

# PENGEMBANGAN MODEL PENJADWALAN MESIN MAJEMUK MELALUI JOB SISIPAN

Johan Oscar Ong dan Dede Juliyanti

Jurusan Teknik Industri, President University

Jl. Ki Hajar Dewantara Kota Jababeka, Cikarang, Bekasi – Indonesia 17550

Email: [johanoscarong@president.ac.id](mailto:johanoscarong@president.ac.id); [dee.juliyanti@gmail.com](mailto:dee.juliyanti@gmail.com)

## ABSTRAK

*Hal terpenting dalam industri farmasi adalah ketersediaan obat dalam jumlah, jenis, dan kualitas yang memadai, ketidaktersediaan terhadap hal tersebut mengakibatkan lost sales. Perusahaan harus memiliki suatu metode penjadwalan yang dapat mempercepat waktu penyelesaian proses produksi sehingga dapat meningkatkan pemenuhan terhadap permintaan konsumen. Proses produksi terdiri dari tujuh stage dengan proses yang berbeda-beda pada tiap stagenya, dimana awal proses tidak selalu dimulai pada stage 1, namun selalu berakhir pada stage 7. Ketersediaan mesin tidak hanya terdiri dari mesin tunggal, tetapi juga memiliki mesin majemuk untuk beberapa jenis mesin. Keberagaman proses produksi dan banyaknya jumlah job yang harus diproses, maka pada penelitian ini penjadwalan dilakukan secara bertahap terhadap penjadwalan job utama dan kemudian penyisipan job pada hasil penjadwalan job utama tersebut. Untuk dapat menyelesaikan permasalahan penjadwalan dengan jumlah mesin majemuk dan proses produksi yang bervariasi sesuai dengan kondisi aktual perusahaan, maka dilakukan pengembangan model terhadap algoritma Non-delay mesin majemuk dengan job sisipan. Dari hasil pengembangan model, waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan 59 job adalah 798 jam. Pelaksanaan penyisipan job pada hasil penjadwalan job utama tidak memperlambat waktu penyelesaian untuk keseluruhan job.*

**Kata kunci:** penjadwalan, non-delay, mesin majemuk, job utama, job sisipan.

## ABSTRACT

*The most important thing in the pharmaceutical industry is medicine availability in terms of amount, types, and quality, unavailability will affect on lost sales. A company should have a scheduling method which can accelerate production process time, so it can increase the achievement level of consumer demand. The production process consist of seven stages with different processes on each stage, which first process is not always on stage 1, but every process will finish on stage 7. Machine availability is not only consisting of single machine, but also multiple machines for some types of machine. Variety of production process and number of job to be processed, scheduling in this research conducted gradually to main job schedule then inserted job to the result of main job schedule. To finish scheduling issue with number of multiple machines and various production process, which suitable to company real condition, conducted a model developing to Non-Delay multiple machines algorithm with inserted job. As the result of model developing, time period needed to finish 59 jobs is 798 hours. Implementation of inserted job in the scheduling result on the main job is not decelerating a whole job time period.*

**Keyword:** scheduling, non-delay, multiple machines, main job, inserted job.

## PENDAHULUAN

Persediaan produk merupakan bagian yang penting karena memiliki pengaruh yang besar terhadap stabilitas perusahaan. Persediaan dapat muncul sebagai akibat dari jumlah permintaan yang lebih rendah dari peramalan atau merupakan kesengajaan untuk menyediakan *safety stock* dalam upaya peningkatan *service level* atau sebagai peredam ketidakpastian. Prinsip kinerja persediaan berorientasi pada efisiensi operasi dan *service level*, kedua hal tersebut akan mengalami pertentangan jika tidak dilakukan perubahan mendasar pada sistem yang ada (Pujawan dan ER, 2010). Permasalahan persediaan yang timbul adalah tidak terpenuhinya rencana produksi yang diminta oleh bagian *supply chain* ke bagian produksi yang menyebabkan persediaan beberapa produk berada dibawah level aman. Performansi rencana produksi tiga bulan terakhir dapat dilihat pada tabel 1. Ketidaksanggupan bagian produksi dalam memenuhi rencana produksi disebabkan oleh permasalahan-permasalahan yang timbul di lantai produksi, diantaranya antri mesin, *breakdown* mesin, ketersediaan material, penyelesaian dokumen, pergantian rencana produksi, dan proses produksi. Persentase terbesar yang mempengaruhi tidak terpenuhinya rencana produksi adalah antrian mesin di lantai produksi.

