yang teramal	• Kedatangan order dengan prioritas tinggi • Kedatangan order normal yang tak teramal. • Perubahan due date • Perubahan ukuran lot • Delay mesin
Peralatan produksi	• Akhir operasi (mesin, transportasi) • Instalasi peralatan baru • Perbaikan kerusakan • Perawatan	• Kerusakan • Power failures • Delay pada saat selesainya perawatan • Keterlambatan operasi • Perawatan kritis yang tak terama;

Jenis event yang perlu diperhatikan adalah event yang tidak teramal saat terjadinya. Event-event ini memerlukan penangan khusus yang berbeda dengan kondisi normal. Suatu jadwal dalam sistem produksi yang real time harus mampu mengatasi dengan cepat perubahan kondisi yang menyebabkan jadwal awal *(initial Schedule)* menjadi tidak layak. Oleh karena itu proses penjadualan ulang atau *Rescheduling* sangat diperlukan untuk mengatasi hal tersebut.

Rescheduling sendiri sebenarnya merupakan sebuah proses iteratif yang terdiri dari dua langkah :

1. Evaluasi jadwal yang sudah ada tergantung pada perubahan kondisi, permintaan dan kendala-kendala *(constrain)*. Jika hasil dari revisi jadwal diterima maka proses berhenti.
2. Jika jadwal belum diterima, tentukan solusi yang lebih baik. Jadwal revisi atau jadwal yang sudah ada direvisi lagi berdasarkan solusi yang lebih baik *(improved solution)*. Jika hasil revisi ini diterima , berhenti. Jika tidak maka ulang langkah kedua samapai jadwal bisa diterima. Suatu jadwal yang bisa bisa diterima adalah jadwalyang mampu mengatasi perubahan kondisi. Pada

kenyataannya definisi sebuah jadwal yang layak adalah tergantung kebutuhan pemakai.

Selain itu *Rescheduling* dapat dipandang sebagai koreksi atas jadwal yang ada. Koreksi yang diperlukan untuk suatu perubahan yang menyebabkan suatu jadwal menjadi tidak layak dapat dibagi menjadi tiga yaitu :

1. *Dispatch Corection* (Durasi ; dalam jam)
   Adapun tipe perubahan yang dapat diatasi antara lain :
   - § Perubahan waktu proses aktivitas
   - § Transport delay
   - § Mesin minor lambat
   - § Mesin minor macet/startup
   - § Mesin kritis rusak/startup
2. *Mid Reactive Corection* (Durasi 1-2 hari)
   Faktor *rescheduling* adalah :
   - § Job rework
   - § Job scrap
   - § Job menunggu karena bahan baku tidak ada
   - § Transport rusak
   - § Mesin rusak/startup
   - § Stasiun kerja berhenti/startup
3. *Major Reactive Corection*
   Faktor *rescheduling* adalah :
   - § Order utama dihilangkan
   - § Transportasi utama rusak
   - § Mesin bottleneck rusak

2.7.2 Faktor-faktor rescheduling

Faktor-faktor *rescheduling* adalah faktor-faktor yang menyebabkan suatu jadwal harus diperbaharui sesuai dengan faktor-faktor yang mempengaruhi perubahan kondisi *shoop floor*. Suatu *rescheduling* yang dilakukan karena ada faktor-faktor

perubahan kondisi yang tidak teramalkan dalam *shop floor* disebut *"Event Driven Rescheduling"*. Selain itu *rescheduling* ada yang dilakukan secara periodik dan disebut dengan *periodic rescheduling.* Adapun faktor-faktor *rescheduling* dapat dikelompokkan menjadi dua yaitu yang berasal dari lingkungan internal *shop floor* dan yang berasal dari lingkungan luar shop floor.

2.7.2.1 Faktor-faktor rescheduling internal

Faktor-faktor *rescheduling* yang berasal dari lingkungan internal shop floor antara lain :

1. Mesin rusak

   Pada saat mesin rusak, maka operasi tidak dapat berjalan dan produk yang akan dikerjakan pada mesin tersebut akan menunggu sampai mesin selesai diperbaiki. Kejadian ini dapat mengakibatkan semakin banyaknya antrian. Selain *relaise time* dari operasi berikutnya dari produk itu dan operasi produk lain pada mesin tersebut akan tertunda dan tidak sesuai lagi dengan jadwal semula.

   Beberapa hal yang perlu diketahui dari mesin rusak ini adalah :

   - Waktu terjadinya kerusakan
   - Mesin yang mengalami kerusakan.
   - Waktu perbaikan yang diperlukan

2. Bahan baku tidak ada

   Ketiadaan bahan baku ini menyebabkan job tidak bisa diproses pada saat *"release time"* yang telah disusun pada penjadualan awal. Untuk kasus mesin tunggal untuk mengatasi hal tersebut dilakukan pengajuan *release time* dari job berikutnya (job ke n+1), sampai bahan baku ada. Sehingga waktu selesai dari job n+1 tersebut akan mengalami kemajuan sebesar waktu proses untuk job ke-n. Untuk kasus job shop dimana mesin yang digunakan relatif banyak, maka dapat digunakan aturan prioritas. Data yang perlu diketahui ketidaan bahan baku ini adalah :

   - Lamanya keterlambatan yang terjadi.
   - Job yang bahan bakunya terlambat serta data-data tentang job itu sendiri.

3. Aktivitas perawatan.

   Dalam beberap kasus tertentu, produk dapat dihentikan atau terpaksa berhenti karena adanya aktivitas perawatan yang kritis dan harus dilaksanakan pada suatu waktu tertentu.

   Data yang perlu diketahui untuk kasus ini adalah :

   § Mesin yang dikenai aktivitas perawatan tersebut
   § Waktu yang diperlukan dalam melakukan aktivitas perawatan
   § Juga waktu mulai dan waktu akhir aktivitas perawtan tersebut.

4. Adanya produk yang memerlukan pengulangan operasi

   Seringkali dalam proses produksi karena berbagai faktor, maka suatu produk yang diproses disuatu mesin tidak sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan. Tetapi produk tersebut masih bisa dikerjakan ulang untuk memperoleh produk dengan sesifikasi yang diinginkan. Oleh karena itu diperlukan pengulangan operasi, yang akan mengakibatkan penundaan operasi produk lain dalam mesin yang digunakan untuk mengulang operasi tersebut. Sehingga diperlukan *rescheduling* untuk mengatasi kasus tersebut.

5. Kasus adanya produk yang cacat

   Jika suatu produk yang diproses mengalami kerusakan dan tidak bisa diperbaiki, sedangkan produk tersebut tetap harus dihasilkan dalam horizon penjadualan yang berkaitan dengan produk tersebut. Hal ini akan mengganggu penjadualan awal yang telah disusun. Oleh karena itu harus dilakukan *rescheduling* setelah lebih dahulu menghilangkan jadual operasi tersisa dari produk cacat tersebut.

2.7.2.2 Faktor-faktor rescheduling eksternal

Yang dimaksud dengan faktor-faktor *rescheduling* eksternal adalah perubahan kondisi yang menyebabkan suatu jadwal awal menjadi tidak layak, yang berasal dari luar *shoop floor*. Faktor-faktor terasebtu antara lain :

1. Penambahan order baru

   Dalam suatu penjadualan yang telah ditentukan, tidak menutup kemungkinan bahwa tiba-tiba terjadi penambahan pesanan baru. Untuk kedatangan job baru

yang pada awal penyusunan jadual sudah diramalkan maka jadual sudah memperhitungkannya. Sehingga tidak diperlukan revisi jadual. Sedangkan kedatangan job baru yang tidak teramalkan, akan mengakibatkan pelaksanaan penjadualan yang tadinya belum memperhitungkan pesanan baru tersebut, sehingga akan tetap berada pada kondisi yang optimal seta *shop floor* dapat segera menyesuaikan diri dengan penjadualan yang baru tersebut.

Data yang perlu diketahui adalah :

- Jenis produk baru yang dipesan, beserta routingnya
- Jumlah pesanan
- Due date yang diminta konsumen
- Sedangkan prioritas job ditentukan oleh manajemen berdasarkan kondisi *shop floor* maupun jenis job tersebut

2. Adanya perubahan prioritas

   Apabila prioritas pembuatan produk mengalami perubahan prioritas maka penjadualan yang telah dilakukan semula akan mengalami perubahan tersebut meliputi keseluruhan produk yang ada.

