

MODEL INTEGRASI PENJADWALAN *BATCH* DAN PENJADWALAN PREVENTIVE MAINTENANCE DENGAN KRITERIA MINIMISASI BIAYA SIMPAN, BIAYA *SETUP*, BIAYA PM, SERTA BIAYA *REWORK* PADA MESIN STABIL

Zahedi

Mathematics Department, School of Computer Science, Binus University
Jl. K.H. Syahdan No. 9, Palmerah, Jakarta Barat 11480
zahedizahedi@binus.ac.id

ABSTRACT

This study developed a model of batch scheduling involving the unavailability machine to minimize setup costs, cost of preventive maintenance and the cost of rework in a stable machine. This model is considered necessary in order to understand the effect of the unavailability machine for production runs and to understand the effect on the batch production schedule. The results of this study indicate that the first and last run will not give single batch. Given a hypothetical example of how the model and algorithm developed solve the problem instance.

Keywords: *flow time, production run, stable machine*

ABSTRAK

Penelitian ini mengembangkan model penjadwalan batch dengan melibatkan waktu ketidakersediaan mesin dengan kriteria minimisasi biaya simpan, biaya setup, biaya preventive maintenance, serta biaya rework pada mesin stabil. Model ini dipandang perlu untuk dapat memahami pengaruh ketidakersediaan mesin pada berbagai production run dan melihat pengaruhnya pada jadwal yang terjadi. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa run pertama dan terakhir akan memberikan jumlah batch yang tidak tunggal. Diberikan contoh hipotetis bagaimana model dan algoritma yang dikembangkan menyelesaikan problem contoh.

Kata kunci: *flow time, production run, mesin stabil*

PENDAHULUAN

Beberapa literatur tentang perawatan, seperti Barlow dan Proschan (1965), Sherwin dkk. (1993), Ebeling (1997) serta Rigdon dan Basu (2000), mengemukakan teori tentang reliabilitas, maintainabilitas dan optimisasi biaya pada penjadwalan perawatan. Fleischer dkk. (2008) mengemukakan model penaksiran *life cycle cost* dengan menggunakan simulasi Monte-Carlo dan fungsi tujuan minimisasi biaya penalti pihak pabrikan mesin terhadap variabilitas mesin-mesin yang diproduksi. Duarte dkk. (2006, 2007) membahas optimisasi rencana *preventive maintenance* untuk mesin tunggal dan mesin seri. Hal yang dapat diobservasi adalah bahwa literatur-literatur tersebut tidak mempertimbangkan penjadwalan produksi dalam pembahasannya.

Di pihak lain beberapa penelitian mengenai penjadwalan produksi tidak mempertimbangkan aspek perawatan, baik pada penjadwalan *job* maupun *batch*. Pada penjadwalan *job* di antaranya adalah Olafson dan Shi (2000), Tansel dkk. (2001) serta Xiao dan Li (2002). Dalam penelitian tersebut permasalahan yang dibahas adalah penjadwalan produksi *job* dengan waktu pemrosesan *job* diketahui, namun tidak mempertimbangkan selang perawatan mesin. Pada penelitian-penelitian tentang penjadwalan *batch*, di antaranya Dobson dkk. (1987, 1989), Halim (1993), Halim dan Ohta (1994, 1996), Halim dkk. (2001), Buckchin dkk. (2002), serta Meng dan Heragu (2004). Permasalahan yang dibahas adalah penjadwalan *batch* dengan ukuran *batch* tidak konstan menjadi solusi yang diusulkan dan mesin diasumsikan tersedia selama periode perencanaan produksi.

Makalah ini mengusulkan suatu model penjadwalan *batch* dengan melibatkan waktu ketidaktersediaan mesin pada kasus mesin stabil sebagai proporsi *production run* dengan kriteria minimasi *total actual flow time*. Dalam model awal ini diasumsikan mesin stabil dengan peluang kerusakan yang sama sepanjang *planning horizon* yaitu p . Semua *part* akan diserahkan pada waktu *due date* d . Semua *part* yang *non conforming* akan dikerjakan dalam suatu *batch* terakhir sebelum *due date*.

