

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Dalam penelitian ini diperlukan teori – teori dan referensi yang berhubungan dengan permasalahan sehingga dapat mendukung dalam menganalisis dan mengolah data dalam penelitian yang akan dilaksanakan. Teori pengukuran waktu (*time study*), penilaian *performance* kerja, penetapan kelonggaran (*allowance*) dibutuhkan untuk menentukan waktu standar pekerjaan yang ada. Selain itu juga dibahas tentang teori penjadwalan produksi dengan metode *simulated annealing* untuk menentukan urutan – urutan job yang akan dikerjakan.

### 2.1 PENELITIAN TERDAHULU

Berikut merupakan beberapa penelitian yang menjadi referensi dari penelitian ini.

1. Damanik (2011). Dalam penelitian ini disajikan konsep pengurutan *job* aktual di perusahaan berdasarkan data waktu proses di 12 stasiun kerja dengan metode *stopwath time study*. Perhitungan *makespan* aktual didasarkan atas metode *Least Slack Time*. Kemudian akan dibangun sebuah simulasi model untuk mendapatkan urutan *job* usulan dengan metode *Simulated Annealing* (SA) untuk mendapatkan *makespan* terkecil. Solusi pemecahan masalah diperoleh berdasarkan kombinasi urutan *job* yang dilakukan secara *random* sebanyak 30 iterasi setiap penurunan temperature sampai mencapai *steady state*, dimana tidak ada lagi solusi yang diterima. Kondisi *steady state* terjadi pada temperature 180,5 dimana tidak lagi didapatkan *makespan* yang lebih kecil dari *makespan* sebelumnya. Nilai *makespan* terkecil terjadi pada urutan *job* Napoleon 6P - Carolina 6P - Colonial 6P – Colonial 8P – Colonial 4P. Dan dari hasil penelitian ini didapatkan bahwa hasil penjadwalan usulan dengan metode SA mendapatkan hasil yang lebih baik daripada penjadwalan aktual.
2. Wahid (2013). Dalam penelitian ini menggunakan metode *Earlest Due Date* sebagai jadwal inisial dan perbaikan solusi inisial dengan metode SA. Pada jadwal yang dibuat perusahaan didapati bahwa cukup banyak order yang selesai diproduksi lebih awal (terjadi *earliness*) dari pada *due date*-nya. Hal ini berdampak pada banyaknya pipa yang ditumpuk di gudang bahkan hingga ke dalam parkir di perusahaan. Untuk jadwal pengerjaan order yang dibuat perusahaan mendapat total *earliness* hingga 169, 48 hari. Oleh karena hal tersebut dilakukan penelitian yang

mana tujuan utamanya adalah meminimasi total *earliness*. Hasil penelitian menunjukkan bahwa total *earliness* dengan metode SA adalah yang paling minimum yaitu 31,17 hari. Hasil ini diyakini dapat mengurangi permasalahan di perusahaan dimana barang jadi (pipa) menumpuk di gudang dan area parkir.

- Ginting (2013). Pada perusahaan yang berbasis *job order*, PT X yang bergerak dalam bidang pengolahan karet (*crumb rubber*) dari bahan baku koagulum lateks. Perusahaan selalu menyetujui pesanan tanpa meninjau sumber daya yang tersedia sehingga kadang menimbulkan kegagalan dalam memenuhi pesanan sesuai dengan batas waktu. Untuk mengatasi masalah ini, diperlukan perencanaan penjadwalan terhadap *order* yang datang guna meminimalkan waktu penyelesaian produk. Aturan *sequencing* dalam penjadwalan produksi yang digunakan adalah *First Come First Served* (FCFS) sedangkan penjadwalan produksi yang digunakan adalah algoritma *Simulated Annealing* (SA) yang bertujuan memberikan solusi optimum terhadap *order*. Dari hasil penelitian, diperoleh bahwa *makespan* yang dihasilkan pada metode FCFS dan algoritma SA untuk produk karet remah masing – masing adalah 635,82 dan 635,59.

**Tabel 2.1** Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Saat Ini

| Peneliti (Tahun) | Objek Penelitian           | Metode   | Hasil  |
|------------------|----------------------------|--|--|
| Damanik (2011)   | PT. Mahogany Lestari Medan | Metode <i>Least Slack Time</i> dan algoritma <i>Simulated Annealing</i>  | Dengan penjadwalan usulan dapat menghasilkan total <i>makespan</i> sebesar 27.940,273 menit atau dibulatkan 20 hari tepat sesuai dengan batas waktu pengerjaannya. Hal ini lebih baik daripada menggunakan metode penjadwalan inisial yang diterapkan di PT. Mahogany Lestari yang menghasilkan total <i>makespan</i> hingga 32.460,656 menit atau dibulatkan menjadi 23 hari yang berarti perusahaan terlambat 3 hari dari 20 hari standar <i>due date</i> dari <i>customer</i> . |
| Wahid (2013)     | PT. ABC                    | Metode <i>Earliest Due Date</i> dan algoritma <i>Simulated Annealing</i> | Dengan penerapan metode <i>Simulated Annealing</i> perusahaan menyelesaikan <i>job</i> yang ada dengan menghasilkan total <i>earliness</i> sebesar 31,17 hari. Hal ini jauh lebih baik dari pada penjadwalan yang dilakukan perusahaan yang menghasilkan total <i>earliness</i> hingga mencapai 169,48 hari. Sehingga metode berhasil mencapai penurunan waktu <i>earliness</i> sebesar 81,61 %  |

Tabel 2.1 Perbandingan Penelitian Terdahulu Dengan Penelitian Saat Ini (lanjutan)

| Peneliti (Tahun) | Objek Penelitian | Metode  | Hasil   |
|------------------|------------------|---|---|
| Ginting (2013)   | PT X             | Algoritma <i>First Come First Served</i> dan algoritma <i>Simulated Annealing</i> | Penjadwalan produksi dengan algoritma <i>Simulated Annealing</i> dalam pengambilan keputusan meminimumkan waktu penyelesaian beserta dengan urutan jadwal order. Dari hasil perhitungan menggunakan metode penjadwalan yaitu <i>First Come First Served</i> dan <i>Simulated Annealing</i> didapatkan nilai <i>makespan</i> terkecil berasal dari metode <i>Simulated Annealing</i> yaitu sebesar 635,59 jam. |
| Penelitian ini   | PT. Gatra Mapan  | Metode <i>Shortest Processing Time</i> dan algoritma <i>Simulated Annealing</i>   | Memberikan rekomendasi bagi perusahaan dalam penentuan penjadwalan produksi untuk meminimasi <i>makespan</i>  |

## 2.2 PENGUKURAN KERJA (*WORK MEASUREMENT*)

Menurut Wignjosoebroto (2003) untuk menghitung waktu baku (*standard time*) penyelesaian pekerjaan guna memilih alternatif metoda kerja yang terbaik, maka diterapkan prinsip – prinsip dan teknik – teknik pengukuran kerja. Pengukuran kerja ini akan berhubungan dengan usaha – usaha untuk menetapkan waktu baku yang dibutuhkan guna menyelesaikan suatu pekerjaan. Secara singkat pengukuran kerja adalah metoda penetapan keseimbangan antara kegiatan manusia yang dikontribusikan dengan unit output yang dihasilkan. Waktu baku ini sangat diperlukan terutama sekali untuk :

- *Man power planning* (perencanaan kebutuhan tenaga kerja).
- Estimasi biaya – biaya untuk upah karyawan atau pekerja.
- Penjadwalan produksi atau penganggaran.
- Perencanaan sistem pemberian bonus dan insentif bagi karyawan atau pekerja yang berprestasi.
- Indikasi keluaran (*output*) yang mampu dihasilkan oleh seorang pekerja.

Pada garis besarnya teknik – teknik pengukuran waktu kerja ini dapat dibagi atau dikelompokkan ke dalam dua bagian, yaitu pengukuran waktu kerja secara langsung dan pengukuran kerja secara tidak langsung. Cara pertama disebut demikian karena pengukurannya dilaksanakan secara langsung yaitu di tempat dimana pekerjaan yang diukur dijalankan. Dua cara termasuk didalamnya adalah cara pengukuran kerja dengan menggunakan jam henti (*stopwatch time-study*) dan sampling kerja (*work sampling*).

Sebaliknya cara tidak langsung melakukan perhitungan waktu kerja tanpa si pengamat harus di tempat pekerjaan yang diukur. Disini aktivitas yang dilakukan hanya melakukan perhitungan waktu kerja dengan membaca tabel – tabel waktu yang tersedia asalkan mengetahui jalannya pekerjaan melalui elemen – elemen pekerjaan atau elemen – elemen gerakan. Cara ini bisa dilakukan dalam aktivitas data waktu baku (standard data) dan data waktu gerakan (*predetermined time system*).

### 2.2.1 *Stopwacth Time Study*

*Stopwatch time study* merupakan teknik pengukuran kerja dengan menggunakan *stopwatch* sebagai alat pengukur waktu yang ditunjukkan dalam penyelesaian suatu aktifitas yang diamati. Pengukuran waktu kerja dengan jam henti (*stopwatch time study*) diperkenalkan pertama kali oleh Frederick W. Taylor sekitar abad 19 yang lalu. Metode ini baik diaplikasikan untuk pekerjaan yang berlangsung singkat dan berulang-ulang. Dari hasil pengukuran akan diperoleh waktu standar untuk menyelesaikan suatu pekerjaan, yang mana waktu ini akan dipergunakan sebagai standar penyelesaian pekerjaan bagi semua pekerja yang akan melaksanakan pekerjaan yang sama seperti itu. (Wignjosobroto, 2003).

Terdapat tiga metode jam henti yang digunakan untuk mengukur elemen kerja (Wignjosobroto, 2003):

1. *Continuous Timing*

Pada metode ini *stopwatch* dijalankan terus menerus selama pengamatan. *Stopwatch* baru akan dihentikan pada saat pengamatan selesai dilakukan dan pada akhir pengamatan waktu yang telah didapat dicatat. Selain itu untuk mendapatkan masing – masing waktu individu maka perlu dilakukan proses pengurangan.

2. *Repetitive Timing*

Untuk metode ini cara menggunakan *stopwatch*, *stopwacth* dibaca secara simultan dan angka pada *stopwacth* dikembalikan ke angka nol setelah setiap proses selesai. Metode ini dapat dilakukan pencatatan langsung tanpa perlu mengurangi waktu.

3. *Accumulative Timing*

Pada metode ini cara menggunakan *stopwatch* melibatkan dua atau lebih *stopwatch*, hal ini dikarenakan metode yang digunakan yaitu ketika *stopwatch* yang pertama berhenti kemudian *stopwacth* yang kedua mulai dijalankan dan ketika *stopwatch* yang kedua mulai berhenti maka *stopwatch* yang ketiga dijalankan.

### 2.2.2 Uji Keseragaman Data

Menurut Wignjosoebroto (2003) sebelum menggunakan data yang diperoleh untuk menetapkan waktu standard uji keseragaman data perlu dilakukan terlebih dahulu. Uji keseragaman data dilaksanakan dengan menggunakan peta kontrol. Dari peta kontrol diidentifikasi data yang terlalu besar / kecil dan jauh menyimpang dari trend rata – ratanya. Data tersebut dibuang dan tidak dimasukkan dalam perhitungan selanjutnya. Data tersebut bisa saja terjadi karena kesalahan pengamat dalam membaca *stopwatch*, kesalahan dalam penulisan atau terjadi kondisi kerja yang tidak wajar dan mengakibatkan data yang terlalu besar atau terlalu kecil. Untuk membuat peta control dibutuhkan batas control yang dapat dicari dengan rumus sebagai berikut :

$$\text{BKA} = X + 2 \text{ SD} \quad (2-1)$$

$$\text{BKB} = X - 2 \text{ SD} \quad (2-2)$$

Ket : BKA = Batas kontrol atas

BKB = Batas kontrol bawah

X = Rata – rata

SD = Standard deviasi

Rumus untuk standard deviasi dapat dicari dengan :

$$SD = \frac{\sqrt{\sum(Xi - X \text{ rata-rata})^2}}{N-1} \quad (2-3)$$

Ket : Xi = Data waktu pengamatan

N = Jumlah pengamatan

### 2.2.3 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data merupakan pengujian dari data yang telah didapatkan sebelumnya untuk mengetahui berapa jumlah data pengamatan yang sebaiknya digunakan. Menurut Wignjosoebroto (2003) untuk menetapkan jumlah observasi yang seharusnya dibuat ( $N'$ ) maka harus ditetapkan terlebih dahulu berapa tingkat kepercayaan (*convidence level*) dan derajat ketelitian (*degree of accuracy*). Tingkat kepercayaan menunjukkan besarnya keyakinan pengukur bahwa hasil yang diperoleh memenuhi syarat ketelitian dan bisanya dinyatakan dalam bentuk persen. Sedangkan derajat ketelitian adalah penyimpangan maksimal hasil pengukuran dari waktu sebenarnya dan biasanya dinyatakan dalam bentuk persen. Dalam aktivitas pengukuran kerja biasanya akan diambil 95% *convidence level* dan 5% *degree of accuracy*. Hal ini berarti terdapat sekurang – kurangnya 95 dari 100 harga rata – rata dari waktu yang

dicatat / di ukur untuk suatu elemen kerja akan memiliki penyimpangan tidak lebih dari 5%. Untuk menentukan jumlah pengamatan dapat dihitung menggunakan rumus :

$$N' = \left[ \frac{k/s\sqrt{N(\sum x_i^2) - (\sum x_i)^2}}{\sum x_i} \right]^2 \quad (2-4)$$

Ket :  $N'$  = Jumlah data pengamatan yang harus dikumpulkan.

$K$  = Tingkat keyakinan (*confidence level*).

$S$  = Derajat ketelitian.

$N$  = Jumlah data pengamatan yang telah dikumpulkan sebelumnya.

$\sum X_i$  = Jumlah waktu siklus.

## 2.2.4 Beberapa Kategori Waktu

### 1. Waktu Pengamatan

Waktu pengamatan merupakan waktu yang diperoleh dari hasil pengamatan dan pengukuran waktu yang diperlukan oleh pekerja untuk menyelesaikan sebuah pekerjaan. Untuk menghitung waktu pengamatan menggunakan rumus :

$$\text{Waktu pengamatan rata - rata} = \frac{\sum X_i}{N} \quad (2-5)$$

$\sum X_i$  = Jumlah waktu pengamatan

$N$  = Jumlah pengamatan

### 2. Waktu Normal

Waktu normal adalah waktu yang menunjukkan bahwa seorang operator yang berkualifikasi baik bekerja menyelesaikan pekerjaannya pada kecepatan kerja yang normal. Waktu normal tidak termasuk waktu longgar, karena pada prakteknya operator tersebut tidak akan bekerja secara terus – menerus tanpa adanya interupsi sama sekali. Untuk menghitung waktu normal menggunakan rumus (Wignjosoebroto, 2003):

$$\text{Waktu Normal (WN)} = \text{Waktu Pengamatan} \times \frac{\text{rating factor (\%)}}{100\%} \quad (2-6)$$

### 3. Waktu Baku (*Standard Time*)

Waktu yang dibutuhkan secara wajar oleh pekerja normal untuk menyelesaikan pekerjaannya yang dikerjakan dalam sistem kerja terbaik saat itu. Waktu standar merupakan waktu kerja dengan mempertimbangkan faktor penyesuaian dan faktor kelonggaran (*allowance*). Untuk menghitung waktu normal menggunakan rumus (Wignjosoebroto, 2003):

$$\text{Waktu Baku} = \text{Waktu Normal} \times \frac{100\%}{100\% - \% \text{ Allowance}} \quad (2-7)$$

### 2.2.5 Performance Rating

Pengukur harus mengamati kewajaran kerja yang ditunjukkan oleh operator. Ketidakwaaran pada operator dapat terjadi misalnya karena operator bekerja tanpa kesungguhan, sangat cepat seolah – olah diburu waktu atau karena menemukan kesulitan dalam pengerjaan seperti karena kondisi ruangan yang buruk (Sutalaksana, 1979). Penyebab seperti tersebut diatas mempengaruhi kecepatan kerja yang mengakibatkan terlalu cepat atau terlalu lamanya waktu penyelesaian. Hal tersebut dihindari karena waktu baku yang dicari adalah waktu yang diperoleh dari kondisi dan cara kerja yang mendukung seorang bekerja menyelesaikan suatu pekerjaan.

### 2.2.6 Faktor Kelonggaran (*Allowance*)

Kelonggaran diberikan untuk tiga hal yaitu kebutuhan pribadi, menghilangkan rasa *fatigue* dan hambatan – hambatan yang tidak dapat dihindarkan (Sutalaksana, 1979). Pengukuran kelonggaran perlu dimasukkan, karena pada kondisi sebenarnya operator membutuhkan hal – hal yang termasuk dalam kelonggaran dan hal – hal tersebut tidak dapat dihindarkan sepenuhnya.

#### a. Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi

Kelonggaran yang termasuk dalam kebutuhan pribadi antara lain adalah kebutuhan minum untuk menghilangkan rasa haus, ke kamar kecil, bertanya ke atasan untuk mendapatkan informasi kerja. Kebutuhan – kebutuhan tersebut mutlak dibutuhkan tetapi bisa diminimalkan frekuensinya. Besarnya kelonggaran berbeda – beda bagi pria dan wanita. Untuk pria dalam kondisi kerja normal membutuhkan 2% – 2.5%, sedangkan wanita dalam kondisi kerja normal membutuhkan 5%.

#### b. Kelonggaran untuk menghilangkan rasa *fatigue*

Kelelahan yang dialami operator timbul karena operator tersebut melakukan aktivitas di luar batas kesanggupannya. Ketika operator mengalami kelelahan, hal tersebut tercermin dari hasil produksi yang menurun baik dari segi kualitas maupun kuantitas.

#### c. Kelonggaran untuk hambatan – hambatan yang tak terhindarkan.

Beberapa contoh yang termasuk ke dalam hambatan yang tidak terhindarkan:

- Menerima atau meminta petunjuk kepada pengawas.
- Melakukan penyesuaian – penyesuaian mesin.
- Memperbaiki kemacetan singkat seperti mengganti alat pemotong yang patah dan mesin berhenti karena padamnya aliran listrik.

### 2.3 PENJADWALAN

Penjadwalan menurut Conway adalah pengurutan pembuatan produk secara menyeluruh yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Menurut Kenneth R. Barker, penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasikan sumber daya untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu.

Penjadwalan selalu mengaitkan proses pengerjaan beberapa komponen yang disebut *job*. *Job* sendiri terdiri dari beberapa elemen yang disebut aktivitas atau operasi. Dalam setiap aktivitas atau operasi memerlukan alokasi sumber daya tertentu selama periode waktu tertentu yang disebut dengan waktu proses. Elemen – elemen seperti mesin, transportasi, waktu tunggu dan lain – lain juga termasuk beberapa sumber daya yang dibutuhkan.

Dari penjelasan di atas dapat disimpulkan elemen penting yang terdapat dalam proses penjadwalan yaitu urutan *job* yang memberikan solusi optimal dan pengalokasian sumber daya. Karakteristik sumber daya yang dibicarakan adalah kapasitas kualitatif dan kuantitatif, yakni jenis apa dan jumlah berapa sumber daya, waktu proses, waktu mulai dan waktu berakhirnya proses. Masalah penjadwalan sebenarnya murni masalah dalam pengalokasian dan dengan bantuan model matematis akan dapat ditentukan solusi optimal. Model – model penjadwalan akan memberikan rumusan masalah yang sistematis berikut dengan solusi yang diharapkan.

#### 2.3.1 Terminologi Penjadwalan

Terminologi atau istilah – istilah yang ditemukan dalam penjadwalan dapat diuraikan menurut Ginting (2009) sebagai berikut:

1. *Processing time* ( $t_i$ ), merupakan waktu penyelesaian untuk satu proses pekerjaan. Waktu untuk mempersiapkan mesin atau *set-up time* sudah termasuk di dalam *processing time*.
2. *Due date* ( $d_i$ ), merupakan batas waktu maksimal yang dapat diterima untuk menyelesaikan pekerjaan sampai pada operasi yang terakhir. Jika pekerjaan selesai melebihi batas waktu tersebut, maka pekerjaan tersebut ditetapkan terlambat.

3. *Slack* ( $SL_i$ ), merupakan waktu yang ada dimana jika suatu pekerjaan selesai lebih cepat dari pada batas waktu yang telah ditentukan. *Slack* dapat dihitung dengan rumus  $Sli = di - ti$ .
4. *Flow time* ( $F_i$ ), merupakan rentang waktu ketika suatu pekerjaan telah siap untuk diproses sampai pekerjaan tersebut selesai. *Flow time* sama dengan waktu proses yang ditambahkan dengan waktu tunggu sebelum pekerjaan tersebut dikerjakan.
5. *Completion time* ( $C_i$ ), merupakan waktu untuk menyelesaikan pekerjaan dari awal dimulainya pekerjaan sampai pekerjaan tersebut selesai.
6. *Lateness* ( $L_i$ ), merupakan selisih antara waktu penyelesaian suatu pekerjaan dengan batas waktu yang telah ditentukan sebelumnya. *Lateness* yang bernilai positif adalah *tardiness*, sedangkan yang bernilai negatif adalah *earliness*.
7. *Tardiness* ( $T_i$ ), merupakan suatu kondisi dimana pekerjaan baru selesai dikerjakan ketika batas waktu pekerjaan tersebut sudah terlewati
8. *Makespan* ( $M$ ), merupakan waktu penyelesaian semua pekerjaan dimulai dari pekerjaan pertama pada proses pertama sampai dengan pekerjaan terakhir pada proses terakhir.

### 2.3.2 Tujuan Penjadwalan

Menurut Bedworth (1987), mengidentifikasi beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan, antara lain:

1. Meningkatkan penggunaan sumberdaya atau mengurangi waktu tunggu sehingga total waktu proses dapat berkurang dan produktivitas dapat meningkat.
2. Mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumberdaya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain.
3. Mengurangi beberapa keterlambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi *penalty cost* (biaya keterlambatan).
4. Membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan.

### 2.3.3 Jenis – Jenis Model Penjadwalan

Penjadwalan dilaksanakan ketika terdapat keterbatasan sumber daya agar sumber daya tersebut dapat diatur secara efisien. Beberapa model penjadwalan menurut Baker (1974) yaitu:

1. Mesin yang digunakan dalam proses
  - a. Penjadwalan mesin tunggal, merupakan model pengurutan pekerjaan dimana pekerjaan yang akan diurutkan yang hendak diurutkan sedang menunggu untuk diproses pada sebuah mesin tunggal.
  - b. Penjadwalan mesin majemuk, dimana beberapa pekerjaan akan diproses pada beberapa mesin baik seri, paralel maupun kombinasinya.
2. Pola aliran proses
  - a. Penjadwalan *flowshop*, jika pekerjaan – pekerjaan yang akan diproses seluruhnya memiliki proses pada arah / jalur produk yang sama.
  - b. Penjadwalan *jobshop*, jika setiap pekerjaan memiliki aliran proses yang berbeda.
3. Pola kedatangan *job*
  - a. Penjadwalan *statis*, jika kedatangan pekerjaan yang akan diurutkan pada satu mesin datang bersamaan dan siap dikerjakan pada mesin yang menganggur.
  - b. Penjadwalan *dinamis*, jika kedatangan pekerjaan tidak menentu.
4. Karakteristik informasi
  - a. *Deterministik*, jika informasi yang diterima bersifat pasti.
  - b. *Stokastik*, jika informasi yang diterima mengandung unsur ketidakpastian.

### 2.3.4 Kriteria Penjadwalan

Beberapa kriteria yang menjadi tujuan dan evaluasi dalam penjadwalan mesin yaitu:

1. Meminimasi waktu penyelesaian rata – rata (*mean flow time*)
2. Meminimasi *mean lateness*
3. Minimasi *mean tardiness*
4. Minimasi *tardiness*
5. Minimasi waktu keseluruhan penyelesaian *job* yang ada (*maximum flow time*)
6. Minimasi jumlah *job* yang terlambat (*number of tardy job*)
7. Maksimasi utilitas rata – rata mesin.

## 2.4 PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN METODE *SHORTEST PROCESSING TIME* (SPT)

Menurut Ginting (2009) *shortest processing time* (SPT) adalah penjadwalan *job* dengan memproses terlebih dahulu *job* yang memiliki waktu proses terpendek, demikian berlanjut untuk *job* yang waktu prosesnya terpendek kedua. Aturan ini akan lebih mementingkan pekerjaan-pekerjaan dengan waktu yang lebih singkat, walaupun pekerjaan tersebut muncul belakangan. Berikut ini merupakan merupakan algoritma heuristik dengan pendekatan *Shortest Processing Time* (SPT) (Baker & Trietsch, 2009):

1. Dimulai dengan urutan *job* yang tidak mengacu pada aturan SPT.
2. Alokasi dua pekerjaan sebagai *job i* dan *j*, dimana *i* mengikuti *j* dengan syarat  $p_i < p_j$ .
3. Ubah urutan antara *job i* dan *j*.
4. Kembali ke langkah ke-2, sampai urutan SPT terbentuk.

Aturan SPT ini berguna untuk meminimasi waktu alir rata-rata (*mean flow time*) dan meminimasi kelambatan rata-rata (*mean lateness*) pada suatu proses yang harus mengerjakan sekumpulan pekerjaan. Meminimasi keterlambatan rata-rata (*mean lateness*) sehingga mengakibatkan minimasi waktu menunggu rata-rata (*mean waiting time*), rata-rata jumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian (*mean task waiting in the queue*) dan meminimasi persediaan barang setengah jadi (*in-process inventory*). Sehingga proses produksi berjalan lebih optimal dan mendapatkan *makespan* yang lebih kecil.

Pada aturan SPT ini tidak memperdulikan *due date* maupun kedatangan *order* baru. Hal tersebut juga menyebabkan metode tersebut cocok untuk digunakan dalam penyelesaian masalah dalam penelitian ini. Karena dalam penelitian ini permasalahan tidak memperhitungkan *duedate*, tetapi lebih difokuskan untuk meminimasi *makespan*.

## 2.5 PENJADWALAN PRODUKSI DENGAN ALGORITMA *SIMULATED ANNEALING*

Menurut Santosa (2011) *simulated annealing* (SA) adalah algoritma yang meniru perilaku fisik proses pendinginan baja. Baja yang dipanaskan sampai suhu tertentu kemudian didinginkan secara perlahan. Ketika baja dipanaskan sampai suhu mendidih, atom – atom dalam baja tersebut bergerak bebas, dan ketika suhu dari baja menurun semakin terbatas gerakannya. Dengan menurunnya suhu, susunan atom – atom dari baja menjadi lebih teratur dan akhirnya membentuk kristal yang memiliki energi internal

yang minimum. Berbagai masalah optimasi yang telah menerapkan SA yaitu TSP, VRP, penjadwalan pekerjaan dan beberapa masalah lain.

Metoda *simulated annealing* menganalogikan pada proses pendinginan secara perlahan baja / metal yang mendidih ini untuk mencapai nilai minimum fungsi dalam permasalahan minimasi. Proses pendinginan ini ditiru dengan cara menentukan parameter yang serupa dengan suhu lalu mengontrolnya dengan konsep *distribusi probabilitas Boltzmann*. Distribusi probabilitas Boltzmann menyatakan bahwa energi ( $E$ ) dari suatu sistem dalam keseimbangan panas pada suhu  $T$  terdistribusi secara probabilistik mengikuti rumus:

$$P(E) = e^{-E/kT} \quad (2-8)$$

Dimana  $P(E)$  menyatakan peluang mencapai tingkat energi  $E$ ,  $T$  adalah suhu dan  $k$  konstanta Boltzmann. Dalam minimasi fungsi, misalkan solusi yang sekarang adalah  $x$  dan nilai fungsinya  $f(x)$ , mirip dengan status energi pada sistem termodinamika, energi  $E_i$  pada status  $x_i$  adalah:

$$E_i = f_i = f(x_i) \quad (2-9)$$

$E$  dalam permasalahan penjadwalan pekerjaan pada penelitian ini adalah *makespan*. Menurut Rajendran dalam Dewi (2013) *makespan* dapat dihitung dengan rumus:

$$Z = \max \{C_i, i = 1, 2, \dots, n\} \quad (2-10)$$

Sedangkan *completion time* dapat dihitung dengan rumus:

$$C_i = \sum_{j=1}^m P_j \quad (2-11)$$

Dimana  $Z$  merupakan *makespan*, dan  $C_i$  adalah *completion time* untuk *job i*. Sedangkan  $P_j$  adalah waktu proses *job i* pada proses ke  $j$ .

Menurut kriteria Metropolis, probabilitas titik selanjutnya adalah  $x_{i+1}$  bergantung pada perbedaan status energi atau fungsi tujuan di dua titik (status) diberikan oleh:

$$P[E_{i+1}] = \min \left\{ 1, e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \right\} \quad (2-12)$$

Titik baru bisa ditemukan dengan menggunakan distribusi probabilitas Boltzmann tersebut. Untuk faktor Boltzman,  $k$ , bisa diberi nilai 1. Jika  $\Delta E \leq 0$ , maka  $P[E_{i+1}] = 1$  sehingga titik  $x_{i+1}$  selalu diterima. Dengan menurunnya temperatur  $T$  probabilitas untuk menerima titik  $x_{i+1}$  yang lebih buruk dari titik sebelumnya akan mengecil. Sehingga jika temperatur semakin rendah (semakin dekat dengan titik optimal), peluang suatu solusi  $x_{i+1}$  dengan nilai  $f$  lebih besar dibanding pada titik  $x_i$  akan semakin kecil.

Menurut Santosa (2011) algoritma SA dapat dijelaskan secara ringkas sebagai berikut. Algoritma ini dimulai dengan suatu vektor solusi  $x_i$  (iterasi  $i = 1$ ) dan nilai temperatur  $T$  yang cukup tinggi. Bangkitkan vektor solusi baru secara random yang dekat dari titik sekarang dan hitung perbedaan nilai fungsi tujuannya:

$$\Delta E = E_{i+1} - E_i = \Delta f = f_{i+1} - f_i = f(x_{i+1}) - f(x_i) \quad (2-13)$$

Jika  $f_{i+1}$  lebih kecil dari  $f_i$  (dengan nilai  $\Delta f$  negatif), terima titik  $f_{i+1}$  sebagai titik solusi baru. Sebaliknya jika titik  $\Delta f$  positif, probabilitas menerima  $x_{i+1}$  sebagai solusi baru adalah  $e^{-\Delta f/kT}$ . Untuk menerima atau tidak, perlu dicari pembandingan terhadap nilai probabilitas ini. Kita perlu bangkitkan bilangan random antara (0,1). Jika nilai random yang dibangkitkan ini lebih kecil dari nilai  $e^{-\Delta f/kT}$ , terima titik  $x_{i+1}$ ; sebaliknya, tolak  $x_{i+1}$ . Jika titik  $x_{i+1}$  ditolak, maka dilanjutkan proses pembangkitan nilai baru  $x_{i+1}$  secara random dalam area yang berdekatan dengan titik sekarang  $x_i$  dalam batas – batas tertentu, lalu mengevaluasi nilai fungsi tujuan  $f_{i+1}$ , dan memutuskan untuk menerima  $x_{i+1}$ , sebagai titik baru, berdasarkan kriteria Metropolis seperti pada persamaan (2-12). Untuk mensimulasikan pencapaian equilibrium thermal pada setiap temperatur, sebanyak  $n$  titik baru  $x_{i+1}$  dievaluasi pada setiap titik temperatur tertentu  $T$ . Jika jumlah titik  $x_{i+1}$  yang diuji pada sembarang temperatur  $T$  melebihi nilai  $n$ , temperatur  $T$  dikurangi dengan proporsi tertentu yaitu  $c(0 < c < 1)$  dan seluruh proses diulang lagi. Prosedur ini diasumsikan akan mengalami konvergensi ketika nilai temperatur  $T$  yang dicapai cukup kecil atau jika perubahan nilai fungsi tujuan ( $\Delta f$ ) sudah sangat kecil. Gambar 2.1 menunjukkan langkah – langkah dari algoritma SA.

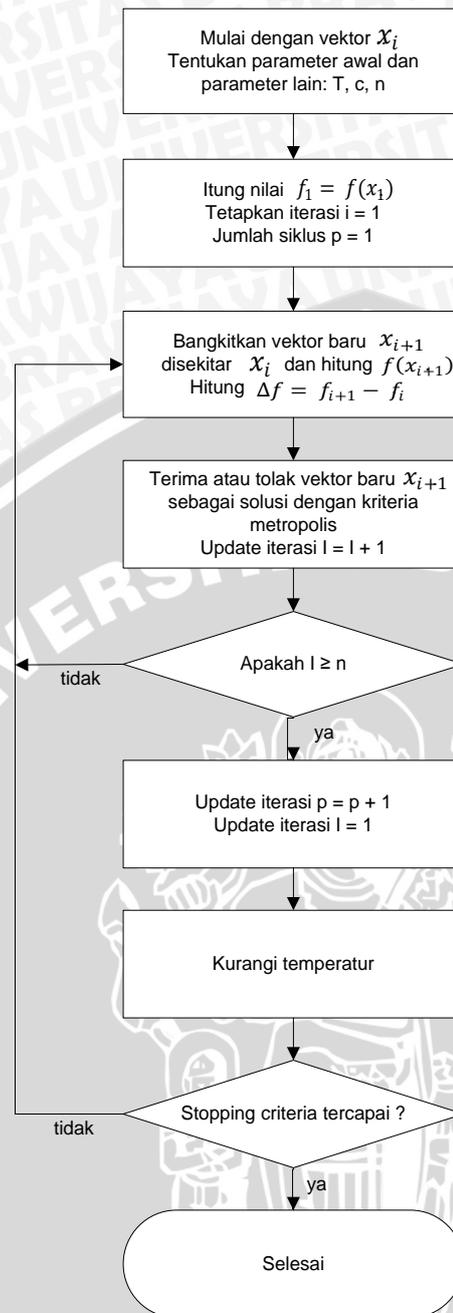
Parameter – parameter penting yang digunakan dalam pelaksanaan algoritma SA yaitu dalam pemilihan nilai awal temperatur  $T$ , dan faktor pereduksi temperatur  $c$ , jumlah iterasi  $n$  sebelum mengurangi temperatur. Jika dalam pemilihan nilai awal temperatur terlalu tinggi maka menyebabkan dibutuhkannya lebih banyak pengurangan temperatur untuk konvergen. Namun, jika terlalu kecil proses pencarian mungkin kurang sempurna sehingga ada kemungkinan titik – titik potensial yang bisa menjadi global optimum terlewat. Untuk faktor pengurangan temperatur  $c$ , jika terlalu besar (0.8 atau 0.9) akan membutuhkan terlalu banyak langkah komputasi untuk konvergen. Sebaliknya, jika terlalu kecil nilai  $c$  (0.1 atau 0.2) akan menyebabkan penurunan temperatur menjadi terlalu cepat sehingga akan banyak titik – titik berpotensi untuk menjadi solusi global terlewat.

Begitu juga ketika jumlah iterasi  $n$  terlalu besar, keseimbangan termal dapat dicapai pada setiap temperatur tetapi dengan tambahan jumlah komputasi. Namun jika terlalu kecil, maka bisa terjadi konvergensi terlalu cepat atau solusi yang dihasilkan cenderung lokal optimum. Sayangnya, untuk nilai  $T$ ,  $n$ , dan  $c$  tidak ada nilai yang sesuai untuk semua problem. Tetapi terdapat beberapa cara untuk mendapatkan nilai yang cukup baik. Nilai  $T$  bisa dipilih dari nilai rata – rata dari fungsi tujuan yang dihitung pada sejumlah solusi awal yang dipilih secara random. Jumlah iterasi  $n$  bisa dipilih berdasarkan akurasi yang diinginkan yaitu diantara 50 dan 100. Faktor pereduksi temperatur  $c$  bisa dipilih antara 0.4 dan 0.6 untuk strategi pengurangan temperatur yang masuk akal (*cooling schedule*).

Dalam SA, perlu diperhatikan adanya langkah khusus untuk keluar dari solusi lokal optimum. Langkah tersebut yaitu penerimaan suatu titik  $x_{i+1}$  dengan peluang  $e^{-\Delta f/kT}$  walaupun nilai fungsi pada titik ini tidak lebih baik dari titik sebelumnya  $x_i$ . Ini dilakukan dengan harapan pada langkah selanjutnya akan dicapai suatu titik dengan nilai fungsi yang lebih baik lagi. Langkah khusus ini merupakan pembeda SA dengan teknik optimasi konvensional yang biasanya tidak bisa keluar dari jebakan lokal optimum (*local search trap*).

Berikut merupakan flowchart dari algoritma *simulated annealing* yang terdapat dalam Gambar 2.1:

1. Dimulai dengan vektor  $x_i$  atau urutan awal. Kemudian menentukan parameter awal yaitu  $T$ ,  $c$  dan  $n$ .
2. Hitung nilai  $f_i$  atau energi dari vektor  $x_i$ . Tetapkan iterasi  $i = 1$  dan jumlah siklus  $p = 1$ .
3. Bangkitkan vektor baru  $x_{i+1}$  disekitar solusi lama atau  $x_i$ .
4. Hitung energy dari vektor baru  $f(x_{i+1})$
5. Hitung  $\Delta f = f_{i+1} - f_i$
6. Tentukan tolak atau terima vektor baru dengan kriteria metropolis.
7. Update iterasi menjadi  $i = i+1$
8. Apakah iterasi  $\geq n$  ? Jika iya maka lanjut ke langkah selanjutnya, jika tidak kembali ke langkah 3.
9. Update siklus  $p = p+1$  dan iterasi  $i = 1$
10. Kurangi temperature
11. Apakah *stopping criteria* tercapai? Jika maka selesai, jika tidak kembali ke langkah 3.



**Gambar 2.1** Flowchart Simulated Annealing  
Sumber: Santosa dan Willy (2011)