Penjadwalan merupakan bagian strategis dari proses perencanaan dan pengendalian produksi. Penjadwalan adalah pengalokasian dari sumber-sumber yang ada untuk menjalankan

sekumpulan tugas-tugas dalam jangka waktu tertentu (Baker,1974). Permasalahan pada antrian mesin menyebabkan diperlukannya sistem penjadwalan tertentu yang efektif dan efisien yang dapat menghasilkan waktu penyelesaian lebih cepat dari kondisi awal sehingga dapat meningkatkan pemenuhan terhadap rencana produksi. Fatmawati, et al (2009) menjelaskan tujuan penjadwalan secara umum untuk mengoptimalkan sumber-sumber produksi yang digunakan, meminimasi persediaan barang setengah jadi, memenuhi waktu pengiriman, dan membantu dalam perencanaan kapasitas pabrik. Sistem penjadwalan yang dilakukan di SOHO Group Pharma merupakan penjadwalan dengan tipe *job shop* dimana tiap-tiap produk memiliki proses produksi yang berbeda. Proses penjadwalan yang saat ini digunakan belum menggunakan suatu sistem penjadwalan tertentu, penjadwalan didasarkan pada pemilihan produk-produk yang memiliki tingkat persediaan yang rendah dan volume penjualan yang tinggi yang akan diproduksi terlebih dahulu.

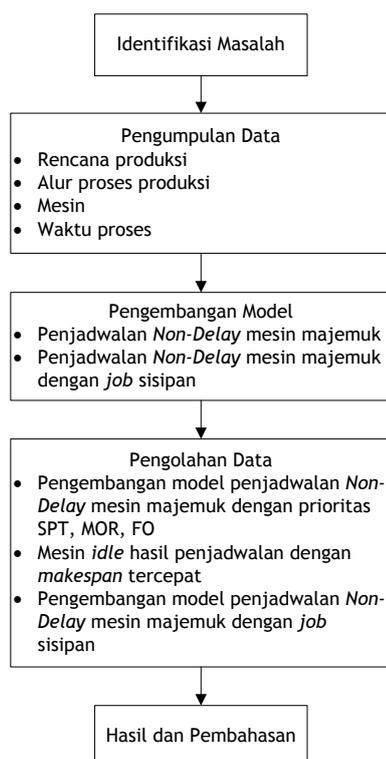
Tabel 1. Performansi Rencana Produksi

Total rencana produksi	Juli		Agustus		September	
	322	Performansi	276	Performansi	226	Performansi
<i>On schedule</i>	181	56%	89	32%	119	53%
<i>Delay</i>	141	44%	187	68%	107	47%
Antri mesin	43	30%	98	52%	50	47%
<i>Breakdown</i> mesin	34	24%	29	16%	19	18%
Ketersediaan material	36	26%	27	14%	12	11%
Penyelesaian dokumen	13	9%	21	11%	1	1%
Pergantian rencana produksi	2	1%	5	3%	7	7%
Proses produksi	13	9%	7	4%	18	17%

Secara umum penelitian ini bertujuan untuk melakukan perbaikan terhadap proses penjadwalan produksi yang saat ini dilaksanakan di SOHO Group, sehingga dapat meningkatkan persediaan produk dalam memenuhi permintaan konsumen. Adapun yang menjadi tujuan khusus penelitian adalah memperoleh pengurutan *job* yang dapat mempercepat waktu penyelesaian (*makespan*) produksi dan mengetahui pengaruh *job* sisipan terhadap *makespan* yang dihasilkan pada penjadwalan *job* utama. Perbaikan pada sistem penjadwalan dapat mengurangi salah satu permasalahan penyebab rendahnya tingkat persediaan

## METODE

Secara sistematis penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir dibawah ini:

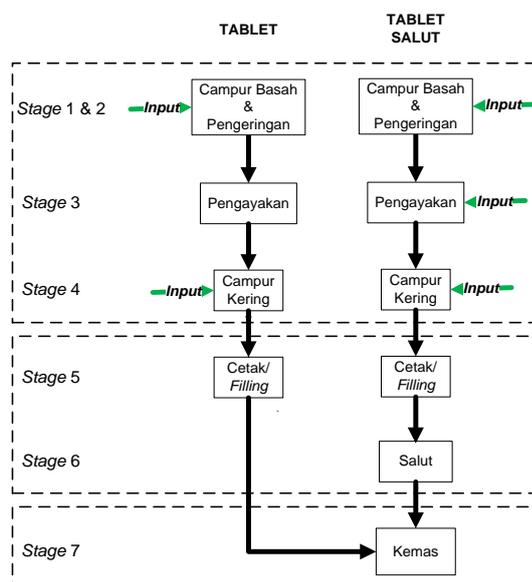


Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

## Data

Pengumpulan data yang meliputi alur proses produksi, rencana produksi, mesin, dan waktu operasi dilakukan dengan wawancara dan observasi langsung pada divisi *supply chain* dan divisi produksi SOHO Group Pharma. Pada penelitian ini yang menjadi objek penjadwalan adalah rencana produksi produk solid pada bulan september, rencana produksi tersebut dibagi menjadi dua bagian yaitu *job* utama dan *job* sisipan. *Job* utama adalah produk-produk tablet dan tablet salut yang pada proses penyalutannya menggunakan mesin XL-Cota, dimana mesin XL-Cota adalah mesin salut dengan jumlah antrian yang paling banyak. *Job* sisipan merupakan produk-produk solid yang diproses pada mesin dengan utilitas yang tinggi pada hasil penjadwalan utama.