3. Perubahan due date

   Perubahan due date ada dua macam yaitu :

   - Due date semakin maju (due date baru lebih kecil daripada due date lama)
   - Due date semakin mundur (due date baru lebih besar daripada due date lama)

   Apabila perubahan yang terjadi adalah due date yang semakin mundur, maka akan mengakibatkan perubahan pada performasi penjadualan semula yaitu *inventory cost* untuk produk jadi akan makin meningkat. Tetapi apabila perubahan due date semakin maju, dapat mengakibatkan jadual yang telah disusun semula akan melanggar due date tersebut akibanya akan terjadi biaya tambahan yaitu *penalty cost* untuk produk yang melanggar due date tersebut. Oleh karena itu perlu dilakukan penjadualan ulang agar biaya dapat diminimasi. Hal ini bisa dilakukan dengan melakukan "*trade off*" antara minimaasi *inventory cost* dan *penalty cost.* Akan tetapi jika *inventory cost* tidak diperhitungkan maka due date yang mundur tidak akan mengubah

kelayakan suatu jadwal produksi, sehingga tidak perlu dilakukan penjadualan ulang.

4. Adanya job yang dibatalkan

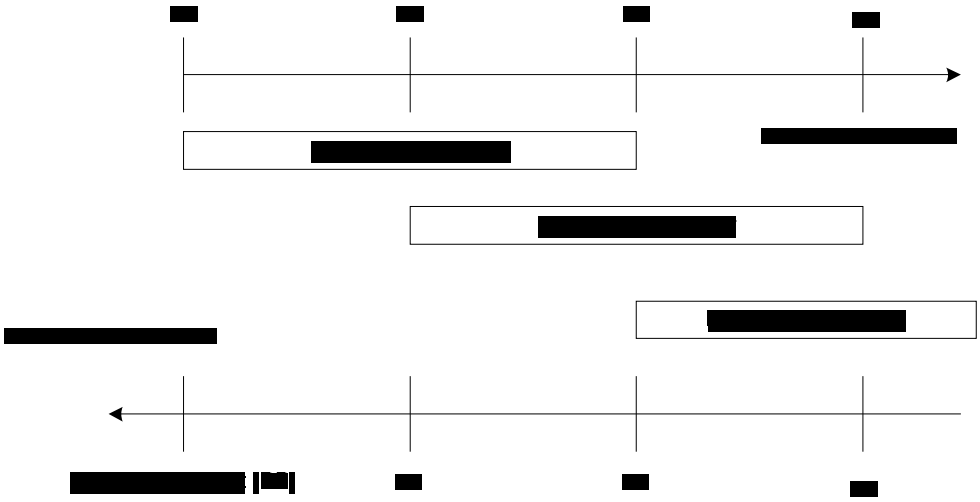
   Seringkali job yang beberapa operasi telah dikerjakan, karena beberapa sebab dibatalkan. Hal ini akan mengakibatkan operasi yang tersisa dan job tersebut tidak dilaksanakan. Akibatnya akan terjadi *idle time* mesin yang cukup besar yang disebabkan dibatalkannya operasi yang telah dijadualkan yang pada gilirannya akan menyebabkan turunnya utilitas mesin. Oleh karena itu penjadualan ulang diperlukan agar operasi untuk job lain yang tersisa dapat memanfaatkan *idle time* mesin tersebut sehingga *flow time* bisa berkurang dan utilitas mesin bisa meningkat.

   Seluruh hambatan atau gangguan dalam melaksanakan jadual produksi semula tersebut dapat terjadi secara bersamaan *(multi disturbance)* maupun secara sendiri-sendiri *(single disturbance)*.

2.8 Pendekatan Rolling Time Window

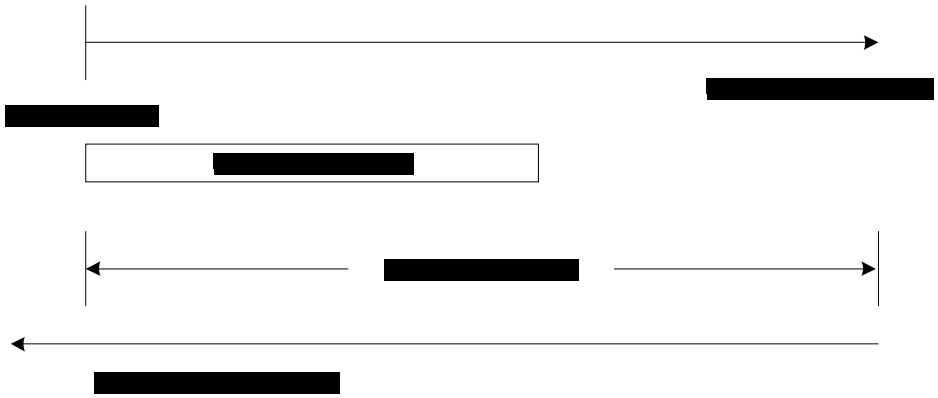
Rolling time window dibagi menjadi dua periode waktu (time window) yang besarnya tidak perlu sama. Karena rentang dari rolling time window relative kecil maka kompleksitas dari perhitungan dapat dikurangi (sun d.,Lin L.,1994). Pendekatan *rolling time window* dapat dilihat paa gambar 2.3.

Perbedaan yang mendasar anatara penjadualan statis dan penjadualan dinamis dalam konteks *rolling time window* adalah adanya *cross window job*. Dalam penjadualan statis terdapat suatu rentang waktu yang dapat dikatakan sebagai *time window*, dimana semua job dapat dimulai dan diselesaikan dalam waktu tersebut. Sementara dalam penjadualan dinamis, karena kedatangan job yang kontinu, maka selalu terdapat job yang harus dimulai pada suatu *time window* dan diselesaikan diluar *time window* tersebut.



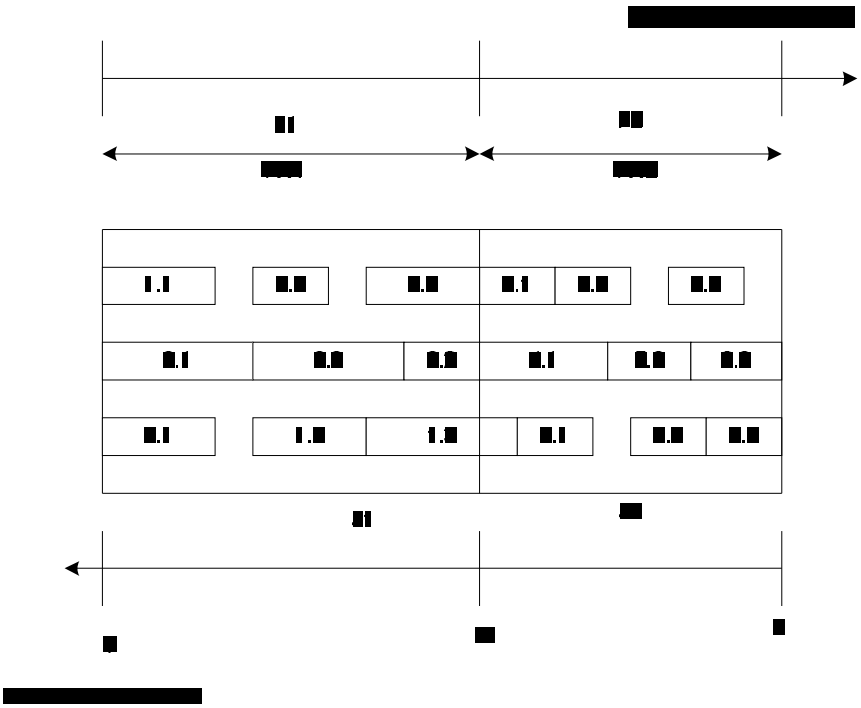
Gambar 2.6 Pendekatan Rolling Time window

Untuk suatu persoalan penjadualan perlu ditentuksn kondisi yang membatasi *rolling time window*, baik itu kondisi awal maupun kondisi akhir. Kondisi awal merupakan kondisi pada saat dimulainya *rolling time window*, yang merupakan status shop sekarang. Kondisi akhir merupakan status job yang dikehendaki pada akhir *rolling time window*. Hubungan antara *rolling time window* dan horizon penjadualan dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.7 Hubungan antara rolling time window dengan horizon penjadualan

Didalam kerangka penjadualan ini kondisi akhir untuk *rolling time window* ditentukan dalam suatu horizon penjadualan. Kondisi akhir untuk *rolling time window* ditentukan dengan menyelesaiakm suatu penjadualan statis dua periode (TPSP, *statis Two-Period Scheduling Problem).* Penjadualan statis dua periode dengan pendekatan metode *forward* dapat dilihat pada gambar 2.6



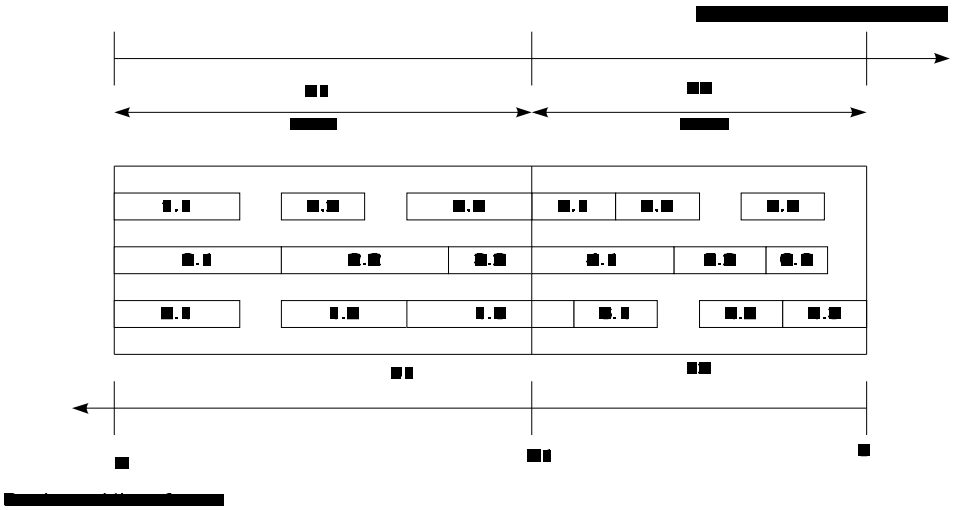
Gambar 2.8 Permasalahan penjadualan forward statis dua periode

Semua job dijadwalkan pada horizon penjadualan T, semua *due date* berada dalam T. Horison yang masing-masing tidak saling tumpang tindih. Semua job yang akan dijadwalkan dibagi kedalam J1 dan J2. suatu job termasuk kedalam j1 dan hanya jika due date job tersebut berada dalam T1, I=1,2.

Dua penjadualan forward disusun pada masing-masing time window yaitu F1 dan F2. dalam kerangka waktu *forward* TW1 dimulai pada saat T = 0 (waktu kedatangan gangguan) dan berakhir pada saat T1,T2 dimulai pada saat T1 dan berakhir pada saat T dalam penjadualan statis dua periode, F1 hanya menjadualkan job-job dalam J1 yang diselesaikan dalam TW1. F2 menjadualkan semua job dalam J1. perlu juga dilakukan penjadualan terhadap operasi pada job dalam J1 yang tidak terselesaikan dalam TW1. job-job dalam j1 dijadualkan terlebih dahulu dalam kerangka waktu forward.

Dalam gambar diatas, suatu permasalahan FTPSP *(Forward Statis Two-Period Scheduling Problem)* yang sederhana digambarkan dalam suatu gant chart. Segi empat menunjukkan operasi, dengan notasi I,I yang menerangkan job j pada operasi i. tiap-tiap operasi diberi nomor urut sesuai dengan routing pada penjadualan forward. Dalam contoh tersebut job 1,2, dan 3 termasuk kedalam j1

dan job 5,6 termasuk kedalam j2. daerah yang diarsir adalah TW1, dan daerah yang tidak diarsir adalah TW2 job 1 operasi 3 merupakan cross window job.
Dua buah penjadualan *forward* yang *independent* dapat dilihat pada gambar 2.7.



Gambar 2.9 dua buah penjadualan forward yang independent