Bab 2
Tinjauan Pustaka

2.1. Konsep dasar penjadwalan

Permasalahan yang menyebabkan dibutuhkannya penjadwalan adalah bila terdapat berbagai macam tugas (*job*) atau proses yang harus dilakukan, sedangkan sumber daya (waktu, bahan baku, tenaga kerja, mesin, modal, dan sebagainya) yang dibutuhkan untuk menyelesaikan tugas-tugas atau proses tersebut terbatas sehingga diperlukan suatu pengaturan atas pelaksanaan tugas-tugas atau proses-proses tersebut. *Conway* (1967) mendefinisikan penjadwalan sebagai berikut: "*Scheduling is the task of assigning each operation to a specific position or the time scale of the specific machine".* Sedangkan *Fogarty* (1991) mengatakan bahwa penjadwalan mencakup dua hal, yaitu *scheduling* dan *sequencing* yang masing-masing didefinisisikan sebagai berikut:

"*Scheduling is the assigning of starting and completion times orders (job) and frequently includes the times when orders are to arrive and leave each department".*

Scheduling (penjadwalan) merupakan proses penugasan kapan pekerjaan harus dimulai dan diselesaikan, sedangkan *sequencing* (pengurutan) merupakan proses pengaturan urutan atas pekerjaan-pekerjaan yang harus diselesaikan tersebut. Karena eratnya hubungan diantara kedua istilah ini, maka biasanya dalam penggunaan kata *scheduling* (penjadwalan), pengertian *sequencing* sudah tercakup didalamnya.

2.2. Pengertian dan Tujuan Penjadwalan

Secara umum masalah penjadwalan menurut *French* (1982) dapat dijelaskan sebagai berikut. Jika ada n *job* $\{j_1, j_2, j_3, ..., j_n\}$ harus diproses pada m mesin $\{m_1, m_2, m_3, ..., m_n\}$ Proses pengerjaan *job* J_1 disebut dengan operasi O_{ij}. Waktu yang diperlukan untuk memproses operasi O_{ij} pada mesin M_j adalah t_{ij}. Beberapa *job* mungkin memiliki saat pengerjaan paling awal atau saat kedatangan *job* ke *shop*

yang disebut *release date*, r_{ij} yang mungkin tidak sama dengan 0, dan juga batas saat penyelesaian yang disebut *due date*, d_{ij}. Permasalahan penjadwalan adalah menentukan urutan produksi yang memberikan solusi terbaik dengan kriteria sebagai berikut:

1. Memenuhi *technological constraint* yang ada, dengan kata lain merupakan jadwal yang *feasible*.
2. Memenuhi beberapa kriteria pengukuran performansi, seperti minimasi *makespan*, minimasi banyaknya *job* yang terlambat, dan sebagainya.

2.2.1. Definisi Penjadwalan

Pejadwalan produksi memiliki berbagai definisi, antara lain sebagai berikut:

1. Menurut *Morton* dan *Pentico* (1993) penjadwalan yaitu proses pengorganisasian, pemilihan, dan pemberian waktu dalam penggunaan sumber daya untuk melaksanakan aktivitas yang diperlukan dalam menghasilkan output yang diinginkan, dengan memenuhi waktu yang ditetapkan dan kendala-kendala hubungan antara waktu dan aktivitas.
2. Menurut *Conway* (1967) penjadwalan merupakan proses pengurutan pembuatan produk secara menyeluruh pada sejumlah mesin tertentu dan pengurutan didevinisikan sebagai proses pembuatan produk pada suatu mesin tertentu.
3. Menurut *Baker* (1974) penjadwalan yaitu proses pengalokasian sumber-sumber untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu.

   Definisi yang diberikan *Baker* (1974) mengandung dua arti, yaitu:

   - Penjadwalan merupakan fungsi pengambilan keputusan yaitu menentukan jadwal (nilai praktis).
   - Penjadwalan merupakan suatu teori, yaitu sekumpulan prinsip-prinsip dasar, model-model, teknik-teknik, dan kesimpulan-kesimpulan logis dalam proses pengambilan keputusan yang memberikan pengertian dalam fungsi penjadwalan (nilai konseptual).

Keputusan yang dibuat dalam penjadwalan meliputi:

- Pengurutan pekerjaan (*sequencing*)
- Waktu mulai dan selesai pekerjaan (*timing*)
- Urutan proses suatu pekerjaan (*routing*)

Persoalan penjadwalan timbul apabila beberapa pekerjaan akan dikerjakan secara bersamaan, sedangkan sumber yang dimiliki terbatas. Input dari suatu penjadwalan mencakup jenis dan banyaknya *part* yang akan dioperasi, urutan ketergantungan antar operasi, waktu proses untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi. Sedangkan output dari penjadawalan meliputi *dispatch list*, yaitu daftar yang menyatakan urutan pemrosesan *part* serta waktu mulai dan selesai dari pemrosesan *part*.

2.2.2. Tujuan Penjadwalan

Tujuan penjadwalan, adalah sebagai berikut:

1. Menurut *Baker* (1974), tujuan penjadawalan umumnya adalah sebagai berikut:
   - Meningkatkan produktifitas mesin, yaitu dengan mengurangi waktu mesin menganggur.
   - Mengurangi persediaan barang setengah jadi dengan jalan mengurangi jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin tersebut sibuk.
   - Mengurangi keterlambatan suatu pekerjaan. Setiap pekerjaan mempunyai batas waktu (*due date*) penyelesaian, jika pekerjaan tersebut diselesaikan melewati batas waktu yang ditentukan maka pekerjaan tersebut dinyatakan terlambat. Dengan metoda penjadwalan maka keterlambatan ini dapat dikurangi, baik waktu maupun frekuensi.
2. Menurut *Narasimhan* (1985), penjadwalan yang baik seharusnya simpel, mudah dimengerti dan dapat dilaksanakan oleh pihak manajemen dan oleh siapapun yang menggunakannya. Aturan-aturan penjadwalan seharusnya cukup kuat tetapi mempunyai tujuan yang *realistis* sehingga cukup *flexibel* untuk memecahkan masalah yang tidak terprediksi sebelumnya dan membolehkan satu perencanaan ulang.

3. *Bedworth* (1987) mengidentifikasikan beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan, adalah sebagai berikut:
   - Meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggunya, sehingga total waktu proses dapat berkurang dan produktivitas dapat meningkat.
   - Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan menunggu dalam antrian ketika sumber daya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain. Teori Baker mengatakan, jika aliran kerja suatu jadwal konstan, maka antrian yang mengurangi rata-rata waktu alir akan mengurangi rata-rata persediaan barang setengah jadi.
   - Mengurangi beberapa kelambatan pada pekerjaan yang menpunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimalisasi *penalty 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 ataupun bahan baku. Karena sumber daya yang dimiliki dapat berubah-ubah (terutama operator dan bahan baku), maka penjadwalan dapat kita lihat merupakan proses yang dinamis. Masalah penjadwalan muncul karena keterbatasan:

- Waktu
- Tenaga kerja
- Jumlah mesin
- Sifat dan syarat pekerjaan

Dua permasalahan utama yang hendak diselesaikan dengan menggunakan penjadwalan:

- Penentuan mesin yang akan digunakan (pengalokasian mesin) untuk menyelesaikan suatu proses produksi.
- Penentuan waktu pemakaian mesin tersebut (pengurutan).