Proses produksi SOHO Group Pharma merupakan proses produksi dengan tipe aliran *job shop* dimana tiap-tiap produk memiliki proses produksi yang berbeda. Proses produksi terdiri dari 7 *stage* dengan proses yang berbeda-beda pada tiap *stagenya*. Aliran proses produksi dari *stage* 1 menuju *stage* 7, dengan awal proses yang tidak selalu dimulai pada *stage* 1, namun dapat berawal pada *stage* 3 atau *stage* 4 dan selalu berakhir pada *stage* 7. Berikut ini gambar 2 yang menunjukkan proses produksi sediaan solid SOHO Group Pharma.



Gambar 2. Proses Produksi

Pada proses penjadwalan diperlukan data matriks *routing* yang menyatakan urutan mesin yang memproses tiap-tiap urutan operasi, serta matriks waktu operasi yang menyatakan waktu proses yang dibutuhkan untuk mengerjakan operasi dari suatu *job*. Matriks *routing* dan matriks waktu operasi untuk *job* utama dan *job* sisipan dapat dilihat pada tabel 2, 3, 4, dan 5.

## Pengembangan Model

Industri selalu berupaya mencari berbagai strategi untuk meningkatkan produktivitas kerja sehingga dapat memenuhi permintaan pasar yang terus bertambah. Peningkatan produktivitas tersebut salah satunya dapat dilakukan dengan penambahan jumlah mesin, baik dengan spesifikasi yang sama maupun yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan algoritma *non-delay* untuk mesin tunggal yang ada saat ini tidak dapat digunakan pada kebanyakan industri berkembang. Oleh karena itu, pada penelitian ini dilakukan pengembangan model algoritma *non-delay* untuk mesin majemuk, dimana pemilihan mesin untuk mesin majemuk ditujukan pada mesin dengan *ready time* tercepat.

Algoritma penjadwalan *non-delay generation* menurut Baker (1974) akan menghasilkan beberapa jadwal parsial yang menimbulkan permasalahan dalam menentukan operasi yang akan dikerjakan terlebih dahulu. Oleh karena itu, penjadwalan *Generation* dapat dikembangkan menjadi algoritma penjadwalan *Heuristic Generation* atau disebut juga *Dispatching Rule* (Rachmawati dan Tontowi, 2009). *Priority rule* atau juga disebut *dispatching procedure* adalah aturan untuk pemilihan pekerjaan yang harus dilaksanakan pada sebuah mesin, dimana sejumlah pekerjaan menunggu untuk diproses pada mesin tersebut. Penetapan *priority rule* disesuaikan dengan tujuan dari penjadwalan yang ingin dicapai. Untuk mengetahui pengaruh *makespan* terhadap penjadwalan dengan prioritas produk tablet atau produk tablet salut yang diproses terlebih dahulu, maka *priority rules* yang digunakan adalah SPT (*Short Processing Time*), MOR (*Most Operation Remaining*), dan FO (*Fewest Operation*) (Situmeang dan Herliansyah, 2006).

Tabel 2. Matriks Routing Job Utama Utama

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
A	1	5	8	15	25	-
B	1	5	8	15	25	-
C1	2	5	6	13	21	27
C2	2	5	6	13	21	27
D1	3	5	6	15	25	-
D2	3	5	6	15	25	-
E	2	5	6	12	25	-
F1	2	7	18	24	-	-
F2	2	7	18	24	-	-
G1	2	7	18	-	-	-
G2	2	7	18	-	-	-
G3	2	7	18	-	-	-
H	1	5	10	19	27	-
I	1	5	10	19	21	26
K	1	5	6	17	21	22
M	4	5	6	15	26	-
N	1	5	10	16	-	-
O	1	5	10	20	21	27
P	1	5	10	20	21	27
Q	2	6	19	21	22	-
S1	3	5	8	12	25	-
S2	3	5	8	12	25	-
S3	3	5	8	12	25	-
S4	3	5	8	12	25	-
T	1	5	10	17	21	27
U	3	5	6	15	29	-
V	3	5	6	15	29	-
W1	2	5	10	14	21	27
W2	2	5	10	14	21	27
W3	2	5	10	14	21	27

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
W4	2	5	10	14	21	27
W5	2	5	10	14	21	27
X	2	5	10	19	21	27
Y	1	5	6	17	21	25
Z	3	5	6	16	21	22
AA	1	9	13	-	-	-
AB1	2	6	19	21	24	-
AB2	2	6	19	21	24	-
AB3	2	6	19	21	24	-
AC	1	9	13	-	-	-
AE	2	5	10	14	27	-
AF	3	5	6	14	25	-
AH	1	5	6	15	28	-
AI	3	5	6	14	25	-
AJ	3	5	6	14	25	-
AK	3	5	6	14	25	-
AL1	2	5	7	20	21	24
AL2	2	5	7	20	21	24
AM	3	5	10	19	21	27
AN	1	5	6	20	21	25
AO	2	5	6	15	26	-
AQ1	2	6	17	21	25	-
AQ2	2	6	17	21	25	-
AQ3	2	6	17	21	25	-
AQ4	2	6	17	21	25	-
AR	2	5	7	18	-	-
AS	3	5	6	14	30	-
AT	2	5	10	14	30	-
AU	1	5	6	13	21	28

Tabel 3. Matriks Waktu Operasi Job

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
A	7	3	3	11	7	-
B	5	3	3	14	8	-
C1	7	3	3	14	12	6
C2	10	4	4	28	24	12
D1	9	4	3	40	13	-
D2	12	5	4	60	19	-
E	11	4	4	24	35	-
F1	16	8	58	59	-	-
F2	16	8	58	59	-	-
G1	18	8	54	-	-	-
G2	24	10	81	-	-	-
G3	30	13	108	-	-	-
H	6	3	3	21	11	-
I	8	3	3	13	8	14
K	6	3	4	13	7	7
M	9	3	3	12	9	-
N	13	4	7	60	-	-
O	7	3	3	17	13	10
P	11	3	4	30	25	24
Q	12	4	28	16	20	-
S1	9	4	3	22	42	-
S2	9	4	3	22	42	-
S3	12	5	4	33	63	-
S4	15	6	5	44	84	-
T	7	2	3	19	8	11
U	8	2	3	16	17	-
V	8	3	4	19	15	-
W1	15	6	4	26	13	24
W2	15	6	4	26	13	24
W3	21	8	5	39	20	36

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
W4	21	8	5	39	20	36
W5	32	12	7	65	33	59
X	7	3	3	30	15	16
Y	8	2	3	39	12	32
Z	12	4	4	16	17	14
AA	8	4	9	-	-	-
AB1	25	5	32	19	19	-
AB2	25	5	32	19	19	-
AB3	33	8	64	38	37	-
AC	15	8	18	-	-	-
AE	16	4	6	27	20	-
AF	8	3	3	32	22	-
AH	6	3	3	11	12	-
AI	6	3	3	13	7	-
AJ	6	3	3	11	6	-
AK	6	3	3	11	7	-
AL1	8	4	5	34	22	26
AL2	8	4	5	34	22	26
AM	5	2	4	14	8	15
AN	17	7	5	42	28	28
AO	8	3	3	26	23	-
AQ1	23	5	50	23	46	-
AQ2	23	5	50	23	46	-
AQ3	42	7	100	23	91	-
AQ4	52	9	125	23	114	-
AR	16	4	5	23	-	-
AS	10	2	3	23	19	-
AT	8	3	3	23	20	-
AU	6	2	3	23	7	10

Tabel 4. Matriks Routing Job Sisipan

Sisipan

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
J1	1	5	10	19	33	27
J2	9	13	33	25	-	-
J3	2	5	6	13	33	27
J4	3	5	6	13	33	25
J5	3	5	6	13	33	25
J6	1	5	6	12	33	25
J7	3	5	6	19	33	27
J8	9	13	33	25	-	-
J9	3	5	8	32	27	-
J10	3	5	10	17	34	25
J11	3	5	11	31	-	27
J12	9	13	33	27	-	-
J13	3	5	6	13	33	27

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
J14	8	13	33	27	-	-
J15	3	5	6	13	33	27
J16	3	5	6	13	33	27
J17	6	15	33	25	-	-
J18	2	5	10	13	33	27
J19	1	5	10	17	33	23
J20	1	5	10	17	33	23
J21	1	5	8	13	33	28
J22	2	5	6	16	33	26
J23	3	5	8	14	33	26
J24	1	5	8	19	33	26
J25	3	5	6	14	33	26

Tabel 5. Matriks Waktu Operasi Job

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
J1	10	4	6	30	23	23
J2	7	30	24	14	-	-
J3	7	3	3	10	7	5
J4	6	3	3	12	5	9
J5	9	4	3	24	10	18
J6	7	3	4	14	10	13
J7	7	3	3	12	8	5
J8	5	15	12	7	-	-
J9	6	2	3	16	10	-
J10	6	3	3	21	12	10
J11	7	3	3	13	7	-
J12	5	11	8	6	-	-
J13	6	3	3	8	6	5

Job	Operasi					
	1	2	3	4	5	6
J14	2	16	8	10	-	-
J15	7	3	3	9	6	6
J16	11	4	3	18	11	11
J17	3	11	8	8	-	-
J18	6	3	3	11	7	6
J19	9	3	3	19	14	15
J20	9	3	3	19	14	12
J21	7	3	2	23	9	21
J22	18	4	3	24	13	19
J23	10	3	3	54	15	29
J24	7	2	3	12	8	6
J25	7	4	3	13	15	10

Algoritma *Non-delay* untuk mesin majemuk:

- Langkah 1: Beri nilai  $t=0$ , dan dimulai dari  $PS_t$ , seperti sebagai jadwal parsial yang gagal. Pada mulanya,  $S_t$  adalah semua aktifitas tanpa adanya pendahulu. Lanjutkan ke langkah 2.
- Langkah 2: Tentukan  $c^*$ , dimana  $c^* = \min\{c_j ; j \in S_t\}$  dan mesin  $m^*$ , yaitu mesin yang merealisasikan  $c^*$ . Lanjutkan ke Langkah 3.
- Langkah 3: Untuk semua operasi  $j \in S_t$  yang memerlukan  $m^*$  dan memenuhi  $c_j = c^*$ , maka tambahkan operasi  $j$  yang memenuhi syarat ini ke dalam  $PS_t$ . Untuk semua operasi  $j \in PS_t$  dengan  $m^*$  yang sama hanya terdiri dari satu operasi lanjutkan ke Langkah 5. Untuk semua operasi  $j \in PS_t$  dengan  $m^*$  yang sama lebih dari satu operasi, urutkan operasi tersebut berdasarkan aturan prioritas *Short Processing*

**Time (SPT) atau Most Operation Remaining (MOR) atau Fewest Operation (FO).**

Jika masih ada lebih dari satu operasi yang memiliki waktu proses atau sisa operasi yang sama, maka prioritas selanjutnya lanjutkan ke Langkah 4. Jika setiap operasi memiliki waktu operasi yang berbeda maka lanjutkan ke Langkah 5.

- Langkah 4: Urutkan operasi berdasarkan nilai bobot ( $w_i$ ) yang tertinggi. Lanjutkan ke Langkah 5.
- Langkah 5: Melihat ketersediaan mesin, apakah mesin tunggal atau mesin dengan jumlah lebih dari satu. Jika mesin tunggal, maka langsung lanjutkan ke Langkah 6. Sedangkan untuk mesin dengan jumlah lebih dari satu, maka dipilih mesin dengan *ready time* ( $r_k$ ) tercepat. Lanjutkan ke Langkah 6.
- Langkah 6: Melihat apakah mesin sedang dalam keadaan beroperasi atau tidak. Jika mesin tidak sedang beroperasi, waktu mulai operasi mengikuti waktu operasi pada  $c_j$ . Tetapi jika mesin sedang beroperasi, maka waktu mulai operasi mengikuti waktu mesin setelah mesin selesai beroperasi. Lanjutkan ke Langkah 7.
- Langkah 7: Jadwalkan operasi tersebut. Lanjutkan ke Langkah 8.
- Langkah 8: Buat suatu jadwal parsial baru  $PS_{t+1}$  dan perbaiki kumpulan data dengan cara:
- Menambahkan satu pada  $t$ .
  - Menghilangkan operasi  $j$  dari  $S_t$ .
  - Buat  $S_{t+1}$  dengan cara menambah pengikut langsung operasi  $j$  yang telah dihilangkan. Lanjutkan ke Langkah 9.
- Langkah 9: Kembali ke Langkah 2 untuk setiap alternatif jadwal parsial  $PS_t$  yang dapat dibuat pada Langkah 3.  
Lanjutkan proses ini sampai semua operasi selesai dijadwalkan.

Pada penelitian ini, dalam melakukan penjadwalan untuk jumlah produk dan variasi proses produksi yang tinggi, maka penjadwalan dilakukan secara bertahap. Penjadwalan dilakukan terhadap *job* utama terlebih dahulu, kemudian terhadap *job* sisipan. Penyisipan *job* hanya dapat dilakukan tanpa mengubah atau melakukan pergeseran pada jadwal proses produksi *job* utama. *Job-job* sisipan dimasukkan ke dalam jadwal, dimana mesin-mesin yang digunakan untuk proses produksi *job* utama sedang mengalami *idle*.

Kriteria *job* sisipan dapat dijadwalkan tanpa melakukan pergeseran pada jadwal *job* utama dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Ketersediaan mesin yang diperoleh dari data mesin *idle job* utama terdiri dari dua notasi, yaitu waktu tercepat mesin dapat dimulai ( $r_k$ ) dan waktu terakhir mesin dapat digunakan untuk mengoperasikan *job* sisipan ( $c_k$ ). Ketersediaan mesin menjadi layak, jika

$$c_k \geq c_j^* \quad \text{.....(4-1)}$$

Sehingga nilai  $c_k$  harus selalu mengikuti nilai minimum dari waktu tercepat *job* dapat dimulai ( $c_j^*$ ) pada setiap *stage*.