METODE

Misalkan sekumpulan q *part* (satu order) dari item sejenis akan diproses pada sebuah mesin dengan ketidaktersediaan mesin merupakan selang waktu PM. Setiap *part* hanya perlu satu operasi untuk menyelesaikan (*single stage*). Dalam model awal ini diasumsikan mesin stabil dengan peluang kerusakan yang sama sepanjang *planning horizon* yaitu p . Semua *part* akan diserahkan pada waktu *due date* d . Semua *part* yang *non conforming* akan dikerjakan dalam suatu *batch* terakhir sebelum *due date* dan diberi notasi Q . Permasalahan yang dibahas adalah menentukan ukuran-ukuran *batch*, jadwal *batch*, menentukan jumlah PM dan jadwal PM yang meminimasi biaya simpan, biaya *setup*, biaya PM serta biaya *rework* dalam kriteria penjadwalan waktu tinggal aktual.

Parameter-parameter yang diketahui adalah

- t : waktu proses per *part*
- s : waktu *setup* antar *batch*
- q : jumlah *part* yang akan diproses
- d : waktu penyerahan seluruh part d (*common due date*)
- c_1 : biaya simpan untuk *finished-part* per unit per satuan waktu dalam satuan biaya
- c_2 : biaya simpan untuk *work-in-process part* per unit per satuan waktu dalam satuan biaya
- c_{PM} : biaya satuan per PM

- t_{PM} : panjang interval waktu PM
- c_s : biaya satuan untuk satu kali *setup*
- p : peluang kerusakan part
- $Q_{[01]}$: ukuran *batch* untuk part *non conforming*, $Q_{[01]} = pq$
- r : biaya *rework* satuan part *non conforming*

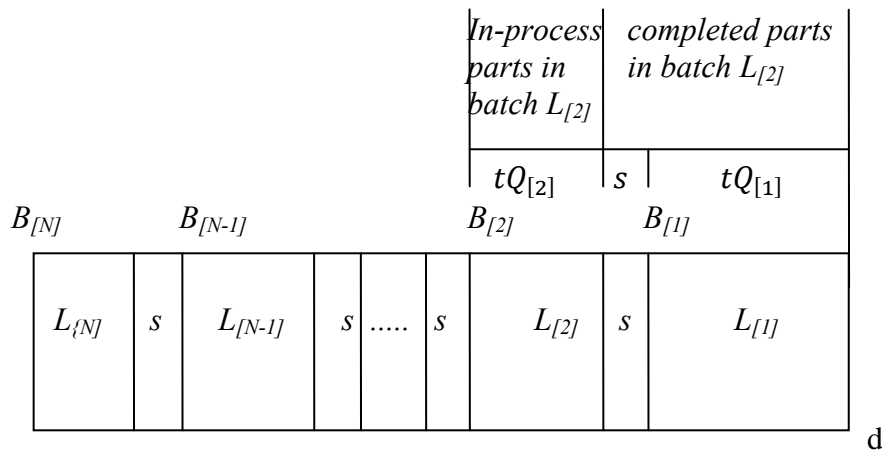
Variabel-variabel keputusan adalah

- $L_{[ik]}$: *batch* yang dijadwalkan pada posisi ke- i dalam *cycle* ke- k (secara *backward*)
- $Q_{[ik]}$: ukuran *batch* $L_{[ik]}$ dalam unit
- N : jumlah seluruh *batch*
- $B_{[ik]}$: saat mulai pemrosesan *batch* $L_{[ik]}$
- $C_{[ik]}$: saat selesai *batch* $L_{[ik]}$
- $A_{PM[k]}$: saat awal PM ke- k
- $B_{PM[k]}$: saat selesai PM ke- k