2.3. Element penjadwalan

Penjadwalan mempunyai element-element penting yang harus diperhatikan seperti *job*, operasi, mesin, serta hubungan yang terjadi diantaranya:

1. *Job*

   Job dapat didefinisikan sebagai suatu pekerjaan yang harus diselesaikan untuk mendapatkan suatu produk. *Job* biasanya terdiri dari beberapa operasi yang harus dikerjakan (minimal 1 operasi). Manajemen melalui perencanaan yang telah dibuat/berdasarkan pesanan dari pelanggan yang memberikan *job* kepada lantai kerja pabrik untuk dikerjakan. Informasi yang dipunyai oleh suatu *job* ketika datang ke lantai kerja pabrik biasanya adalah operasi-operasi yang harus dilakukan didalamnya (dari bagian *engineering*) saat *job* harus diselesaikan dan pada saat *job* mulai dapat dikerjakan.

2. Operasi

   Operasi adalah himpunan bagian dari *job*. Untuk menyelesaikan suatu *job*, operasi dalam *job* diurutkan dalam suatu urutan pengerjaan tertentu. Urutan tersebut ditentukan pada saat perencanaan proses. Suatu operasi baru dapat dikerjakan apabila operasi atau proses yang mendahuluinya sudah dikerjakan terlebih dahulu. Matriks *routing* berisikan informasi mengenai urutan pengerjaan dan jenis mesin yang digunakan dalam setiap operasi. Setiap opersi mempunyai waktu proses.

3. Mesin

   Mesin adalah sumber daya yang diperlukan untuk mengerjakan proses penyelesaian suatu *job*. Setiap mesin hanya dapat memproses satu tugas pada saat tertentu.

2.4. Output dan Input Sistem Penjadwalan

2.4.1. Output Sistem Penjadwalan

Untuk memastikan bahwa suatu aliran kerja yang lancar melalui tahapan produksi, maka sistem penjadwalan harus membentuk aktivitas-aktivitas *output* sebagai berikut:

a. Pembebanan (*loading*), Pembebanan melibatkan penyesuaian kebutuhan kapasitas untuk *order-order* yang diterima atau diperkirakan dengan kapasitas

yang tersedia. Pembebanan dilakukan dengan menugaskan *order-order* pada fasilitas-fasilitas, operator-operator, dan peralatan tertentu.

b. Pengurutan (*sequencing*)

   Pengurutan ini merupakan penugasan tentang *order-order* mana yang diprioritaskan untuk diproses dahulu bila suatu fasilitas harus memproses banyak *job*.

c. Prioritas *Job* (*dispatching*)

   Prioritas *job* merupakan prioritas kerja tentang *job-job* mana yang diseleksi dan diprioritaskan untuk diproses.

d. Pengendalian kinerja penjadwaan, dilakukan dengan:
   - Meninjau kembali status *order-order* pada saat melalui sistem tertentu.
   - Mengatur kembali urutan-urutan.

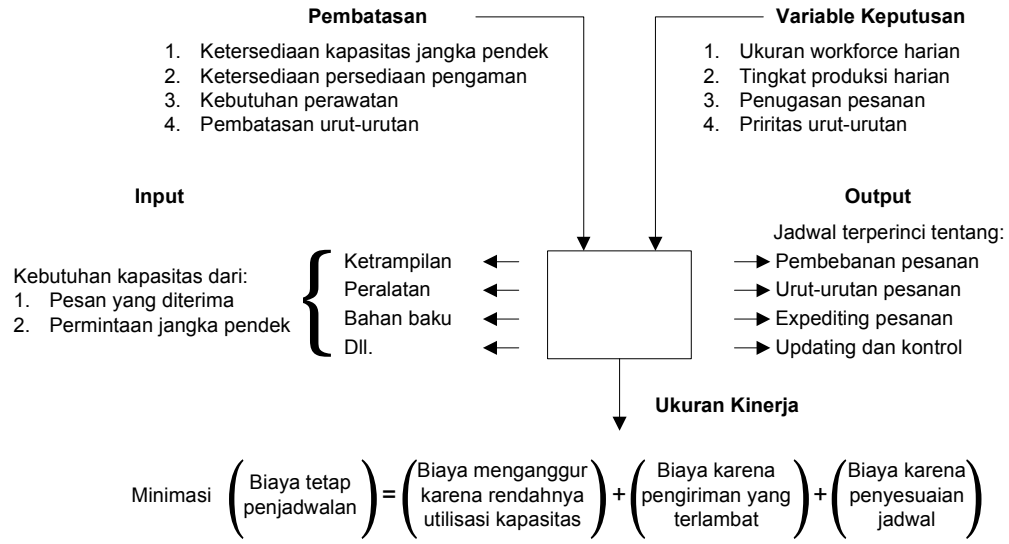
e. *Up-dating* Jadwal, dilakukan sebagai refleksi kondisi operasi yang terjadi dengan merevisi prioritas-prioritas.

2.4.2. Input Sistem Penjadwalan

Pekerjaan-pekerjaan yang berupa alokasi kapasitas untuk *order-order*, penugasan prioritas *job*, dan pengendalian jadwal produksi membutuhkan informasi terperinci, dalam informasi-informasi tersebut akan menyatakan input dari sistem penjadwalan.

Pada bagian ini, kita harus menentukan kebutuhan-kebutuhan kapasitas dari *order-order* yang dijadwalkan dalam hal macam dan jumlah sumber daya yang digunakan. Untuk produk-produk tertentu, informasi ini diperoleh dari lembar kerja operasi (berisi ketrampilan dan peralatan yang dibutuhkan, waktu standar, dll) dan BOM (berisi kebutuhan-kebutuhan akan komponen, sub komponen, dan bahan pendukung). Kualitas dari keputusan-keputusan penjadwalan sangat dipengaruhi oleh ketepatan *estimasi input-input* diatas. Oleh karena itu, pemeliharaan catatan terbaru tentang status tenaga kerja dan peralatan yang tersedia dan perubahan kebutuhan kapasitas yang diakibatkan perubahan desain produk atau proses menjadi sangat penting.

Bila digambarkan. Maka elemen-elemen *output input*, prioritas-prioritas dan ukuran kinerja dari sistem penjadwalan akan tampak seperti pada gambar dibawah ini:



Gambar 2.1. Prioritas-Prioritas dan Ukuran Kinerja Dari Sistem Penjadwalan

2.5. Ukuran keberhasilan dalam Aktivitas Penjadwalan

Ukuran keberhasilan dari suatu pelaksanaan aktivitas penjadwalan khususnya penjadwalan *job shop* adalah meminimasi kriteria-kriteria keberhasilan sebagai berikut:

- Rata-rata waktu alir (*mean flow time*), akan mengurangi persediaan barang setengah jadi.
- *Makespan*, yaitu total waktu proses yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kumpulan *job*. Dimaksudkan untuk meraih *utilisasi* yang tinggi dari peralatan dan sumber daya dengan cara menyelesaikan seluruh *job* secepatnya.
- Rata-rata kelambatan (*mean tardiness*).
- Jumlah *job* yang terlambat, akan meminimasi nilai dari maksimum ukuran kelambatan.
- Jumlah mesin yang menggur.
- Jumlah persediaan.

2.6. Istilah-istilah Umum Dalam Penjadwalan

Berbagai istilah yang umum digunakan dalam penjadwalan adalah sebagai berikut:

- Waktu proses (*processing time*), t_i

  Waktu proses merupakan *estimasi* lamanya waktu yang dibutuhkan mesin ke-k untuk menyelesaikan operasi ke-*j* dari pekerjaan (*job*) ke-*i*, yang kadang-kadang didalamnya sudah tercakup waktu yang dibutuhkan untuk persiapan dan pengaturan mesin (waktu *set up*).

- Waktu siap (*ready time*), R_i

  Menunjukkan saat pekerjaan ke-*i* dapat dikerjakan (siap dijadwalkan)

- Batas waktu penyelesaian (*due date*), d_i

  Batas waktu yang diperbolehkan untuk menyelesaikan suatu pekerjaan.

- Waktu menunggu (*waiting time*), W_i

  Adalah waktu tunggu pekerjaan *i* dari saat pekerjaan siap dikerjakan sampai saat operasi pendahulu selesai.

- Waktu penyelesaian (*completion time*), c_i

  Adalah rentang waktu mulai dari awal (*t=0*) sampai pekerjaan *i* selesai dikerjakan.

- Waktu tunggal (*flow time*), F_i

  Adalah waktu antara saat dimana pekerjaan *i* telah siap untuk dikerjakan sampai pekerjaan selesai.

- *Makespan* (Ms)

  Adalah jangka penyelesaian suatu penjadwalan (penjumlahan seluruh waktu proses). $M_s = C_{\max}$

- Keterlambatan (*lateness*), L_i

  Adalah perbedaan antara *completion time* dengan *due date*, sehingga bisa (+) atau (-).

  $L_i = c_i - d_i < 0\ (negatif)$: saat penyelesaian memenuhi batas

  $L_i = c_i - d_i > 0\ (positif)$: saat penyelesaian melampaui batas (tardy *job*)

- Kelambatan (*tardiness*), T_i

  Adalah keterlambatan penyelesaian suatu pekerjaan dari saat *due date*.

  $T_i = \max\{0, L_i\}$: hanya melihat L_i yang > 0, dengan $1 \le i \le N$

- *Slack Time* (SL_i)

  Adalah waktu sisa yang tersedia bagi suatu pekerjaan (waktu proses–*due date*). $S_i = d_i - t_i$.

- *Set up Time* (s_i)

  Adalah waktu yang dibutuhkan untuk kegiatan persiapan sebelum pemrosesan *job* dilaksanakan.

- *Arrival Time* (a_i)

  Adalah saat *job* mulai berada di *shop floor*.

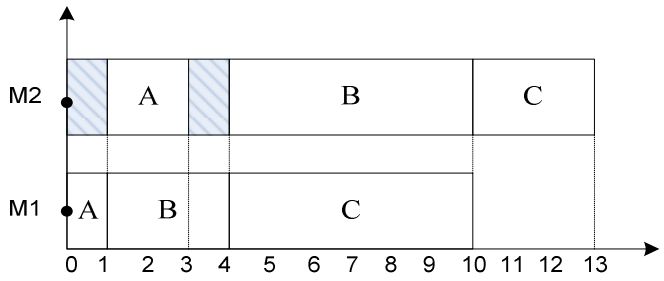
- *Delivery Date* (d_i)

  Adalah saat pengiriman *job* dari *shop floor* ke proses berikutnya atau ke konsumen.

- *Gant Chart*

  Merupakan peta visual yang menggambarkan *loadling* (menggambarkan beban mesin) dan *scheduling* (menggambarkan urutan pemrosesan *job* dan menggambarkan saat mulai dan saat selesai suatu *job*).

Contoh *Gantt Chart*, seperti gambar dibawah ini:



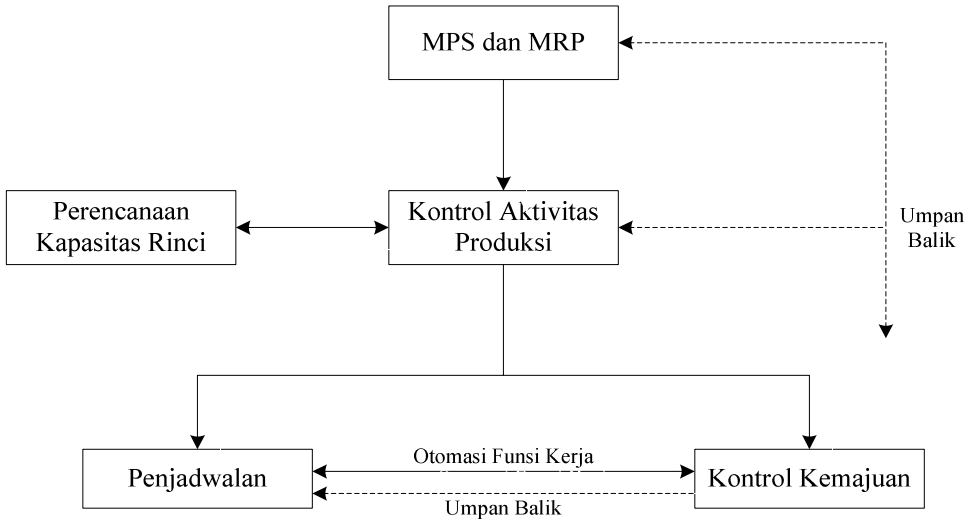
Gambar 2.2. Contoh *Gantt Chart.*

2.7. Hubungan Penjadwalan Dengan Fungsi P-A-P

Penjadwalan sebagai proses penugasan prioritas kerja (waktu dan urutan produksi) untuk *order* manufaktur dan pengalokasian beban kerja pada pusat-pusat kerja tertentu sangat erat hubungannya dengan kontrol kemajuan produksi. Kontrol

kemajuan produksi memastikan apakah material dan perkakas-perkakas tersedia ketika dibutuhkan, pembuatan penyesuaian-penyesuaian untuk keterbatasan kapasitas jangka pendek, ketersediaan WIP, pengawasan kerja, pemindahan mesin-mesin yang rusak, *expediting* (mempercepat) *order-order* yang tiba-tiba meningkat tajam, pengontrolan kualitas output, dan membantu penyelesaian masalah kualitas.

Penjadwalan dan kontrol kemajuan produksi merupakan basis dari fungsi Produksi – Aktivitas – Pengendalian (P – A – P) yang terdiri atas komponen-komponen seperti pada gambar dibawah ini:

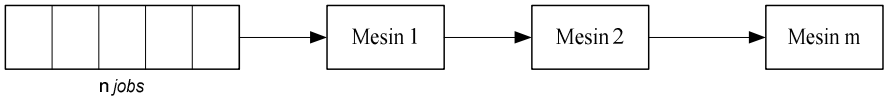


Gambar 2.3. Fungsi Produksi – Aktivitas - Pengendalian

2.8. Penjadwalan N Job M Mesin

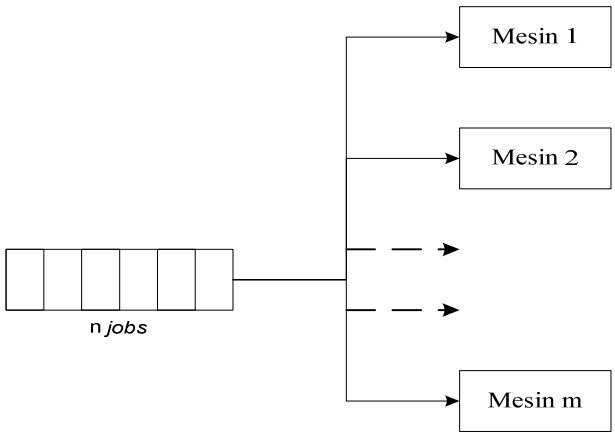
Pada model pertama klasifikasi masalah penjadwalan, terdapat penjadwalan untuk mesin ganda atau penjadwalan n *job* m mesin. Model ini terbagi lagi untuk mesin seri dan paralel, untuk mesin seri pekerjaan harus dikerjakan pada beberapa mesin secara berurutan, sedangkan mesin paralel tiap pekerjaan hanya dikerjakan pada satu mesin.

- Menggunakan mesin seri.



Gambar 2.4. n *job* m mesin pada mesin seri.

- Menggunakan mesin paralel.



Gambar 2.5. n *job* m mesin pada mesin paralel.

2.9. Penjadwalan Dalam Sistem Produksi Job Shop

Penjadwalan mempunyai metoda yang berbeda-beda untuk setiap tipe sistem produksi karena setiap sistem mempunyai karakteristik yang berbeda satu dengan yang lainnya. Demikian pula dengan sistem produksi *job shop*. Ciri khas persoalan *job shop* adalah aliran pekerjaan dalam *shop* tidak searah (*non unidirectional*). Waktu proses dan *routing* dari jumlah *job* yang akan dijadwalkan kedalam suatu tabel matriks yang disebut matriks waktu proses dan matriks *routing,* kemudian hasil penjadwalan digambarkan dalam *gant chart*.

Penjadwalan *job shop* adalah pengurutan pekerjaan untuk lintas produk yang tidak beraturan (tata letak pabrik berdasarkan proses). Penjadwalan pada proses produksi tipe *job shop* lebih sulit dibandingkan penjadwalan *flow shop*. Hal ini disebabkan oleh 3 alasan, yaitu:

1. *Job shop* menangani variasi produk yang sangat banyak, dengan pola aliran yang berbeda-beda melalui *work center*.
2. Peralatan pada *job shop* digunakan secara bersama-sama oleh bermacam-macam *order* dalam prosesnya, sedangkan peralatan pada *flow shop* digunakan khususnya 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* tertentu yang dipilih harus diproses seketika pada saat *order*

tersebut ditugaskan pada suatu *work center*. 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 dari pembebanan (*loadling*) dan urutan-urutan (*sequencing*).
Perhitungan dari 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 infestasi yang sangat besar.

2.10. Sistem Pengendalian Situasi Produksi

Sistem pengendalian produksi amat bergantung pada situasi yang dihadapi. Terdapat berbagai klasifikasi terhadap situasi produksi, namun secara umum memiliki anggapan sebagai berikut:

- Tujuan pengklasifikasian adalah untuk memisahkan antara berbagai situasi kontrol produksi yang berbeda.
- Perbedaan dalam sistem kontrol dapat dijelaskan oleh karakteristik situasi produksi dalam hubungannya dengan lingkungan.
- Pemisahan didasarkan pada sifat order pelanggan dan aturan yang dimainkan dalam proses produksi.

Perbedaan yang mendasar antara situasi-situasi produksi pada perusahaan adalah saat menerima order pelanggan relatif terhadap produksi produk akhir. Faktor penentu suatu situasi produksi adalah *lead time*. Jika kesedian waktu menunggu konsumen lebih kecil dari *lead time*, maka organisasi tersebut harus memelihara persedian produk jadi. Jika konsumen mentolelir menunggu beberapa hari, organisasi akan lebih memilih strategi merakit untuk dipesan atau memproduksi untuk dipesan.

Secara umum pembagian klasifikasi situasi produksi menurutt *Fogarty* (1991) adalah sebagai berikut:

a. *Make to stok*

   Mengubah komponen tingkat rendah dan bahan mentah keseluruhan menjadi produk akhir untuk mengantisipasi order pelanggan.

b. *Assemle to order*

   Mengubah komponen tingkat rendah dan bahan mentah menjadi level manufaktur tertentu dan membentuk order pelanggan bila menerima pesanan.

c. *Make to order*

   Sangat sedikit atau sama sekali tidak memiliki material tingkat rendah hingga pesanan pelanggan diterima.

d. *Engineer to order*

   Sangat sedikit mengetahui tentang apa yang akan diproduksi hingga pesanan diterima dan membuat spesifikasi engineering-nya.

Dalam situasi produksi terakhir, pesanan pelanggan memainkan peranan penting dalam sistem produksi dan sistem kontrol produksi: seluruh aktivitas dikendalikan oleh pesanan pelanggan.

2.11. Klasifikasi Penjadwalan Job Shop

Dalam penjadwalan *job shop*, jadwal yang layak akan diperoleh jika hasil penjadwalan memenuhi kriteria sebagai berikut:

- Seluruh operasi dari semua *job* telah dikerjakan.
- Ketentuan pengurutan pekerjaan seperti dalam *routing* sudah dipenuhi dan tidak ada operasi yang tumpang tindih (*over lap*).

Berdasarkan ketentuan tersebut, jumlah kombinasi penjadwalan yang mungkin dibuat tak hingga oleh karena waktu menganggur dapat disisipkan diantara operasi sebanyak mungkin tanpa melanggar syarat *presedensi*. Dengan demikian perlu dipertimbangkan suatu jadwal yang mendekati ukuran performansi yang telah dipilih.

Menurut *Baker* (1974), Jadwal yang layak (*fisible*) dapat di klasifikasikan sebagai berikut:

1. Set Jadwal Semiaktif

   Kumpulan jadwal dengan tidak satupun operasi dapat dikerjakan lebih awal tanpa mengubah susunan beberapa operasi pada mesin.
2. Set Jadwal Aktif

   Suatu set jadwal yang tidak memungkinkan lagi untuk melakukan geser kiri global (suatu operasi dimulai lebih cepat tanpa menyebabkan delay pada operasi lain, pada geser kiri global urutan dapat berubah).
3. Set Jadwal Non Delay

   Kumpulan jadwal dengan tidak satupun mesin dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama terdapat operasi yang membutuhkan operasi tersebut.
4. Set Jadwal Optimal

   Kumpulan jadwal dengan tidak terdapat jadwal yang memiliki tingkat preferensi lebih tinggi dari kumpulan jadwal optimal.

2.12. Karakteristik Dan Asumsi Dalam Penjadwalan Job Shop

Baker (1974), mengemukakan beberapa karakteristik dan asumsi penjadwalan dari sistem produksi *job* shop, karakteristik dan asumsi tipe ini akan digunakan untuk keperluan simulasi dari *job shop* yang dinamis, yaitu sebagai berikut:

a. *Job* terdiri dari urutan operasi yang telah ditentukan.
b. Suatu operasi hanya bisa dikerjakan pada suatu mesin.
c. Hanya ada satu mesin dari tiap mesin dalam shop.
d. Waktu proses diketahui dengan pasti seperti halnya due date.
e. Untuk waktu set up bersifat independent dan waktu transportasi antar mesin dapat diabaikan.
f. Opersi yang sedang dikerjakan pada suatu mesin tidak dapat di interupsi.
g. Suatu operasi tidak dapat dimulai sampai operasi pendahulunya diselesaikan.
h. Setiap mesin hanya dapat memproses suatu operasi pada suatu waktu.
i. Setiap part hanya dapat diproses disuatu mesin pada suatu waktu.

- **Asumsi mengenai pekerjaan, yaitu sebagai berikut:**
  a. Setiap pekerjaan diselesaikan menurut jadwal yang telah disusun.
  b. Setiap pekerjaan merupakan satu kesatuan.
  c. Setiap pekerjaan yang telah dimulai harus diselesaikan tanpa menyisipkan pekerjaan lain diantaranya.
  d. Setiap pekerjaan tidak boleh diproses pada lebih dari satu mesin, pada saat yang bersamaan.
  e. Setiap pekerjaan hanya mempunyai satu operasi dan dapat dikerjakan pada mesin yang mana saja.

- **Karakteristik mesin**
  a. Setiap mesin dapat mengerjakan pekerjaan manapun yang dibebankan kepadanya.
  b. Setiap mesin secara kontinyu, siap untuk dibebankan pekerjaan selama perioda penjadwalan, tanpa mengalami interupsi oleh kerusakan atau pemeliharaan mesin.
  c. Setiap mesin hanya dapat melakukan suatu operasi dari suatu pekerjaan atau *job* dalam satu waktu tertentu.
  d. Operator yang menangani mesin selalu tersedia.

2.13. Teknik-teknik Pemecahan Masalah Penjadwalan Job Shop

Dalam memecahkan masalah penjadwalan dalam sistem produksi yang bersifat *job shop* dapat digunakan beberapa teknik. Teknik-teknik dalam melakukan penjadwalan dapat dibedakan dalam dua metoda, yaitu:

- Teknik pendekatan optimal, teknik ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya:
  - Teknik *Integer Programming*
  - Teknik *Branch and Bound*
- Teknik pendekatan *heuristic,* teknik ini dapat dilakukan dengan beberapa cara, diantaranya:
  - *Priority Dispatching*
  - *Sampling*
  - *Probabilistic Dispatching*

Dengan menggunakan pendekatan optimasi, dapat diperoleh hasil penjadwalan yang optimal sesuai dengan fungsi tujuannya. Sementara dengan menggunakan pendekatan *heuristic*, belum tentu diperoleh hasil penjadwalan yang optimal. Namun pendekatan optimasi dapat dikatakan tidak layak untuk masalah penjadwalan besar karena memerlukan waktu yang cukup lama untuk mencari solusinya, sedangkan pendekatan *heuristic* hanya memerlukan waktu yang singkat. Oleh karena itu pendekatan *heuristic* banyak digunakan terutama masalah penjadwalan yang besar dengan n *job* m mesin.

2.13.1. Teknik Priority Dispatching

Dispatching adalah salah satu jenis metoda pejadwalan dimana waktu siap dari setiap mesin ditentukan sedemikian rupa sehingga berurutan naik. Keputusan pemilihan produk yang akan di proses dapat dilakukan pada saat mesin siap menerima produk (mesin kosong).

Pada teknik *priority dispatching* ditentukan aturan prioritas untuk memlilih satu operasi diantara operasi-operasi yang mengalami konflik pada mesin *m** pada setiap tahap. Aturan prioritas ini harus dapat menjamin agar tidak terjadi dua operasi atau lebih yang mempunyai skala prioritas yang sama. Untuk itu biasanya dipakai dua buah aturan prioritas yaitu aturan prioritas yang pertama dan aturan prioritas kedua.

2.13.2. Pemilihan Aturan Prioritas

Penjadwalan dengan pendekatan *heuristic* menggunakan aturan pengurutan atau *priority dispatching*, pada *priority dispatching* ditentukan aturan prioritasnya untuk memilih suatu operasi diantara operasi-operasi yang mengalami gangguan. Penentuan prioritas bergantung pada tujuan yang ingin dicapai. Beberapa aturan prioritas menutur *Fogarty* (1991), adalah:

1. *Random* (R)

   Pemilihan operasi secara random artinya setiap pekerjaan yang akan dikerjakan diurutkan secara *random* (tiap *job* mempunyai kemungkinan yang sama untuk dipilih)

2. *Most Working Remaining (MWR)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dengan sisa waktu proses terlama. Aturan prioritas ini cocok digunakan untuk menghasilkan jadwal dengan *makespan* terpendek.

3. *Least Working Remaining (LWR)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dengan sisa waktu proses terpendek. Aturan ini biasanya meminimasi *flow time* rata-rata.

4. *Most Operation Remaining (MOR)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dengan *successor* terbanyak.

5. *Fewest Operation (FO)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada produk dengan sisa operasi paling sedikit. Aturan ini biasanya mengurangi WIP, waktu penyelesaian produk, dan rata-rata waktu keterlambatan.

6. *Shortest Processing Time (SPT)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada operasi dengan waktu proses terpendek, aturan ini biasanya meminimasi WIP, rata-rata keterlambatan (*mean latenes*) dan waktu penyelesaian rata-rata (*mean flow time*) produk.

7. *First Come First Serve (FCFS)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada operasi yang masuk S_t (stasiun ke-t) lebih dahulu. Aturan ini cocok untuk tipe organisasi dimana konsumen mementingkan waktu pelayanan.

8. *Earliest Due Date (EDD)*

   Prioritas tertinggi diberikan pada produk dengan *due date* (batas waktu penyelesaian) terpendek. Aturan ini berjalan dengan baik bila waktu proses *job-job* relatif sama.

9. *Critical Ratio (CR)*

   Urutkan *job* berdasarkan CR terkecil (mengurangi *lateness*)

   $$CR = \frac{Due\ date - Now}{Remaining\ lead\ time}$$

10. *Slack Time (ST)*

    Merupakan variasi dari EDD.

    $$ST = Remaining\ time - Setup - Run\ time$$

11. *Slack Per Remaining Operation (S/OPN)*

    Merupakan variasi dari ST, urutkan *job* berdasarkan S/OPN terkecil (aturan ini mengurangi *lateness*).

$$S/OPN = \frac{(Due\ date - Present\ date) - Remaining\ \ processing\ time}{Remaining\ number\ of\ \ operations}$$

12. *Least Setup (LSU)*

    Urutkan *job* berdasarkan waktu setup terkecil (aturan ini mengurangi *makespan*).

2.13.3. Pendekatan penjadwalan

Operasi manufakturing harus dijadwalkan agar item-item diproduksi tepat waktu. Kapan suatu pesanan harus diselesaikan. Pekerjaan apa yang seharusnya diselesaikan atau dijalankan berikut pada *work center* tertentu?. Itu semua merupakan pertanyaan inti yang berkaitan dengan pengendalian prioritas (*priority control*).

Pengendalian prioritas adalah proses komunikasi *start and completion dates* ke departement manufakturing agar melaksanakan suatu rencana. *The dispatch list* adalah alat yang secara normal digunakan untuk memberikan informasi waktu dan prioritas berdasarkan pada rencana sekarang dan status dari semua *open orders.* Pengendalian prioritas menggunakan sejumlah teknik penjadwalan. Pemilihan teknik penjadwalan yang tepat tergantung pada lingkungan manufakturing.

Untuk mengendalikan proses produksi, jadwal harus *up-to-date.* Variabel-variabel dalam pengendalian prioritas adalah kebutuhan pelanggan, status peralatan, ketersediaan material, dan berbagai pertimbangan lain.

Pada dasarnya terdapat dua metode pendekatan dasar yang digunakan dalam membuat penjadwalan, yaitu:

1. Penjadwalan Mundur (*backward scheduling*)

   Backward scheduling, dimulai dengan tanggal atau waktu dimana suatu pesanan yang dibutuhkan itu harus diselesaikan yang ditetapkan oleh MRP kemudian menghitung mundur (*backward*) guna menentukan waktu yang tepat

untuk pertama kali mengeluarkan pesanan itu. Penggunaan *backward scheduling* mengasumsikan bahwa *finished date* diketahui dan *start date* diinginkan. *Backward scheduling* biasanya digunakan apabila komponen-komponen yang sedang dibuat menuju ke suatu *assemble product* memiliki waktu tunggu yang berbeda.

Adapun kelebihan yang dimiliki oleh penjadwalan *backward scheduling* adalah hasil penjadwalannya tidak menghasilkan pekerjaan yang terlambat, atau dengan kata lain *due date* dapat selalu dipenuhi, sedangkan *kelemahan* penjadwalan *backward scheduling* adalah penjadwalannya terkadang menghasilkan jadwal yang tidak *feasible*, yaitu waktu proses pertama mempunyai waktu mulai proses sebelum waktu sekarang.

2. Penjadwalan Maju *(forward scheduling)*

   Forward scheduling, dimulai dari *start date* pada operasi pertama kemudian menghitung *schedule date* ke depan (*forward*) untuk setiap operasi (sampai operasi terakhir) guna untuk menentukan *completion date*. Berdasarkan perhitungan ini akan diketahui *operation start dates* untuk setiap langkah. Perlu diperhatikan disini, bahwa *forward scheduling* menggunakan data waktu atau tanggal yang dijanjikan untuk pelanggan serta berfokus pada operasi-operasi kritis dan penjadwalan melalui subsekuens operasi. *Forward scheduling* paling sering digunakan dalam perusahaan-perusahaan seperti *Paper and Steel Mills* dimana produk bersifat besar (*bulky*) dengan sedikit komponen. *Forward scheduling* akan jelek apabila diterapkan untuk truktur produk yang kompleks dengan banyak komponen. Bagaimanapun *forward scheduling* dapat melengkapi *backward scheduling* untuk menyelesaikan permasalahan yang berkaitan dengan kebutuhan pelanggan.

   Tujuan pendekatan *forward scheduling* adalah menjadwalkan suatu produk apabila titik waktu mulainya telah ditentukan sebelumnya dan tidak diberikan batas waktu penyelesaian keseluruhan produk yang direncanakan. *Kelebihan* dari penjadwalan maju adalah dalam penjadwalan dapat disusun secara SPT

sehingga didapatkan suatu penjadwalan produk dengan rata-rata *flowtime* yang minimum. *Kelemahan* dari penjadwalan maju adalah ada kemungkinan waktu penyelesaian produk melewati batas waktu (*due date*) yang ditetapkan konsumen.

Disamping dua metode utama penjadwalan diatas, terdapat variasi lain yang pada dasarnya mengacu pada kedua teknik penjadwalan yang dikemukakan di atas. Variasi lain itu adalah *operations scheduling* dan *block scheduuling*.

- ***Operations scheduling***, menetapkan *operation start and completion dates* dengan mempertimbangkan waktu-waktu *setup*, pelaksanaan, bergerak, menunggu atau antri. Proses ini menentukan kapan setiap operasi seharusnya dimulai dan berakhir guna menyelesaikan pesanan tepat waktu dan mengijinkan *capacity requirements planning* (*CRP*) melakukan *time-phased loads*. Pada dasarnya langkah-langkah *operations scheduling*, secara umum adalah sebagai berikut:
  1. Memberikan data berupa *sekuens operasi* (*routing*).
  2. Mengembangkan sistem seperti: *scheduling rules.*
  3. Memilih metode penjadwalan.
  4. Melakukan penjadwalan (*schedule*).

  Beberapa alasan mengapa *job shop manufacturing* membutuhkan *operation-by-operation scheduling* adalah adanya beban yang tidak merata pada orang maupun peralatan, terdaapat *multiple routing* dan jalur-jalur yang kompleks melalui pabrik, adanya ketidakpastian berkaitan dengan waktu kedatangan pada pusat-pusat kerja (*work center*), terdapat variasi dalam waktu antara memulai dan mengakhiri pekerjaan dari *parts* yang berbeda, dan beban kerja untuk setiap minggu harus diperkirakan agar menjamin kecakupan kapasitas.

- ***Block Scheduling,*** adalah *simplified version* dari *backward scheduling*. *Block scheduling* digunakan apabila operasi harus dijadwalkan secara manual. *Block scheduling* kurang akurat dibandingkan *detailed scheduling* dan akan meningkatkan waktu tunggu. Banyak perusahaan menggunakan *block*

scheduling untuk menduga banyaknya waktu yang dibutuhkan untuk setiap *part.* Hal ini akan menghemat waktu perhitungan, tetapi biasanya meningkatkan waktu tunggu sehingga menjadi bertambah panjang.

Bagaimanapun juga telah dikemukakan bahwa pemilihan teknik penjadwalan akan tergantung pada lingkungan manufakturing. Untuk lingkungan *flow manufacturing,* perlu dikembangkan *flow control capacity planning* yang memberikan kemudahan penjadwalan untuk *flow production* karena proses dibuat seimbang, produksi dibuat stabil, dan aliran material dibuat mulus atau lancar.

Terdapat beberapa perbedaan mendasar antara *job shop scheduling* dan *flow control scheduling,* antara lain:

1. *Detailed operation-by-operation scheduling* tidak diperlukan dalam *flow control production.*
2. Waktu tunggu dalam *flow control production* adalah stabil dan lebih pendek, sehingga *operation schedule date* tidak diperlukan.
3. Waktu antri dan bergerak telah dihilangkan atau diminimumkan dalam *flow production.*
4. Tingkat produksi dalam *flow production* telah disesuaikan terhadap permintaan total.
5. Aliran dari material pendukung dalam *flow production* adalah konsisten dan dapat diandalkan.
6. *Dispaching* tidak diperlukan dalam *flow production,* karena *parts* dikerjakan sesuai dengan urutankebutuhan atau kedatangan.

Flow control capacity planning bertujuan memberikan jaminan terhadap tercapainya *input rates*, membuat kuantitas produksi menjadi linear, menemukan masalah-masalah dan menyelesaikan secara tepat, merencanakan perubahan-perubahan *flow rate* secara keseluruhan dan melaksanakan perubahan-perubahan itu dengan baik.

- **Pemilihan Teknik Penjadwalan Yang Tepat**

Teknik penjadwalan seharusnya dipilih agar sesuai dengan lingkungan manufakturing, antara lain:

1. Untuk *job shop manufakturing with complex routings,* gunakan *detailed backward scheduling, dispaching system to sequence work.*
2. Untuk *make-to-order and assemble-to-order manufakturing,* gunakan *forward scheduling* untuk membuat janji penyelesaian pesanan kepada pelanggan.
3. Untuk *flow production,* gunakan sistem signal seperti *kanban* dan *flow control.* Dengan volume yang cukup dan permintaan yang konsisten, *mixed-model scheduling* dan *rate base scheduling* dapat digunakan.
4. Untuk *custom-built products and special projects,* gunakan CPM, PERT, atau *network planning and control techniques* yang lain.

2.13.4. Dispatching System

Dispatch list dapat diciptakan untuk *job shop manufakturing,* guna menunjukkan sekuens dari kerja yang akan dilakukan oleh setiap pusat kerja. *Dispatch list* adalah dokumen kerja yang biasanya direvisi setiap hari atau untuk setiap *shift*.

Beberapa pertimbangan yang perlu mendapat perhatian dalam *dispatching system,* adalah:

1. Supervisor mungkin merasa bahwa mereka akan kehilangan kontrol dari departemen mereka.
2. Masalah-masalah sering muncul karena beberapa faktor penting.
3. Ada kemungkinan untuk tidak mengikuti peraturan secara ketat karena terjadi kekurangan material atau masalah-masalah yang berkaitan dengan peralatan.
4. Peraturan yang baik akan memberikan keseimbangan disiplin jadwal dengan fleksibilitas operasional. Perlu mempertimbangkan hal-hal berikut:
   - Menyelesaikan pesanan-pesanan yang terlambat, sebelum memulai mengerjakan pesanan-pesanan yang lain.
   - Jika tidak terdapat keterlambatan, lakukan pengelompokan pesanan guna mengurangi waktu *setup*.

- Mengidentifikasi masalah untuk diperhatikan oleh bagian penjadwalan produksi.
- Melatih tenaga kerja sesuai dengan kebutuhan, agar tetap konsisten dan menjadi lebih terampil dalam melaksanakan tugas dan tanggung jawab.
- Menyelesaikan masalah dan mendefinisikan aturan-aturan prioritas, serta menjamin kesesuaian dari aturan-aturan itu.
- Menghilangkan prioritas-prioritas informal.
- Memasukkan kebutuhan prioritas kedalam sistem formal.

2.14. Metode Yang Digunakan

Pengolahan data yang dilakukan pada Bab 4 menggunakan aturan prioritas (priority dispathing rules) dengan menggunakan 5 (lima) metode yaitu:

1. *Shortest Processing Time (SPT)*
2. *Longest Processing Time (LPT)*
3. *Earliest Due Date (EDD)*
4. *Earliest Due Date With Hodgson Algoritm*
5. *Weight Shortest Processing Time (WSPT)*

2.14.1. Shortest Processing Time (SPT)

Pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu, penjadwalan ditujukan untuk meminimalkan rata-rata keterlambatan yang mungkin terjadi. Aturan ini dapat meminimalkan rata-rata kelambatan.

Langkah penjadwalan dengan pendekatan SPT, adalah:

- Urutkan pekerjaan berdasarkan waktu proses terkecil
- Hitung waktu penyelesaian pekerjaan tersebut (*completion time*), yaitu total proses sebelum pekerjaan ditambah dengan waktu proses pekerjaan itu sendiri.
- Hitung kelambatan masing-masing pekerjaan.
- Hitung rata-rata kelambatan.

2.14.2. Longest Processing Time (LPT)

Proses pengerjaan job pada *Longest Processing Time*, adalah tugas-tugas yang mempunyai waktu proses terpanjang dipilih terlebih dahulu. Adapun langkah penjadwalannya adalah:

- Urutkan n pekerjaan berdasarkan waktu proses terpanjang.
- Buat penjadwalan sesuai hasil LPT, berurutan pada masing-masing mesin.
- Sesudah selesai dijadwalkan, bentuk penjadwalan akhir pada masing-masing prosesor dengan aturan SPT.

2.14.3. Earliest Due Date (EDD)

Proses pengerjaan job pada *Earliest Due Date,* dilakukan dengan mengerjakan job dengan *due date* yang paling awal (kecil) dijadwalkan pada urutan yang pertama. Adapun langkah penjadwalannya adalah:

- Urutkan pekerjaan berdasarkan EDD (Earliest Due Date) atau batas waktu terawal/pendek.
- Terapkan hasil EDD pada masing-masing prosesor secara berurutan.

2.14.4. Earliest Due Date With Hodgson Algoritm

Aturan Algoritma Hodgson membantu untuk mencari jumlah minimal pekerjaan yang terlambat pada operasi dengan satu prosesor.

Prosedurnya: (*Algoritma Hodgson*)

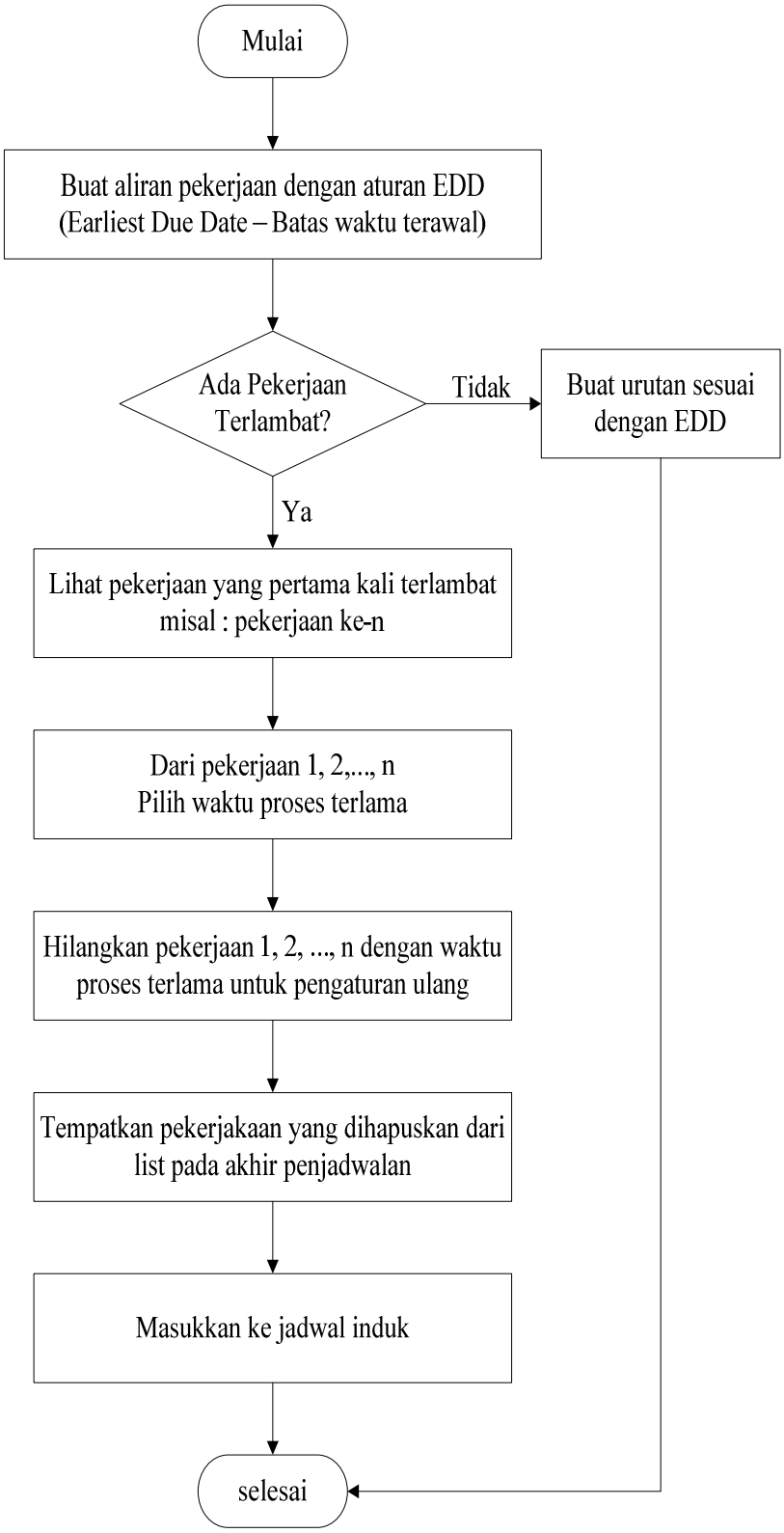
- Bertujuan untuk mengurangi jumlah job yang terlambat.

  Tahap I : Urutkan *job* berdasarkan EDD, nyatakan sebagai set *job* E.

  Tahap II : Jika tidak ada *job* yang terlambat pada E, penjadwalan tersebut sudah optimal, jika tidak, *job* yang pertama terlambat, nyatakan sebagai *job* ke k.

  Tahap III : Pilih *job* yang memiliki processing time yang terpanjang diantara k *job* dan pindahkan *job* tersebut ke set T, sesuailan waktu penyelesaian untuk semua *job*, kembali ke tahap II.

- Diagram dari *Algoritma Hodgson* digambarkan berikut ini:



Gambar 2.6. Diagram *Algoritma Hodgson.*

2.14.5. Weight Shortest Processing Time (WSPT)

- Bertujuan untuk meminimalkan rata-rata kelambatan pada satu prosessor.
- Pendekatan WSPT digunakan karena mungkin saja terjadi masing-masing pekerjaan mempunyai arti penting yang berbeda. (misalnya dengan nilai *penalti* yang berbeda), sehingga digunakan pembobotan pada masing-masing pekerjaan untuk membantu penjadwalannya.
- Langkah penjadwalan dengan pendekatan WSPT:
  1. Beri bobot pada masing-masing pekerjaan (W_i)
  2. Hitung nilai $\frac{t_i}{W_i}$
  3. Urutkan pekerjaan berdasarkan nilai no.2 mulai dari yang terkecil ke nilai terbesar.
  4. Hitung waktu alir rata-rata pembobotan.

2.14.6. Rumus-rumus Yang Digunakan

- Untuk menghitung nilai *Completion Time (C_i), Flow Time (f_i), Lateness (Li)*
  - *Completion Time (C_i)*, merupakan rentang waktu antara saat pekerjaan dimulai (t=0) sampai dengan pekerjaan itu selesai. Dirumuskan dengan :

    $$C_i \text{ merupakan komulatif dari } t_i$$

  - *Flow Time (f_i),* merupakan rentang waktu antara saat pekerjaan tersedia (dapat dimulai) dan saat pekerjaan selesai. Waktu alir sama dengan waktu proses ditambah waktu tunggu sebelum pekerjaan diproses. Dirumuskan dengan :

    $$Flow\ Time\ (f_i) = C_i - R_i$$

  - *Lateness (Li),* adalah perbedaan antara *completion time* dengan *due date*, sehingga bisa (+) atau (-).

    $L_i = c_i - d_i < 0\ (negatif)$: saat penyelesaian memenuhi batas.

    $L_i = c_i - d_i > 0\ (positif)$: saat penyelesaian melampaui batas (*tardy job*).

- Untuk menghitung/mengukur efektivitas dari metode yang digunakan.

$$Average\ Completion\ Time = \frac{Sum\ of\ Total\ Flow\ Time}{Number\ of\ Jobs}$$

$$Utilization = \frac{Total\ Job\ Work}{Sum\ of\ Total\ Flow\ Time}$$

$$Average\ Number\ of\ Jobs\ in\ the\ System = \frac{Sum\ Of\ Total\ Flow\ Time}{Total\ Job\ Work}$$

$$Average\ Job\ Lateness = \frac{Total\ Late\ Days}{Number\ of\ Jobs}$$