2. Waktu tercepat *job* dapat dimulai ( $c_j$ ) harus berada diantara waktu  $r_k$  dan  $c_k$ . *Job* sisipan akan layak dijadwalkan, jika

$$r_k \leq c_j \leq c_k^* \quad \text{.....(4-2)}$$

3. Waktu tercepat *job* dapat diselesaikan ( $r_j$ ) harus kurang dari atau sama dengan waktu  $c_k$ . *Job* sisipan akan layak dijadwalkan, jika

$$r_j \leq c_k^* \quad \text{.....(4-3)}$$

4. Keseluruhan *job* yang memenuhi  $c^*$  dan mengalami antrian pada  $m^*$  yang sama, maka keseluruhan *job* tersebut akan layak dijadwalkan jika waktu selesai *job* terakhir yang dijadwalkan ( $r_j^*$ ) pada  $m^*$  tersebut kurang dari atau sama dengan  $c_k$ . *Job* sisipan akan layak dijadwalkan jika

$$r_j^* \leq c_k^* \quad \text{.....(4-4)}$$

Berikut ini adalah algoritma *Non-delay* untuk mesin majemuk disertai *job* sisipan yang digunakan dalam pengolahan data.

- Langkah 1: Beri nilai  $t=0$ , dan dimulai dari  $PS_t$ , seperti sebagai jadwal parsial yang gagal. Pada mulanya,  $S_t$  adalah semua aktifitas tanpa adanya pendahulu. Lanjutkan ke langkah 2.
- Langkah 2: Tentukan  $c_j$ , dimana  $c_j = \{r_k \leq c_j \leq c_k\}$  untuk operasi yang menggunakan mesin yang sama dengan mesin yang digunakan untuk proses produksi *job* utama, atau  $c_j = \{c_j \geq r_k\}$  untuk operasi yang menggunakan mesin yang berbeda dengan mesin yang digunakan untuk proses produksi *job* utama. Lanjutkan ke Langkah 3.
- Langkah 3: Tentukan  $c^*$ , dimana  $c^* = \min\{c_j ; j \in S_t\}$  dan mesin  $m^*$ , yaitu mesin yang merealisasikan  $c^*$ . Lanjutkan ke Langkah 4.
- Langkah 4: **Untuk semua operasi  $j \in S_t$  yang memerlukan  $m^*$  dan memenuhi  $c_j = c^*$ , maka tambahkan operasi  $j$  yang memenuhi syarat ini ke dalam  $PS_t$ . Untuk semua operasi  $j \in PS_t$  dengan  $m^*$  yang sama hanya terdiri dari satu operasi lanjutkan ke Langkah 7. Untuk semua operasi  $j \in PS_t$  dengan  $m^*$  yang sama lebih dari satu operasi, urutkan operasi tersebut berdasarkan aturan prioritas **Fewest Operation (FO)** atau *job* dengan sisa operasi paling sedikit.** Jika masih ada lebih dari satu operasi yang memiliki sisa operasi yang sama, maka prioritas selanjutnya lanjutkan ke

- Langkah 5. Jika setiap operasi memiliki sisa operasi yang berbeda maka lanjutkan ke Langkah 6.
- Langkah 5: Urutkan operasi berdasarkan nilai bobot ( $w_i$ ) yang tertinggi. Lanjutkan ke Langkah 6.
- Langkah 6: Melihat waktu selesai operasi ( $r_j^*$ ) pada urutan pengoperasian yang terakhir. Jika waktu selesai operasi ( $r_j^*$ ) tidak melebihi waktu terakhir mesin dapat digunakan untuk mengoperasikan *job* sisipan ( $c_k$ ) lanjutkan ke Langkah 7. Jika  $r_j^*$  melebihi  $c_k$  batalkan sebagian operasi sehingga  $r_j^* \leq c_k$ , kembalikan operasi yang dibatalkan ke Langkah 2.
- Langkah 7: Melihat ketersediaan mesin, apakah mesin tunggal atau mesin dengan jumlah lebih dari satu. Jika mesin tunggal, maka langsung lanjutkan ke Langkah 8. Sedangkan untuk mesin dengan jumlah lebih dari satu, maka dipilih mesin dengan *ready time* ( $r_k$ ) tercepat. Lanjutkan ke Langkah 8.
- Langkah 8: Melihat apakah mesin sedang dalam keadaan beroperasi atau tidak. Jika mesin tidak sedang beroperasi, waktu mulai operasi mengikuti waktu operasi pada  $c_j$ . Tetapi jika mesin sedang beroperasi, maka waktu mulai operasi mengikuti waktu mesin setelah mesin selesai beroperasi. Lanjutkan ke Langkah 9.
- Langkah 9: Jadwalkan operasi tersebut. Lanjutkan ke Langkah 10.
- Langkah 10: Buat suatu jadwal parsial baru  $PS_{t+1}$  dan perbaiki kumpulan data dengan cara:
- Menambahkan satu pada  $t$ .
  - Menghilangkan operasi  $j$  dari  $S_t$ .
  - Buat  $S_{t+1}$  dengan cara menambah pengikut langsung operasi  $j$  yang telah dihilangkan.
- Lanjutkan ke Langkah 11.
- Langkah 11: Melihat apakah masih ada operasi yang tersisa. Jika ya, kembali ke Langkah 3 untuk setiap alternatif jadwal parsial  $PS_t$ , yang dapat dibuat pada Langkah 4. Lanjutkan proses ini sampai semua operasi selesai dijadwalkan.