Biaya simpan dalam Indrapriatna (2009) untuk satu *production cycle* adalah

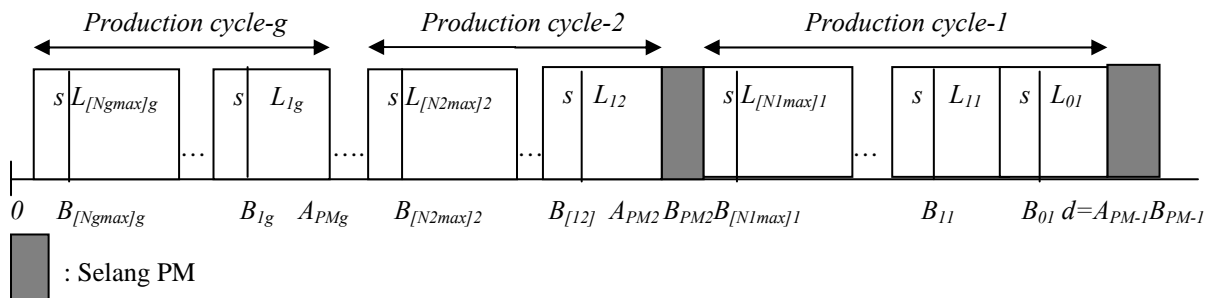
$$ToIC = c_I \sum_{i=1}^{N-1} \left\{ \sum_{j=1}^i (tQ_{[j]} + s) \right\} Q_{i+1} + \frac{c_1 + c_2}{2} t \sum_{i=1}^N Q_{[i]}^2 + \frac{c_2 - c_1}{2} t \sum_{i=1}^N Q_{[i]} \quad (1)$$

Suku pertama dalam biaya simpan (1) adalah total biaya simpan *part* dalam *completed batch* dan suku kedua dan ketiga adalah total biaya simpan selama *part* diproses dalam *batch* (*in process batch*) dalam satu *production cycle*. Persamaan (1) dan Gambar (1) dari Indrapriatna (2009) akan dikembangkan menjadi formulasi biaya simpan untuk g *production cycle* dan menyisipkan selang PM secara simultan. Berikut akan diturunkan formulasi biaya simpan untuk 2, kemudian 3, selanjutnya akan di generalisir untuk g *production cycle*. Jika dalam suatu *production run* terdapat g *production cycle* maka akan terdapat $(g-1)$ interval PM sepanjang *production run* dan PM terakhir dilakukan tepat saat *due date* (PM-1).



Gambar 1 Posisi *batch* dengan satu *production cycle*

Pengembangan biaya simpan untuk g production cycle



Gambar 2 Posisi *batch* dalam sistem manufaktur satu mesin dengan g production cycle

Dengan memperhatikan perubahan yang terjadi untuk setiap *production cycle* dan jumlah PM maka untuk g production cycle dan $g-1$ selang PM maka dapat diformulasikan total biaya simpan adalah;

$$\begin{aligned}
 ToIC(g) = & c_1 \sum_{i=0}^{N1max-1} \left\{ \sum_{j=0}^i (tQ_{[j1]} + s) \right\} Q_{(i+1)1} \\
 & + \frac{c_1+c_2}{2} t \sum_{i=0}^{N1max} Q_{[i1]}^2 + \frac{c_2-c_1}{2} t \sum_{i=0}^{N1max} Q_{[i1]} + \sum_{k=2}^g [c_1 \sum_{i=1}^{Nkmax-1} \left\{ \sum_{j=1}^i (tQ_{[jk]} + s) \right\} Q_{(i+1)k} + \\
 & \frac{c_1+c_2}{2} t \sum_{i=1}^{Nkmax} Q_{[ik]}^2 + \frac{c_2-c_1}{2} t \sum_{i=1}^{Nkmax} Q_{[ik]}] + c_1 \sum_{i=1}^{Nkmax} Q_{[ik]} (k-1)t_{PM} + \sum_{i=1}^{N(k-1)max} (tQ_{[jk]} + s)
 \end{aligned} \quad (2)$$

Untuk biaya PM sepanjang *production run*, dengan g production cycle dan g PM adalah

$$TCPM = g c_{PM} \quad (3)$$

Untuk total biaya *setup* adalah jumlah jumlah total *batch* dikalikan dengan biaya satuan *setup*, atau ditulis $TCS = c_s \sum_{k=1}^g N_{k(max)}$

$$(4)$$

Untuk total biaya rework sepanjang *production run* adalah $TR = rpq$

$$(5)$$

Fungsi tujuan yang akan digunakan adalah minimasi total biaya simpan, biaya PM dan biaya *setup* (TCS) serta biaya rework (TR) dapat dirumuskan sebagai minimasi persamaan (2), (3), (4) dan (5) atau Minimasi $TC = ToIC(g) + TCPM + TCS + TR$

$$(6)$$

Beberapa kendala pada problem penjadwalan satu item satu mesin dengan g interval PM dapat diuraikan sebagai berikut:

Keseimbangan jumlah part dalam semua *batch* akan sama dengan jumlah keseluruhan part yang dijadwal, dengan asumsi proses sempurna tanpa kerusakan, dirumuskan sebagai jumlah dari jumlah part dalam *batch* ke- i pada *production cycle* ke- k atau

$$\sum_{k=1}^g \sum_{i=1}^{Nk(max)} Q_{ik} = q \quad (7)$$

Setiap *batch* terjadwal diasumsikan datang tepat pada saat akan diproses dan harus rapat ke *due date*, atau dapat ditulis sebagai dua persamaan berturut-turut untuk *production cycle* pertama (8) dan untuk *production cycle* kedua dan selanjutnya (9)

$$B_{i1} + \sum_{i=0}^{N1(\max)} (sX_{i1} + tQ_{i1}) - s = d, \quad k = 1 \quad (8)$$

$$B_{ik} + \sum_{l=1}^k \left[\sum_{j=1}^i (sX_{jl} + tQ_{jl} + (k-1)t_{PM}) \right] - s + \sum_{i=1}^{N1(\max)} (sX_{i1} + tQ_{i1}) = d, \\ i = 1, 2, \dots, Nk(\max) \text{ dan } k = 2, 3, \dots, g \quad (9)$$

Untuk pengaturan *sequencing* antar *batch* akan digunakan variable biner Y_{ij}^{kl} yang bernilai 0 atau 1, dimana Y_{ij}^{kl} bernilai 1 apabila *batch* ke- i pada *production cycle*- j mendahului *batch* ke- k pada *production cycle* ke- l secara *backward*, dan bernilai 0 untuk sebaliknya. Untuk semua *batch* terjadwal dapat dirumuskan sebagai

$$B_{i1} + tQ_{i1} \leq B_{(i+1)1} + M Y_{i1}^{(i+1)1}, \quad i = 0, 1, 2, \dots, (N_{1(\max)} - 1), j = 1 \quad (10)$$

$$B_{ij} + tQ_{ij} \leq B_{(i+1)j} + M Y_{ij}^{(i+1)j}, \quad i = 1, 2, \dots, (N_{i(\max)} - 1), j = 2, 3, \dots, g \quad (11)$$

Dimana M adalah suatu bilangan yang cukup besar untuk menjamin *sequencing*, dalam prakteknya dapat diambil $M=q(s+t)$.

Metoda PM menggunakan *regular* PM, dimana interval waktu PM akan berada tepat ditengah setiap *production cycle*. Dengan memperhatikan Gambar 2 di atas, maka dapat diturunkan waktu mulai PM dan waktu berakhirnya PM untuk 2, 3 kemudian digeneralisir untuk g *production cycle*.

2 *production cycle* dengan 2 interval PM

$$A_{PM-1} = B_{01} + tQ_{01}$$

$$A_{PM-1} = d$$

$$B_{PM-1} = A_{PM-1} + t_{PM}, \text{ selanjutnya}$$

$$A_{PM-2} = B_{12} + tQ_{12}$$

$$B_{PM-2} = A_{PM-2} + t_{PM}$$

$$A_{PM-2} + \frac{1}{2}t_{PM} = (B_{[N2\max]2} - s) + \frac{d - (B_{[N2\max]2} - s)}{2}$$

3 *production cycle* dengan 3 interval PM

$$A_{PM-1} = B_{01} + tQ_{01}$$

$$A_{PM-1} = d$$

$$B_{PM-1} = A_{PM-1} + t_{PM}, \text{ selanjutnya}$$

$$A_{PM-2} = B_{I2} + t Q_{I2}$$

$$B_{PM-2} = A_{PM-2} + t_{PM}$$

$$A_{PM-2} + \frac{1}{2}t_{PM} = (B_{[N3max]3} - s) + \frac{2}{3}(d - (B_{[N3max]3} - s)), \text{ selanjutnya}$$

$$A_{PM-3} = B_{I3} + t Q_{I3}$$

$$B_{PM-3} = A_{PM-3} + t_{PM}$$

$$A_{PM-3} + \frac{1}{2}t_{PM} = (B_{[N3max]3} - s) + \frac{1}{3}(d - (B_{[N3max]3} - s))$$

Generalisasi untuk g production cycle dengan g interval PM adalah

$$A_{PM-1} = B_{01} + t Q_{01}$$

$$A_{PM-1} = d$$

$$B_{PM-1} = A_{PM-1} + t_{PM}, \text{ selanjutnya}$$

$$A_{PM-2} = B_{I2} + t Q_{I2}$$

$$B_{PM-2} = A_{PM-2} + t_{PM}$$

$$A_{PM-2} + \frac{1}{2}t_{PM} = (B_{[Ngmax]g} - s) + \frac{g-1}{g}(d - (B_{[Ngmax]g} - s)), \text{ selanjutnya}$$

...

$$A_{PM-g} = B_{Ig} + t Q_{Ig}$$

$$B_{PM-g} = A_{PM-g} + t_{PM}$$

$$A_{PM-g} + \frac{1}{2}t_{PM} = (B_{[Ngmax]g} - s) + \frac{1}{g}(d - (B_{[N3max]3} - s)) \quad (12)$$

Jumlah batch maksimum dihitung dengan persamaan

$$(N_{(\max)} - 1)s + tq \leq d$$

Dengan demikian $N_{\max} = \left\lfloor \frac{d-tq}{s} + 1 \right\rfloor$ (13)

Dibutuhkan juga syarat-syarat kenonnegatifan variabel keputusan dan variabel biner sebagai

$$Y_{ij}^{kl} + Y_{kl}^{ij} = 1 \quad (14)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (15)$$

$$Q_{ij} \leq X_{ij}q \quad (16)$$

$$N_{k(\max)} \geq 1 \quad (17)$$

Model Dan Algoritma Penyelesaian

Model dengan g production cycle dengan g interval PM dengan kriteria minimasi biaya simpan, biaya PM dan biaya *setup* serta biaya *rework* dapat ditulis sebagai berikut.

Model

$$\text{Minimasi } TC = ToIC + T_{CPM} + T_{CS} + TR \quad (18)$$

Kendala

$$\sum_{k=1}^g \sum_{i=1}^{N_{k(\max)}} Q_{ik} = q \quad (19)$$

$$B_{i1} + \sum_{i=0}^{N1(\max)} (sX_{i1} + tQ_{i1}) - s = d, \quad k = 1 \quad (20)$$

$$B_{ik} + \sum_{l=1}^k \left[\sum_{j=1}^i (sX_{jl} + tQ_{jl} + (k-1)t_{PM}) \right] - s + \sum_{i=1}^{N1(\max)} (sX_{i1} + tQ_{i1}) = d, \\ i = 1, 2, \dots, N_{k(\max)} \text{ dan } k = 2, 3, \dots, g \quad (21)$$

$$B_{i1} + tQ_{i1} \leq B_{(i+1)1} + M Y_{i1}^{(i+1)1}, i = 0, 1, 2, \dots, (N_{1(\max)} - 1) \quad (22)$$

$$B_{ij} + tQ_{ij} \leq B_{(i+1)j} + M Y_{ij}^{(i+1)j}, i = 1, 2, \dots, (N_{i(\max)} - 1), j = 2, 3, \dots, g \quad (23)$$

$$A_{PM-1} = B_{01} + t Q_{01}$$

$$A_{PM-1} = d$$

$$B_{PM-1} = A_{PM-1} + t_{PM}, \text{ selanjutnya}$$

$$A_{PM-2} = B_{12} + t Q_{12}$$

$$B_{PM-2} = A_{PM-2} + t_{PM}$$

$$A_{PM-2} + \frac{1}{2} t_{PM} = (B_{[Ngmax]g} - s) + \frac{g-1}{g} (d - (B_{[Ngmax]g} - s)), \text{ selanjutnya}$$

...

$$A_{PM-g} = B_{lg} + t Q_{lg}$$

$$B_{PM-g} = A_{PM-g} + t_{PM}$$

$$A_{PM-g} + \frac{1}{2} t_{PM} = (B_{[Ngmax]g} - s) + \frac{1}{g} (d - (B_{[N3max]3} - s)) \quad (24)$$

$$(N_{(\max)} - 1)s + tq \leq d \quad (25)$$

$$Y_{ij}^{kl} + Y_{kl}^{ij} = 1 \quad (26)$$

$$Q_{ij} \geq 0 \quad (27)$$

$$Q_{ij} \leq X_{ij}q \quad (28)$$

$$N_{k(\max)} \geq 1 \quad (29)$$

Untuk menyelesaikan model ini dirancang suatu algoritma sehingga model ini dapat dioperasikan.

Algoritma

Step-1. Hitung $T_{\min} = q.t$

Step-2. Problem layak jika dan hanya jika $T_{\min} + (g-1) t_{PM} \leq d$. Lanjutkan *Step-3*. Jika $T_{\min} + t_{PM} > d$, maka problem tidak layak, stop.

Step-3. Hitung $N(\max)$ dengan persamaan (25).

Step-4. Set $k = 1$ (k production cycle dengan k PM)

Step-5. Substitusikan nilai-nilai dari N dengan $N = \lfloor N_{maks} \rfloor$, r , p , q , t , s , d , t_{PM} , dan t' ke dalam model.

Step-6. Set $Y_{ij}^{kl} = 1$, jika ij mendahului kl secara *backward*, $\forall i, j, i \neq j$, dan $Y_i^j = 0$ untuk yang lainnya.

Step-7. Set $TC_{(0)} = q(c_1 + c_2 + c_{PM} + c_s)$

Step-8. Set $i = 1, j = k$, set $X_{ij} = 1$, dan $X_{ij} = 0$ untuk yang lain.

Step-9. Selesaikan Model pada *Step-7*.

Step-10. Apakah $B_{[ij]} \geq 0$,

- Jika ya, tulis TC_{ij} ,

- Apakah $TC_{ij} < TC_{(0)}$,

- Jika ya, set $i = i + 1$, lanjutkan ke *step-8*.

- Jika tidak atau tidak layak, set $k = k + 1$, kembali ke *step-4*.

-Jika tidak, Solusi optimal tercapai, lanjutkan *step-11*.

Step-11. Tulis nilai fungsi tujuan dan semua nilai variabel keputusan.

Akan diberikan suatu contoh untuk melihat bagaimana algoritma ini bekerja:

Misalkan jumlah part yang akan dijadwal pada mesin stabil berjumlah $q = 200$ part, waktu *setup* antar *batch* $s = 30$ menit, waktu proses per part $t = 20$ menit, panjang interval ketidaktersediaan mesin $t_{PM} =$

60 menit, waktu penyerahan seluruh part $d = 5000$, biaya simpan finished part $c_1 = 20$ US\$, biaya simpan in process part $c_2 = 10$ US\$, biaya satuan preventive maintenance $c_{PM} = 600$ US\$, biaya satuan setup $c_s = 50$ US\$, biaya satuan restorasi $r = 60$ US\$ dan peluang kerusakan part selama diproses adalah konstan $p = 0,05$.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Step-1 sampai step-3 memberikan $T_{\min} = 4000$, $4000+60 < 5000$, dan $N_{\max}=34$, sehingga problem layak untuk model.

Step-4 sampai 11 pada prinsipnya dimulai dengan satu *production cycle* dengan satu PM, selanjutnya tingkatkan jumlah *batch* pada *production cycle* pertama ini secara *backward* sampai diperoleh jumlah *batch* optimal ditandai dengan kenaikan *total cost* (TC) atau problem tidak layak. Kemudian dua *production cycle* dengan dua PM, dimulai dengan meningkatkan jumlah *batch* pada *production cycle-1* kemudian *production cycle-2* sampai terjadi kenaikan TC atau problem tidak layak. Proses ini dilanjutkan sampai diperoleh jumlah *production cycle* dan jumlah PM optimal dengan TC minimum.

SET *production cycle* $k=1$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 1 Iterasi pada satu *production run*

Jumlah batch	TC
2	$2,41101 \times 10^8$
3	$2,10424 \times 10^8$
4	$2,00887 \times 10^8$
5	$1,96612 \times 10^8$
6	Tak Layak

SET *production cycle* $k=2$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 2 Iterasi pada dua *production run*

Jumlah batch PC-1	Jumlah batch PC-2	TC
1	1	$6,21333 \times 10^7$
2	1	$5,66864 \times 10^7$
3	1	$5,47851 \times 10^7$
4	1	$5,37449 \times 10^7$
5	1	Tidak layak
1	2	Tidak layak

SET *production cycle* $k=3$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 3 Iterasi pada tiga *production run*

Batch PC-1	Batch PC-2	Batch PC-3	TC
1	1	1	$3,12708 \times 10^7$
2	1	1	$2,95578 \times 10^7$
3	1	1	$2,88195 \times 10^7$
4	1	1	$2,83000 \times 10^7$
5	1	1	Tidak layak, stop
4	2	1	$2,94610 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
4	1	2	$2,83395 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)

SET *production cycle* $k=4$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 4 Iterasi pada empat *production run*

Batch PC-1	Batch PC-2	Batch PC-3	Batch PC-4	TC
1	1	1	1	$2,10974 \times 10^7$
2	1	1	1	$2,04077 \times 10^7$
3	1	1	1	$2,00029 \times 10^7$
4	1	1	1	Tidak layak, stop
3	2	1	1	$2,08458 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
3	1	2	1	$2,00713 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
3	1	1	2	$2,00930 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)

SET *production cycle* $k=5$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 5 Iterasi pada lima *production run*

Batch PC-1	Batch PC-2	Batch PC-3	Batch PC-4	Batch PC-5	TC
1	1	1	1	1	$1,67217 \times 10^7$
2	1	1	1	1	$1,63765 \times 10^7$
3	1	1	1	1	Tidak layak, stop
2	2	1	1	1	$1,65564 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
2	1	2	1	1	$1,64569 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
2	1	1	2	1	$1,64288 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
2	1	1	1	2	$1,63936 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)

SET *production cycle* $k=6$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 6 Iterasi pada enam *production run*

Batch PC-1	Batch PC-2	Batch PC-3	Batch PC-4	Batch PC-5	Batch PC-6	TC
1	1	1	1	1	1	$1,51039 \times 10^7$
2	1	1	1	1	1	Tidak layak, stop
1	2	1	1	1	1	$1,56726 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
1	1	2	1	1	1	$1,52003 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
1	1	1	2	1	1	$1,51766 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
1	1	1	1	2	1	$1,515294 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)
1	1	1	1	1	2	$1,51004 \times 10^7$
1	1	1	1	1	3	$1,51426 \times 10^7$ (TC meningkat, stop)

SET *production cycle* $k=7$, berturut-turut untuk jumlah *batch* tidak termasuk *rework batch* dengan TC adalah

Tabel 7 Iterasi pada tujuh *production run*

PC-1	PC-2	PC-3	PC-4	PC-5	PC-6	PC-7	TC
1	1	1	1	1	1	1	Tidak layak, terlalu dekat ke time zero

Hasil optimal tercapai pada 6 *production cycle* dengan 6 PM dengan urutan dan ukuran *batch* serta waktu mulai pekerjaan dan waktu mulai dan berakhirnya PM sebagaimana tabel berikut

Tabel 8 Hasil terbaik algoritma

L_{ij}	Q_{ij}	B_{ij}	A_{PM}	B_{PM}	TC
Q_{01}	10	4800	5000	5060	$1,51004 \times 10^7$
Q_{11}	25	4270			
Q_{12}	35	3480	4180	4240	
Q_{13}	35	2690	3390	3450	
Q_{14}	35	1900	2600	2660	
Q_{15}	35	1110	1810	1870	
Q_{16}	19	640	1020	1080	
Q_{26}	16	290			

SIMPULAN

Dari contoh yang diberikan dapat diperlihatkan siklus yang pertama dan terakhir akan memberikan jumlah *batch* yang tidak tunggal. Ini disebabkan pada posisi awal penjadwalan secara *backward*, metoda penjadwalan dapat mengurangi waktu tinggal aktual.

Kelanjutan Penelitian

Memasukkan aspek deteriorasi mesin, dimana proses bergeser dari status *in control* menjadi status *out of control* mengikuti suatu fungsi kerusakan mesin berdistribusi IFR Weibull, kemudian menghitung *restoring cost* untuk mengembalikan status mesin dari *out of control* menjadi *in control*.

DAFTAR PUSTAKA

- Barlow, R. E., Proschan, F., (1965). *Mathematical theory of reliability*. New York: John Willey & Sons, Inc.
- Buckchin, J., Tzur, M., Jaffe, M., (2002). Lot Splitting to Minimize Average Flow-Time in a Two-Machines Flow Shop. *IEE Transactions*, 34, 953-970.
- Dobson, G., Karmarkar, U.S., Rummel, J.L., (1987). Batching to Minimize Flow Times on One Machine. *Management Science*, 33, 784-799.
- Dobson, G., Karmarkar, U.S., Rummel, J.L., (1989). Batching to Minimize Flow Times on Heterogeneous Machines. *Management Science*, 35, 607-613.
- Duarte, J. C., Soares, C. G., (2007). Optimisation of preventive maintenance plan of a series components system with Weibull hazard function. *RTA4*, Special Issue, 33-39,.
- Duarte, J.C., Craveiro, J.T., Trigo, T. (2006). Optimization of the preventive maintenance plan of a series components system. *International Journal of Pressure Vessels and Piping*, 83, 244-248.
- Ebeling, C.E., (1997). *Reliability and Maintainability Engineering*. Singapore: Mc-Graw Hill Inc.
- Fleischer, J., Waweria, M., Niggeschmidt, S. (2008). Machine Life Cycle Cost Estimation via Monte-Carlo Simulation. *Proceeding of 4th CIR Conference on Life Cycle Engineering*, 449-453.
- Halim, A. H. (1993). Batch Scheduling for Production Systems under Just in Time Environment. *Disertasi Doktor*, University Osaka Prefecture, Japan.
- Halim, A. H., Ohta, H. (1993). Batch-scheduling problems through flow shop with both receiving and delivery just in time. *Int. J. Prod. Res*, 31, 1943-1955.
- Halim, A. H., dan Ohta, H., (1994). Batch Scheduling Problems to Minimize Inventory Cost in the Shop with both Receiving and Delivery Just in Times. *International Journal of Production Economics*, 33, 185-195.

- Halim, A. H., Miyazaki, S. Ohta, H., (1994). Batch-scheduling problems to minimize actual flow times of parts through the shop under JIT environment. *European Journal of Operational Research*, 72, 529-544.
- