

PENERAPAN KEBIJAKAN PENJADWALAN ULANG  
PADA RUANG LINGKUP *SINGLE MACHINE* UNTUK MEMINIMASI TOTAL TARDINESS  
(Studi Kasus di PT. Indonesia Steel Tube Works)

Denny Nurkertamanda, Zaenal Fanani, Anna Kusuma Wardhani \*)

*Abstract*

*Customer satisfaction is the most important thing to be considered to keep the customer trust of a product or even of a company. Giving the satisfaction to the customer can be achieved by several ways and on time delivery product is one of them. It is true that some problems can often occur during that achievement and may hinder the on time delivery fulfillment. One of the major elements that hold the key role of on time delivery fulfillment is production scheduling. The implementation of appropriate production scheduling policy will determine the accomplishment of on time delivery fulfillment in some ways. This statement is also works for Indonesia Steel Tube Works Ltd., as a company that always cares about the customer satisfaction on quality and on time delivery. If we observe the production scheduling records of Indonesia Steel Tube Works Ltd. we can find some lateness problems that in some case happened in an extensive interval of tardiness. The company only runs the production scheduling based on the group of pipe diameter. This policy seems cannot well handle the rush orders that often emerge on every scheduling period and effect in tardiness problems. The company needs to consider the rescheduling policy with the aim of reducing the tardiness that often emerges because of the rush order disruption.*

*Key words: rescheduling policy, rush order, tardiness, production scheduling, lateness.*

## **Pendahuluan**

### Latar Belakang

Indonesia Steel Tube Works, Ltd. yang biasa pula disebut dengan singkatan PT. ISTW merupakan perusahaan penanaman modal asing (PMA) Jepang yang bergerak dibidang pembuatan pipa baja las. Mulai tahun 2006, PT. ISTW telah memiliki kapasitas produksi sebesar 6000 ton, namun dalam prakteknya kapasitas yang dapat digunakan secara optimal hanya 1500 ton per bulan, baik untuk mesin mill 1 maupun mill 2. Hal ini dikarenakan peningkatan penggunaan kapasitas mesin dilakukan secara bertahap.

Tipe produksi dari PT. ISTW merupakan gabungan dari sistem *make to stock* dan *make to order*. Dikatakan demikian karena PT. ISTW juga menerima pesanan pipa dengan ukuran yang tidak standar dari para pelanggan. Bila ukuran pipa yang dipesan tidak standar tentunya perusahaan hanya dapat membuat pipa tersebut jika ada pesanan datang saja. Kebijakan penjadwalan produksi yang saat ini diterapkan oleh PT. ISTW lebih berpatokan pada pengelompokan diameter pipa yang dipesan oleh para pemesan. Kebijakan penjadwalan seperti ini sebenarnya memudahkan *setup* mesin, namun pada kenyataannya kebijakan tersebut justru mengakibatkan sering terjadinya keterlambatan dalam pemenuhan *due date* pesanan terutama bila terjadi *rush order* atau pesanan sisipan.

Untuk mengurangi keterlambatan-keterlambatan tersebut diperlukan adanya peninjauan kembali terhadap kebijakan penjadwalan yang selama ini telah diterapkan oleh PT. ISTW. Akan menjadi suatu hal yang lebih baik lagi apabila perusahaan juga mempertimbangkan penerapan kebijakan *Rescheduling* (penjadwalan ulang) untuk mengatasi masalah *rush order* dengan tu-

juan untuk menghindari makin parahnya keterlambatan, mengingat hal ini memang sering terjadi di lingkup manufaktur PT. ISTW.

### Perumusan Masalah

Permasalahan yang ada adalah penerapan kebijakan penjadwalan produksi yang belum optimal sehingga menyebabkan terjadinya keterlambatan-keterlambatan pemenuhan pesanan walaupun kapasitas produksi masih mencukupi. Keterlambatan ini terjadi terutama bila terjadi *rush order*.

### Tujuan Penelitian

Adapun tujuan penelitian ini adalah:

1. Melakukan penjadwalan ulang dengan menggunakan Algoritma Wilkerson – Irwin dan Metode *Heuristik Interchange*
2. Mengajukan usulan penerapan kebijakan penjadwalan ulang untuk mengatasi permasalahan PT. ISTW sehingga dapat meminimasi keterlambatan-keterlambatan yang terjadi selama ini dengan penerapan algoritma Wilkerson-Irwin dan Metode *Heuristik Interchange*.
3. Membandingkan jadwal produksi baru dengan jadwal yang telah dibuat oleh perusahaan untuk mengetahui perbandingan hasil yang diperoleh dari kedua jadwal.

### Pembatasan Masalah

1. Penelitian dilakukan hanya terbatas pada lantai produksi divisi milling PT. ISTW Semarang saja.
2. *Disruption* (gangguan) yang dijadikan bahan pertimbangan dalam penelitian hanya berupa *rush order* saja. Pertimbangan *rush order* didahulukan karena masalah ini sering terjadi dan mengakibatkan keterlambatan.

\*) Staf Pengajar Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Undip

3. Sistem yang diteliti adalah proses produksi PT. ISTW pada mesin Mill II yang terdiri atas 1 buah mesin.
4. Penelitian hanya dilakukan untuk order dengan *due date* bulan January 2007 dan juga order-order lain yang dikerjakan pada bulan Januari 2007.
5. Perencanaan hanya dilakukan untuk 1 periode penjadwalan saja.
6. Rescheduling dilakukan sebanyak 1 minggu sekali dimulai dari minggu II (dengan catatan terjadi rush order) dalam satu periode penjadwalan dalam jangka waktu yang telah ditetapkan sebagai allowance (tambahan waktu) dari titik penjadwalan hingga titik rescheduling yang telah ditetapkan.

### Tinjauan Pustaka

Prinsip mendasar dari penjadwalan adalah bahwa penjadwalan merupakan faktor yang sangat penting dan berpengaruh terhadap keberhasilan pelaksanaan produksi pada suatu perusahaan. Hal tersebut disebabkan karena penjadwalan inilah yang digunakan dalam mengoptimalkan pemakaian sumber daya yang dimiliki oleh suatu perusahaan. Menurut Baker (1974), penjadwalan merupakan suatu kegiatan pengalokasian sumber daya terhadap suatu waktu tertentu untuk mengerjakan sekumpulan job.

Penjadwalan produksi secara garis besar dibagi menjadi dua yaitu *job scheduling* dan *batch scheduling*. *Job Scheduling* hanya memecahkan masalah yang berkaitan dengan sequencing/pengurutan saja. Hal ini disebabkan karena karena ukuran job telah diketahui. Sedangkan untuk model *Batch scheduling* memecahkan masalah penentuan ukuran batch dan masalah sequencing secara simultan. Dalam *job scheduling* terdapat penjadwalan untuk flow shop dan job shop. Untuk macam-macam tekniknya adalah sebagai berikut ini:

2. Untuk 1 Mesin
  - SPT (*Shortest processing Time*)
  - EDD (*Earliest Due date*)
  - WSPT (*Weighted Shortest Processing Time*)
  - Slack
  - Hogdson
  - Wilkerson-Irwin
4. Untuk 2 Mesin atau Lebih
  - Algoritma Johnson
  - Algoritma Branch and Bound
  - Algoritma Campbell, Dudek & Smith
3. Teknik Penjadwalan Jobshop
4. Teknik Penjadwalan Optimal
  - Teknik Integer Programming
  - Teknik Branch And Bound
5. Pendekatan Heuristik
  - Priority Dispatching
  - Sampling
  - Probabilistik Dispatching

### Elemen-Elemen Dalam Penjadwalan

Tiga komponen dasar yang dapat membantu dalam menjelaskan job adalah waktu proses yang dibutuhkan per job *i* dilambangkan dengan ( $t_i$ ), *Ready Time* ( $R_j$ ) yang artinya adalah saat dimana suatu *job* pada suatu titik waktu dimana ia siap untuk proses, dan yang terakhir adalah *Due date* atau tenggat waktu ( $d_j$ ) yang artinya batas waktu akhir suatu *job i* harus selesai dikerjakan.

Untuk mengevaluasi jadwal maka elemen-elemen penjadwalan yang paling penting adalah Completion Time ( $C_i$ ) yang artinya adalah waktu saat *job i* selesai dikerjakan, Flow Time ( $F_i$ ) Waktu tinggal *job i* dalam sistem, dan Lateness ( $L_i$ ) Selisih waktu antara *Completion Time* ( $C_i$ ) dengan *due date / tenggat waktu* ( $d_i$ ) *job i*. Rumus-rumus untuk menghitung  $C_i$ ,  $F_i$ , dan  $L_i$  adalah sebagai berikut:

$$C_i = F_i + r_i$$

$$F_i = C_i - r_i$$

$$L_i = C_i - D_i$$

$L_i < 0$ , saat penyelesaian memenuhi tenggat waktu  
 $L_i > 0$ , Saat penyelesaian melewati tenggat waktu

Untuk lateness yang bernilai positif disebut Tardiness ( $T_i$ ). Tardiness nilainya nol jika memenuhi *due date* (tenggat waktu). *Lateness bernilai negative* disebut Earliness ( $E_i$ ). Earliness akan bernilai nol jika tidak memenuhi *due date* (tenggat waktu)

$$T_i = \max(0, L_i)$$

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

Selain elemen-elemen diatas kita juga dapat menjumpai elemen-elemen lain dalam penjadwalan yaitu:

Makespan ( $M_s$ ): Untuk 1 mesin:  $M_s = F_t$   
 Untuk m mesin:  $M_s = \max(F_t)$

$$\text{Waiting Time (Wi): } W_i = \sum_{i=1}^n t_i$$

$$\text{Rata-rata Flow Time: } F = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j$$

$$\text{Rata-rata Lateness: } L_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n (C_i - d_i)$$

$$\text{Rata-Rata Tardiness: } T_s = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n T_j$$

$$\text{Number of Tardiness: } NT = \sum_{i=1}^n \delta_i = 1, \text{ bila } T_i > 0$$

$$\text{bila } T_j < 0 \quad NT = \sum_{i=1}^n \delta_i = 0,$$

$$\text{Slack Time (Si): } S_i = d_i - t_i$$

$$\text{Utilitas Mesin (U): } U = \frac{\sum_{i=1}^n t_i}{(m \times F \max)}$$

$$T_{\max} \text{ atau } L_{\max}: T_{\max} = \max(0, L_{\max})$$

$$L_{\max} = \max(L_i)$$

[Kenneth R. Baker, 1974]

### Penjadwalan Pada Mesin Tunggal

Dalam bukunya, Baker (1974) menjelaskan contoh-contoh masalah beserta cara pemecahan yang biasa dihadapi pada 2 jenis ruang lingkup permasalahan / kasus dalam ruang lingkup mesin tunggal dengan job-job yang saling bebas (independent), yaitu permasalahan mesin tunggal dengan *due date* (tenggat waktu) dan tanpa *due date*. Dalam ruang lingkup permasalahan mesin tunggal tanpa *due date* (tenggat waktu) biasa ditemukan masalah mengenai *flowtime* dan *inventory*.

Pada permasalahan mesin tunggal dengan *due date* (tenggat waktu) biasa dijumpai permasalahan yang menyangkut lateness, minimasi jumlah job yang terlambat, dan minimasi mean tardiness. Untuk permasalahan yang menyangkut minimasi jumlah job yang terlambat, kita dapat menggunakan algoritma Hodgson. Sedangkan untuk permasalahan yang menyangkut kriteria untuk minimasi mean tardiness kita dapat menggunakan algoritma Wilkerson-Irwin. Kedua algoritma ini dalam pelaksanaannya didahului dengan pengurutan job-job yang ada dengan menggunakan aturan EDD

### Penjadwalan Ulang (Rescheduling)

Rescheduling merupakan suatu proses mengupdate sebuah penjadwalan produksi yang sudah ada dalam respon terhadap *disruption* (gangguan) atau perubahan-perubahan lain. Hal ini mencakup kedatangan dari job-job baru, kerusakan mesin, ataupun kegagalan mesin. Dibawah ini adalah faktor-faktor rescheduling paling umum yang diidentifikasi dalam rescheduling studies:

- Kegagalan mesin
- Kedatangan (rush, atau 'hot') job yang bersifat urgent/darurat
- Penundaan Job
- Perubahan *due date* (tenggat waktu) (delay atau lainnya)
- Delay dalam kedatangan atau tidak mencukupinya material
- Perubahan dalam prioritas job
- Permasalahan kualitas
- Waktu proses yang melebihi atau kurang dari yang diperkirakan
- Gangguan pada operator

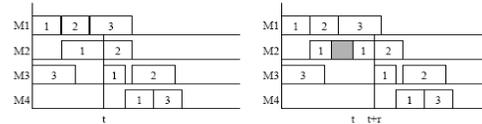
### Strategi Rescheduling

Dibawah ini merupakan tiga metode dasar dalam melakukan penjadwalan ulang:

1. *Right shift rescheduling*
2. *Partial rescheduling*
3. *Regeneration*

*Right shift rescheduling* menunda tiap operasi yang tersisa (penggeseran ke arah kanan pada sebuah Gantt chart) dalam sejumlah waktu yang dibutuhkan untuk membuat jadwal menjadi feasible. Sebagai contoh, dalam Gantt chart yang ditunjukkan dalam gambar berikut ini, jika mesin M2 mengalami kegagalan saat memproses job 1 dan perbaikan memerlukan waktu sejumlah  $r$  unit waktu, kemudian completion times dari Job 1 (pada Mesin M2) ditunda dari  $t$  hingga  $t + r$ .

Sebagai tambahan, completion times dari job-job yang tersisa pada M2, M3, dan M4 tertunda oleh  $r$  unit waktu.



Gambar Gantt Chart dalam right shift rescheduling

*Regeneration* hanya menjadwalkan ulang seluruh set dari job-job yang tidak terproses sebelum titik rescheduling, termasuk di dalamnya seluruh job yang tidak terpengaruh oleh *disruption* (gangguan). Oleh karena itu hal ini juga dikenal sebagai total atau *complete rescheduling*.

*Partial rescheduling* hanya menjadwalkan ulang job-job yang secara langsung ataupun tidak langsung terkena imbas dari *disruption* (gangguan). Untuk alasan ini, metode ini juga dikenal sebagai *affected operations rescheduling*. *Right-shift rescheduling* adalah sebuah kasus khusus untuk metode ini. Match-up scheduling adalah tipe lain dari *partial rescheduling*.

[Guilherme E. Vieira; Jeffrey W. Herrmann; Edward Lin, 2003]

### Penjadwalan Ulang Menggunakan Metode Heuristic Nyrendra Untuk Kasus Mesin Tunggal dengan Criteria Permasalahan Tardiness

Metode heuristik yang digunakan disini sedikit berbeda dari metode *heuristics interchange* biasa yang hanya bisa menukar sepasang job pada satu waktu. Metode ini digunakan untuk meningkatkan optimalisasi penjadwalan dengan ruang lingkup mesin tunggal dengan parameter tardiness.

Masalah yang dipertimbangkan dalam metode ini adalah sebagai berikut. Disana terdapat satu set job  $Z = \{1, 2, \dots, N\}$  secara simultan tersedia untuk diproses pada sebuah mesin tunggal. Job  $i$  membutuhkan  $t_i$  unit waktu proses, untuk semua  $i \in Z$ , pada mesin yang hanya bisa memproses satu job pada satu waktu. Sebagai tambahan, tiap job  $i$  diberikan sebuah *due date*  $d_i$ , untuk semua  $i \in Z$ . Jika job  $i$  terlambat terselesaikan, sebuah penalty setara dengan tardinessnya  $T_i = \max(C_i - d_i, 0)$  diperoleh, dimana  $C_i$  adalah waktu penyelesaian dari job  $i$ . tujuannya adalah untuk menemukan urutan job optimal  $\sigma^*$  yang meminimasi tardiness total, yaitu,

$$f(\sigma^*) = \min_{\sigma \in \pi} f(\sigma)$$

Dimana

$$f(\sigma) = \sum_{i=1}^N \max(C_{[\sigma_i]} - d_{[\sigma_i]}, 0),$$

dimana  $\sigma$  adalah sebuah urutan job acak, dimana subscript  $[\sigma_i]$  menotasikan job dalam posisi  $i$  dari  $\sigma$

dan dimana  $\pi$  adalah set dari semua urutan-urutan yang mungkin dari semua  $N!$ .

Dalam penelitian lebih lanjut ditemukan bahwa heuristic Wilkerson – Irwin, Panwalker, dan MDD dapat digunakan bersamaan dengan metode heuristik interchange ini.

Jika,

- $J[i]$  menotasikan job dalam posisi  $i$  dari jadwal,
- $C[i]$  menotasikan waktu penyelesaian dari job dalam posisi  $i$  dari jadwal,
- $t[i]$  menotasikan waktu proses dari job dalam posisi  $i$  dari jadwal,
- $d[i]$  menotasikan due date dari job dalam posisi  $i$  dari jadwal,

- $T$  menotasikan waktu sekarang, dimana  $\sum_{k=1}^{i-1} t_{[k]}$
- $r$  menotasikan jumlah dari job-job pendek yang mengikuti sebuah job panjang dalam jadwal,
- $N$  menotasikan total jumlah dari job-job yang perlu dijadwalkan ulang.

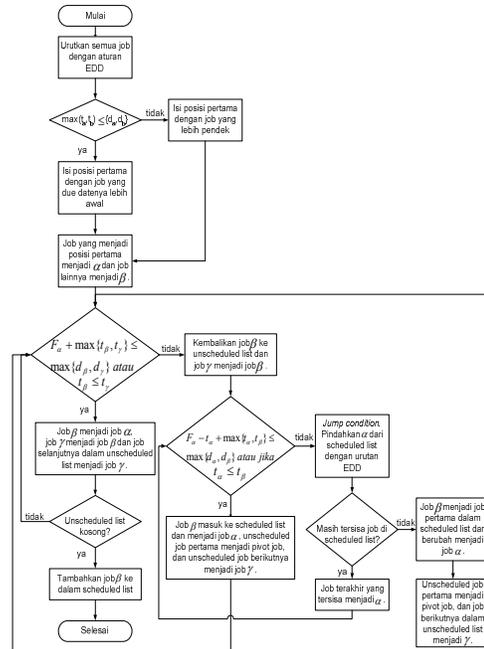
$$T_C = \max(C_{[i]}^* - d_{[i]}^*, 0) + \sum_{k=1}^p \max(C_{[i+k]} - d_{[i+k]}, 0),$$

$$T_A = \sum_{k=0}^{p-1} \max(C_{[i+k]} - d_{[i+k]}, 0) + \max(C_{[i+p]}^* - d_{[i+p]}^*, 0)$$

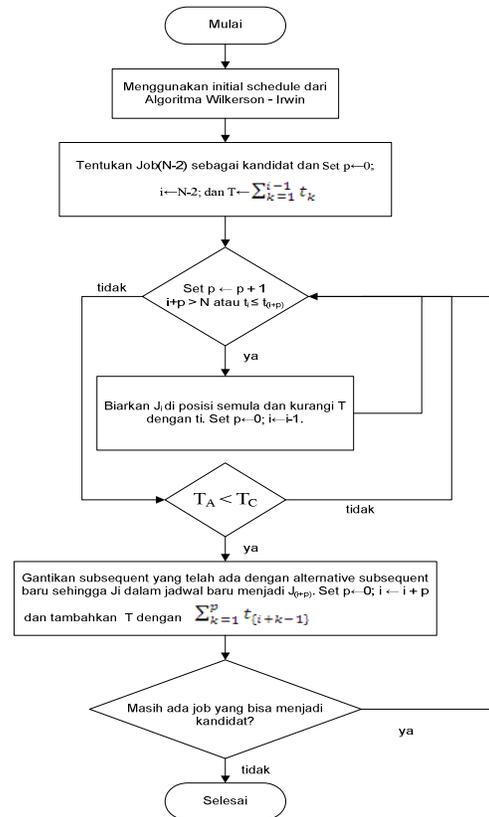
Maka langkah-langkah dalam penjadwalan ulangnya adalah sebagai berikut ini:

- Langkah 0 Menentukan job-job yang akan dijadwalkan pada penjadwalan awalan dengan menggunakan Algoritma Wilkerson – Irwin. Buat  $J_{(N-2)}$  hasil penjadwalan dengan algoritma Wilkerson – Irwin menjadi job kandidat. Set  $p \leftarrow 0$ ;  $i \leftarrow N-2$ ; dan  $T \leftarrow \sum_{k=1}^{i-1} t_{[k]}$  sebagai total waktu proses job-job sebelum  $J_{(N-2)}$ .
- Langkah 1 Jika  $i = 0$  berhenti, set  $p \leftarrow p + 1$ . Jika  $i+p > N$  atau  $t_i \leq t_{(i+p)}$  lanjutkan ke langkah 2, jika tidak lanjutkan ke langkah 3.
- Langkah 2 Biarkan  $J_i$  di posisi semula dan kurangi  $T$  dengan  $t_i$ . Set  $p \leftarrow 0$ ;  $i \leftarrow i-1$ . Lanjutkan ke langkah 1
- Langkah 3 Jika  $T_A < T_C$  lanjutkan ke langkah 4, jika tidak kembali ke langkah 1
- Langkah 4 Gantikan subsequent yang telah ada dengan alternative subsequent baru sehingga  $J_i$  dalam jadwal baru menjadi  $J_{(i+p)}$ . Set  $p \leftarrow 0$ ;  $i \leftarrow i + p$  dan tambahkan  $T$  dengan  $\sum_{k=1}^p t_{[i+k-1]}$ . Lanjutkan ke langkah 1 hingga job yang belum terjadwalkan ulang habis.

## Metodologi Penelitian

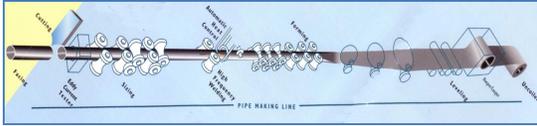


Gambar Flow Chart Algoritma Wilkerson-Irwin



Gambar Flowchart Metode Heuristik Interchange

## Pengumpulan Dan Pengolahan Data



Gambar Pipe Making Line

Sebelum melangkah ke tahap pembuatan jadwal dilakukan pengelompokan job-job terlebih dahulu. Tahapan ini merupakan modifikasi kecil terhadap metode penjadwalan yang diterapkan dalam penelitian ini. Job-job yang pipanya memiliki kesamaan material dan diameter dikelompokkan menjadi satu super job dan dianggap memiliki satu waktu setup.

Tahap berikutnya adalah pembuatan jadwal awalan, yaitu jadwal untuk minggu I di bulan Januari 2007 ini untuk mengetahui urutan pengerjaan job-job yang ada. Pada pembuatan jadwal digunakan algoritma Wilkerson-Irwin yang berguna untuk meminimasi *mean tardiness* dan *total tardiness* dan kemudian dikembangkan lagi dengan penggunaan metode *Heuristic Interchange* yang dikembangkan oleh Nyrendra yang bertujuan untuk meminimasi *total tardiness*. Pada proses perhitungan dalam pembuatan jadwal dengan menggunakan algoritma Wilkerson-Irwin dan *Heuristic Interchange* waktu setup tidak dimasukkan terlebih dahulu. Waktu setup baru dimasukkan setelah urutan penjadwalan dibentuk. Hal ini dilakukan untuk memberikan toleransi akan adanya kemungkinan 2 job atau lebih yang posisinya berurutan dan memiliki spesifikasi pipa sama maka waktu setupnya akan digabung

Rangkuman tahapan penjadwalan ulang dalam penelitian

1. Membagi periode 1 bulan menjadi beberapa periode mingguan sebanyak jumlah periode mingguan dalam bulan tersebut (dalam hal ini Januari 2007) dan Mengelompokkan job-job yang dapat digabung menjadi Super Job
2. Penjadwalan Minggu I Januari 2007 : Mengumpulkan job-job yang akan dikerjakan di bulan Januari 2007 (order dengan due date januari atau order yang belum terpenuhi dari bulan sebelumnya). Pada minggu I ini belum memperhatikan *rush order*
3. Urutkan job-job tersebut dalam urutan EDD
4. Membuat initial schedule dengan Algoritma Wilkerson – Irwin
5. Pengembangan penjadwalan ulang dengan metode *Heuristic Interchange*

Catatan:

Rush order yang datang diminggu I dijadwalkan untuk dikerjakan di minggu II, bila datang di minggu II maka dijadwalkan di minggu III, demikian seterusnya. Rush order dari minggu terakhir dijadwalkan untuk dikerjakan pada minggu berikutnya (current week for next week)

6. Penjadwalan Minggu II Januari 2007 : Mengumpulkan order-order sisipan yang datang di minggu I Januari 2007 dan menggabungkannya dengan order-order yang belum terpenuhi pada minggu I Januari 2007
7. Mengulang tahapan 3, 4, dan 5
8. Penjadwalan Minggu III Januari 2007 : Mengumpulkan order-order sisipan yang datang di minggu II Januari 2007 dan menggabungkannya dengan order-order yang belum terpenuhi pada minggu II Januari 2007
9. Mengulang tahapan 3 dan 4
10. Penjadwalan Minggu IV Januari 2007 : Mengumpulkan order-order sisipan yang datang di minggu III Januari 2007 dan menggabungkannya dengan order-order yang belum terpenuhi pada minggu III Januari 2007
11. Mengulang tahapan 3 dan 4
12. Penjadwalan Minggu V Januari 2007 : tidak ada penjadwalan ulang karena sudah tidak ada rush order pada minggu IV bulan Januari 2007

Contoh perhitungan:

Langkah 1

Membuat jadwal awalan dengan menggunakan metode algoritma Wilkerson – Irwin. Hasil dari penjadwalan dengan metode ini akan digunakan sebagai dasar untuk menjalankan metode penjadwalan heuristic setelahnya. Berikut ini adalah langkah-langkah dalam membuat penjadwalan produksi dengan menggunakan algoritma Wilkerson – Irwin.

Langkah 1.a

Pada awalnya job-job tersebut diurutkan berdasarkan aturan EDD (Early Due Date), yaitu pengaturan job dari due date paling awal hingga due date yang paling akhir. Untuk super job, due date yang digunakan adalah due date paling awal dari sekumpulan job yang tergabung didalamnya.

Langkah 1.b

Job I dan II dalam pengurutan EDD tadi dinotasikan dengan lambang a dan b. Jika  $\max\{t_a, t_b\} \leq \max\{d_a, d_b\}$  maka posisi pertama dalam pengurutan job diisi dengan job yang memiliki due date lebih awal. Jika terjadi sebaliknya maka posisi pertama diisi oleh job dengan waktu proses yang lebih singkat. Job lainnya *pivot job*. Contoh dari langkah pertama ini dapat kita lihat sebagai berikut:

	Job j	Pelanggan	Kirim	$t_j$	$d_i$ (menit)	Pesan
A	1	Job Diantara	30-Nov-06	56.18	480	30-Nov-06
B	2	Job Diantara	30-Nov-06	18.73	480	30-Nov-06

Karena  $\max\{t_a, t_b\} \leq \max\{d_a, d_b\}$  maka yang menempati posisi  $\alpha$  yang ditempatkan pada posisi pertama dilambangkan dengan simbol  $\alpha$  dan job lainnya dilambangkan dengan simbol  $\beta$  atau nama adalah  $j_1$  dan  $j_2$  menjadi  $\beta$ . Kemudian setelah ini kita lanjutkan kelangkah berikutnya.

Langkah 1.c

Jika  $F_\alpha + \max\{t_\beta, t_\gamma\} \leq \max\{d_\beta, d_\gamma\}$  atau jika  $t_\beta \leq t_\gamma$ , maka tambahkan job  $\beta$  kedalam job yang telah terjadwal. Job  $\beta$  menjadi  $\alpha$ ; job  $\gamma$  menjadi  $\beta$ ; dan job berikutnya menjadi  $\gamma$ . Ulangi langkah 1.c hingga daftar job yang belum terjadwal men-

jadi kosong. Jika terjadi sebaliknya,  $F_\alpha + \max\{t_\beta, t_\gamma\} > \max\{d_\beta, d_\gamma\}$  dan  $t_\beta > t_\gamma$ , kembalikan job  $\beta$  ke daftar job yang belum terjadwal dan job  $\gamma$  menjadi job  $\beta$  kemudian teruskan ke langkah 1.d. Contoh dari langkah ini dapat kita lihat pada tabel berikut.

Job j	Tj	di	Job j	tj	di
3	17.25	480	6	147.47	480
4	77.62	480	7	39.33	480
2	18.73	480	5	180.24	480

Tahap	Sched.	F $\alpha$	A	$\beta$	$\Gamma$	Unsched.	Decision $\alpha$
1	-	-	-	1	2	2,3,..	1
2	1	56.18	1	2	3	3,4,..	2
3	1,2	74.91	2	3	4	4,5,..	3
...	...	...	...	...	...	...	...
6	..4,5	350.01	5	6	7	6,8,..	7

Pada tahap 3 bisa kita simpulkan bahwa  $F_\alpha + \max\{t_\beta, t_\gamma\} \leq \max\{d_\beta, d_\gamma\}$  dan ternyata syarat  $t_\beta \leq t_\gamma$  juga terpenuhi maka keputusannya yang menjadi job  $\alpha$  adalah  $j_3$ . Kemudian ulangi langkah 1.c.

Sebaliknya, pada tahap 6 bisa kita simpulkan bahwa  $F_\alpha + \max\{t_\beta, t_\gamma\} > \max\{d_\beta, d_\gamma\}$  dan  $t_\beta > t_\gamma$ . Karena  $t_6$  lebih besar dari dari  $t_7$  maka  $j_6$  dan  $j_7$  bertukar posisi. Posisi  $\beta$  diisi oleh  $j_7$  dan posisi  $\gamma$  diisi oleh  $j_6$ . Lanjutkan ke langkah 1.d.

Langkah 1.d

Jika  $F_\alpha - t_\alpha + \max\{t_\alpha, t_\beta\} \leq \max\{d_\alpha, d_\beta\}$  atau jika  $t_\alpha \leq t_\beta$ , maka tambahkan job  $\beta$  ke daftar job yang telah terjadwal. Job  $\beta$  sekarang menjadi job  $\alpha$ ; job  $\gamma$  menjadi  $\beta$ ; dan job berikutnya pada daftar job yang belum terjadwal menjadi job  $\gamma$ . Ulangi langkah 1.c. Jika terjadi sebaliknya dimana  $F_\alpha - t_\alpha + \max\{t_\alpha, t_\beta\} > \max\{d_\alpha, d_\beta\}$  dan jika  $t_\alpha > t_\beta$ , maka terjadi *jump condition*. Lanjutkan ke langkah 1.e selanjutnya. Contoh perhitungannya adalah sebagai berikut:

Job j	Tj	di	Job j	tj	di
8	38.37	480	6	147.47	480
5	180.24	480	7	39.33	480
9	180.24	480	10	29.13	480

Tahap	Sched.	F $\alpha$	A	$\beta$	$\gamma$	Unsched.	Decision $\alpha$
6	..4,5	350.01	5	6	7	6,8,..	7
...	...	...	...	...	...	...	...
9	..8,6	575.17	6	9	10	10,11,..	jump

Dengan melihat tahap 6 dapat kita lanjutkan langkah 1.c tadi. Saat  $j_6$  dan  $j_7$  telah bertukar posisi dimana posisi  $\beta$  diisi oleh  $j_7$  dan posisi  $\gamma$  diisi oleh  $j_6$  maka tahap 6 memenuhi syarat  $F_\alpha - t_\alpha + \max\{t_\alpha, t_\beta\} \leq \max\{d_\alpha, d_\beta\}$ . Keputusan yang dapat diambil adalah  $j_7$  menjadi  $\alpha$ . Ulangi langkah 1.c

Jika terjadi sebaliknya dapat kita lihat contoh tahap 9 dimana juga terjadi pertukaran posisi antara  $j_9$  dan  $j_{10}$ . Posisi  $\beta$  diisi  $j_{10}$  dan posisi  $\gamma$  diisi  $j_9$ . Namun setelah dibandingkan tidak memenuhi syarat I dari tahap ini karena  $F_\alpha - t_\alpha +$

$\max\{t_\alpha, t_\beta\} > \max\{d_\alpha, d_\beta\}$  dan  $t_\alpha > t_\beta$  oleh karena itu terjadi *jump condition* dan kemudian kita lanjutkan ke langkah 1.e berikut.

Langkah 1.e

(*Jump condition*) Hapus job  $\alpha$  dari daftar job yang telah terjadwal dan kembalikan ke daftar job belum terjadwal dengan urutan EDD. Bila masih tersisa job dalam daftar job terjadwal maka job paling akhir dari daftar ini menjadi  $\alpha$  dan kembali ke langkah 1.d. Jika tidak ada job yang tersisa maka job  $\beta$  menjadi  $\alpha$  dan job pertama dalam daftar job yang belum terjadwal

menjadi job  $\beta$  serta job yang belum terjadwal berikutnya menjadi job  $\gamma$ . Kembali ke langkah

1.c sebelumnya. Gambaran contoh kasusnya adalah sebagai berikut:

Tahap	Sched.	F $\alpha$	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	Unsched.	Decision $\alpha$
9	..8,6	575.17	6	9	10	10,11,..	jump
10	..7,8	427.7015	8	-	10	6,9,..	10

Dari tahap 10 dalam tabel di atas kita mendapatkan gambaran dari langkah 1.e ini. Selanjutnya  $j_6$  dan  $j_9$  dikembalikan kedalam daftar job yang belum terjadwal dan kemudian  $j_{10}$  menempati posisi  $\beta$ . Keputusan yang diambil adalah  $j_{10}$  menjadi  $\alpha$  dan lanjutkan ke langkah 1.c.

### Langkah 2

Dalam langkah kedua ini dilakukan pengembangan penjadwalan dengan menggunakan metode heuristik dengan harapan akan mendapatkan hasil penjadwalan yang lebih optimal dari penjadwalan sebelumnya. Metode ini bekerja dengan sistem *job interchange* namun berbeda dari metode interchange biasa yang hanya dapat menukar sepasang job dalam satu waktu. Contoh pengerjaannya adalah sebagai berikut.

Job j	tj	di (hari)	Fj (menit)	Fj (hari)	lateness (hari)	Ti (hari)	Kandidat
52	117.85	15-Jan-07	6,007.80	16-Jan-07	1	1	$J_{52}$
53	26.19	15-Jan-07	6,033.98	16-Jan-07	1	1	
54	34.92	15-Jan-07	6,068.90	16-Jan-07	1	1	
55	48.35	15-Jan-07	6,117.25	16-Jan-07	1	1	
56	9.91	15-Jan-07	6,127.16	16-Jan-07	1	1	
57	21.06	15-Jan-07	6,141.06	17-Jan-07	2	2	
58	55.51	15-Jan-07	6,196.57	17-Jan-07	2	2	
59	7.37	15-Jan-07	6,203.94	17-Jan-07	2	2	
⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮	⋮
86	60.50	30-Jan-07	8,110.50	23-Jan-07	-7	0	$J_{86}$
87	64.12	30-Jan-07	8,174.62	23-Jan-07	-7	0	
88	12.64	30-Jan-07	8,187.26	23-Jan-07	-7	0	

- $J_{(N-2)}$  pertama adalah  $J_{86}$ , namun ia gagal menjadi kandidat karena ia tidak diikuti oleh minimal 2 job berurutan yang waktu prosesnya lebih pendek ( $t_{86} \leq t_{87}$ ). Selain itu  $j_{86}$  dan 2 job di belakangnya tidak mengalami keterlambatan. Pencarian berlanjut ke arah atas tabel
- Kandidat job pertama adalah  $J_{52}$
- $J_{52}$  diikuti oleh 12 buah job yang memiliki waktu proses lebih pendek darinya dan dinotasikan dengan  $p = 12$ . Namun dari 12 job itu hanya 7 job yang mengalami tardiness. Ketujuh job tersebut adalah  $J_{53}, J_{54}, J_{55}, J_{56}, J_{57}, J_{58}, J_{59}$ .
- Bila  $J_{52}$  ditukar dengan  $J_{53}, J_{54}, J_{55}, J_{56}, J_{57}$  tidak membawa perubahan apapun pada total tardiness urutan alternatif namun bila ditukar dengan  $J_{58}$  total tardiness dari urutan alternatif akan berkurang 1 hari ( $T_A \leq T_C$ ). Keputusannya  $J_{52}$  ditukar dengan  $J_{58}$ .
- Di posisinya yang baru  $J_{52}$  masih menjadi job kandidat dengan  $p=6$ . Namun dari 6 job itu hanya 1 job yang mengalami tardiness. Job tersebut adalah  $J_{59}$

- Bila  $J_{52}$  ditukar dengan  $J_{59}$  maka total tardiness urutan alternatif akan berkurang 1 hari ( $T_A \leq T_C$ ). Keputusannya  $J_{52}$  ditukar dengan  $J_{59}$ .
- Di posisinya yang baru  $J_{52}$  sudah tidak dapat menjadi kandidat lagi karena job-job di bawahnya sudah tidak ada yang mengalami tardiness. Iterasi untuk  $J_{52}$  berhenti dan memulai pencarian kandidat baru dengan naik satu persatu kearah atas jadwal (set  $i$  baru dengan  $i \leftarrow i - 1$ ). Iterasi berhenti saat sudah tidak ada lagi job yang bisa menjadi kandidat atau  $i = 0$

### Analisis

Dari hasil perhitungan minggu I dengan 88 buah job (termasuk di dalamnya super job yang telah dibentuk) dapat dianalisa bahwa penggunaan metode *heuristic interchange Nyrendra* setelah penggunaan algoritma Wilkerson - Irwin terbukti dapat mengurangi *total tardiness*, *mean tardiness*, dan *number of tardy job*. Setelah waktu setup dimasukkan kedalam perhitungan terjadi pergeseran waktu pelaksanaan jadwal walaupun tetap dengan urutan yang sama. Hal ini tentunya juga menyebabkan penambahan pada *total tardiness*, *mean tardiness*, dan *number of tardy job*.

Hasil yang diperoleh pada periode ini akan digunakan juga sebagai dasar dari penjadwalan ulang periode berikutnya dan begitu pula selanjutnya.

Pada hasil pengurutan job di minggu I, II, III, dan IV ditemukan beberapa job berurutan yang memiliki

spesifikasi material dan diameter sama sehingga waktu set-upnya digabung menjadi satu waktu set-up saja. Setelah itu didapatkan hasil perbandingan yang dapat kita lihat dalam tabel berikut ini.

Ukuran performasi	Total Tardiness (Hari)	Mean Tardiness (Hari)	Max Tardiness (Hari)	Number of Tardy job
Jadwal Asli	1806	9	60	66
Jadwal Baru	930	5	41	42

Dari tabel tersebut dapat kita lihat bahwa penerapan kebijakan penjadwalan ulang dengan menggunakan algoritma Wilkerson – Irwin diikuti oleh penggunaan metode *heuristic interchange* Nyrendra terbukti dapat memperbaiki performansi jadwal ditandai dengan penurunan *total tardiness*, *mean tardiness*, *max tardiness*, dan *number of tardy job*. Total tardiness yang tadinya berjumlah 1806 hari berkurang menjadi 930 hari saja. Rata-rata keterlambatan dalam penjadwalan job-job juga berkurang dari 9 hari menjadi 5 hari. Maksimum tardiness yang semula 60 hari juga berkurang menjadi 41 hari. Demikian pula halnya dengan jumlah job yang terlambat berkurang dari sejumlah 66 buah job menjadi hanya 42 buah job.

Rangkuman terakhir hasil penjadwalan ulang ini memiliki *total tardiness*, *mean tardiness*, dan *number of tardy job* yang lebih besar dari yang diperoleh dari perhitungan yang kita lihat di tiap-tiap periode penjadwalan ulang. Hal ini disebabkan karena super job yang terdapat dalam penjadwalan telah diuraikan kembali menjadi job-job yang terpisah. Ini dilakukan untuk mengetahui *total tardiness*, *mean tardiness*, dan *number of tardy job* yang sebenarnya. *Maximum tardiness* tidak mungkin berubah menjadi lebih besar karena super job menggunakan due date job yang paling awal. Oleh karena itu walau job tersebut diurai dan terdapat lebih dari satu job anggota yang mengalami keterlambatan maka keterlambatan dari job tersebut tidak mungkin lebih besar dari super jobnya.

### Kesimpulan

Kesimpulan dalam penerapan kebijakan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode *Heuristic Interchange* dan Algoritma Wilkerson – Irwin telah berhasil dilakukan bersamaan dan menghasilkan penjadwalan yang lebih baik dari penjadwalan sebelumnya.

Metode penjadwalan ulang dengan menerapkan metode *Heuristic Interchange* bersamaan dengan algoritma Wilkerson – Irwin cukup terbukti memperbaiki performansi penjadwalan bila dibandingkan dengan jadwal lama hasil keluaran PT. ISTW. Hal ini dibuktikan dengan adanya penurunan jumlah total tardiness, mean tardiness, maximum tardiness, dan jumlah job yang terlambat.

Penerapan kebijakan penjadwalan ulang dengan menggunakan metode *heuristic interchange* bersamaan dengan metode Wilkerson – Irwin terbukti lebih baik dari pada kebijakan penjadwalan yang selama ini digunakan oleh perusahaan karena lebih berhasil dalam mengatasi kendala-kendala yang muncul akibat permasalahan yang terjadi selama ini yaitu permasalahan adanya *rush order* yang menyebabkan pelaksanaan penjadwalan yang tidak optimal dan akhirnya mengakibatkan terjadinya keterlambatan pemenuhan pesanan dalam jangka waktu yang cukup lama.

### Referensi

- Bailey, James E. and Bedworth, David D. 1987. *Integrated Production Control Systems: Management, Analysis, Design 2/E*. John Willey & Sons, Inc.: New York.
- Baker, Kenneth R. 1974. *Introduction to Sequencing and Scheduling*. John Willey & Sons, Inc.: New York.
- Berry, Jacobs, Vollmann, Whybark. 2005. *Manufacturing Planning and Control for Supply Chain Management*. Mc Graw-Hill: New York.
- Berry, Vollmann, Whybark. 1997. *Manufacturing Planning and Control Systems*. Mc Graw-Hill: New York.
- Csáji, Kádár, Monostor, Pfeiffer. 2004. *Simulation Supported Analysis Of A Dynamic Rescheduling System*. Budapest.
- [<http://www.sztaki.hu/~pfeiffer/p9.pdf>]
- Hu, Y., Yan, J., Ye, F., Yu, J. 2005. *Flow Shop Rescheduling Problem Under Rush Orders*. Journal of Zhejiang University Science.
- [<http://www.zju.edu.cn/jzus/2005/A0510/A051006.pdf>]
- Nyrendra, JC. 2006. *A Rescheduling Heuristic For The Single Machine Total Tardiness Problem*. Vol.22 (1), pp.77 – 87. Orion.
- [<http://www.orssa.org.za>]
- Schumacher, Jacobus. 2003. *A Disturbance Management Approach To Improving The Performance Of Batch Process Operations*. Delft University Of Technology: Netherlands.

12. Vieira, Herrmann, Lin. 2003. *Rescheduling Manufacturing Systems: A Frame Work of Strategies, Policies, and Methods*. Journal of Scheduling: Netherlands.
13. [<http://www.isr.umd.edu/Labs/CIM/projects/jos-rescheduling.pdf>]
14. Waters, Donald. 2003. *Logistics an Introduction to Supply Chain Management*. Palgrave Macmillan: New York.