Notasi-notasi yang digunakan dalam algoritma ini adalah sebagai berikut:

$PS_t$  = jadwal parsial yang berisi  $t$  jadwal operasi.

$S_t$  = satu set operasi yang telah direncanakan di tahap  $t$ .

$t_j$  = waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan operasi ke- $j$ .

$c_j$  = waktu tercepat pada operasi  $j \in S_t$  dapat dimulai.

$r_j$  = waktu tercepat pada operasi  $j \in S_t$  dapat diselesaikan.

$r_j$  =  $c_j + t_j$

$w_i$  = nilai bobot dari suatu *job* ke- $i$ .

$c_j^*$  = waktu mulai untuk suatu operasi  $j \in PS_t$ .

$r_j^*$  = waktu selesai untuk suatu operasi  $j \in PS_t$ .

$r_k$  = waktu tercepat operasi pada mesin  $k$  dapat dimulai.

$c_k$  = waktu terakhir mesin  $k$  dapat digunakan untuk mengoperasikan *job* sisipan.

## Pengolahan Data

### Job Utama

Algoritma *Non-delay* adalah jadwal aktif dimana tidak ada mesin yang menganggur jika dapat memulai operasi tertentu. Hal ini dimaksudkan untuk dapat meningkatkan utilitas produksi dan memperoleh *makespan* yang lebih cepat. Pada *stage 0* atau *stage* awal semua operasi yang termasuk dalam anggota  $S_t$  ( $j \in S_t$ ) siap untuk dijadwalkan, karena pada *stage* ini adalah operasi tanpa pendahulu dan semua mesin siap untuk dioperasikan. Pada *stage 0* perbedaan secara *significant* dapat terlihat pada penggunaan tiga aturan prioritas. Prioritas pertama pada SPT, operasi-operasi dengan waktu proses terpendek diproses lebih dulu, sedangkan pada MOR dan FO secara berturut-turut operasi dengan sisa operasi terbanyak dan paling sedikit diproses lebih dulu. Pengurutan operasi pada ketiga proses penjadwalan tersebut tidak dapat diselesaikan hanya dengan penggunaan prioritas pertama saja, pengurutan dilanjutkan dengan menggunakan prioritas kedua yaitu prioritas bobot.

### Job Sisipan

Dari hasil penjadwalan *job* utama dengan menggunakan ketiga prioritas tersebut diperoleh nilai *makespan* untuk SPT selama 894 jam, MOR selama 798 jam, dan FO selama 822 jam. Waktu penyelesaian keseluruhan *job* tercepat dihasilkan pada penjadwalan dengan menggunakan prioritas MOR. Hasil penjadwalan prioritas MOR dilanjutkan dengan dilakukannya penyisipan *job* pada hasil penjadwalan tersebut. Dengan melihat *Gantt Chart* hasil penjadwalan prioritas MOR maka diperoleh data mesin *idle job* utama.

Kesiapan beroperasi untuk mesin-mesin yang digunakan pada proses produksi *job* utama dapat dilihat pada data mesin *idle job* utama. Mesin-mesin yang tidak digunakan pada proses produksi *job* utama memiliki kesiapan beroperasi sejak  $t=0$ . Prioritas pertama yang digunakan pada penjadwalan *job* sisipan adalah prioritas *Fewest Operation* (FO), dan kemudian proses pengurutan dilanjutkan dengan prioritas bobot jika masih ada operasi dengan sisa operasi yang sama pada pemakaian mesin ( $m^*$ ) yang sama.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ketiga penjadwalan *non-delay* menggunakan aturan prioritas SPT, MOR, dan FO yang menghasilkan *makespan* terkecil adalah prioritas MOR. Hasil perbandingan penjadwalan dengan menggunakan tiga *priority rules* terhadap beberapa kriteria dapat dilihat pada tabel 6.

Tabel 6. Perbandingan Pemakaian Tiga Prioritas

	SPT	MOR	FO
<b>Makespan</b>	<b>894</b>	<b>798</b>	<b>822</b>
<b>Mean Flow Time</b>	<b>234</b>	<b>339</b>	<b>317</b>
<i>Tablet</i>	177	323	178
<i>Tablet Salut</i>	297	356	470
<b>Completion Machine</b>			
<i>Stage 5</i>	722	<b>792</b>	678
<i>Stage 6</i>	<b>780</b>	637	<b>762</b>
<i>Stage 7</i>	894	798	822

Penjadwalan dengan prioritas SPT biasa digunakan untuk minimasi total waktu penyelesaian rata-rata (*mean flow time*) tiap *job* yang pada akhirnya dapat meminimumkan *makespan*. Prioritas MOR digunakan untuk melakukan penjadwalan dengan memproses *job-job* dengan urutan proses yang lebih banyak terlebih dahulu, *job-job* yang memenuhi ketentuan tersebut adalah produk tablet salut. Penjadwalan ini akan menghasilkan penjadwalan yang mengutamakan untuk memberikan pasokan kepada mesin pada *stage 6*. Pada prioritas FO, penjadwalan dilakukan dengan memproses terlebih dahulu terhadap *job-job* dengan jumlah urutan operasi lebih sedikit. Prioritas FO mempercepat waktu awal pengoperasian mesin pada *stage 7*, namun memperlambat waktu penyelesaian pengoperasian mesin pada *stage 6*, sehingga penjadwalan ini memberikan hasil *makespan* terlama.

Pejadwalan *non-delay* adalah sekumpulan jadwal *feasible* dimana tidak satu pun mesin dibiarkan menganggur jika pada saat yang bersamaan terdapat operasi yang memerlukan mesin tersebut. Minimasi mesin menganggur (*idle time*) berpengaruh terhadap peningkatan utilitas produksi, sehingga total waktu penyelesaian (*completion time*) tiap-tiap *job* berkurang yang secara keseluruhan dapat mereduksi *makespan*.

Prioritas SPT memberikan hasil *makespan* paling tinggi dengan nilai *mean flow time* paling rendah. Hal tersebut menunjukkan bahwa optimalitas *makespan* belum tentu diikuti dengan optimalitas *mean flow time*. Penjadwalan ini akan mengurangi *job* persediaan barang setengah jadi, yang berpengaruh terhadap biaya penyimpanan persediaan. Besarnya *makespan* disebabkan karena pada penjadwalan, prioritas diberikan pada *job* dengan waktu proses yang pendek tanpa memperhitungkan sisa operasi sebagai proses pengendalian terhadap pemberian pasokan pada *stage 6* yang merupakan mesin dengan pasokan terbanyak atau *stage 7* yang merupakan *stage* terakhir pada proses produksi. Hasil yang sama diperoleh pada penjadwalan dengan prioritas FO, proses produksi terhadap produk tablet terlebih dahulu menyebabkan keterlambatan pengoperasian pada mesin XL-Cota di lantai produksi. Prioritas SPT dan FO memberikan waktu alir yang cepat terhadap produk-produk tablet.

Prioritas MOR memberikan hasil *makespan* selama 798 jam, prioritas ini memberikan hasil penjadwalan dengan pengendalian pemberian pasokan pada *stage 6* yang dapat diperlihatkan dengan perolehan *completion machine* paling rendah dibandingkan prioritas lain, yaitu sebesar 637 jam. Ketika mesin dengan pasokan paling banyak dapat menyelesaikan pengoperasian keseluruhan *job* pada mesin tersebut lebih cepat, maka akan mempercepat penyelesaian keseluruhan *job* dalam sistem.

Penjadwalan yang disertai *job* sisipan pada *job* utama, dimaksudkan untuk mengetahui pengaruh penjadwalan tersebut terhadap *makespan* yang dihasilkan pada penjadwalan *job* utama. Proses produksi untuk 25 *job* sisipan dapat diselesaikan dalam waktu 681 jam, hal ini menunjukkan penyisipan *job* pada hasil penjadwalan *job* utama dengan tidak mengubah urutan proses produksi *job* utama tersebut, tidak menyebabkan penambahan waktu penyelesaian keseluruhan. Penyisipan *job* yang dilakukan tetap menghasilkan utilitas mesin yang rendah dengan hanya menambah satu mesin yang memiliki utilitas di atas 50%, mesin tersebut adalah mesin JC 39 pada *stage*. Peningkatan utilitas mesin setelah dilakukan penyisipan *job* dapat dilihat pada tabel 7.

Tabel 7. Utilitas Mesin Penjadwalan *Non-Delay* untuk Mesin Majemuk melalui *Job* Sisipan

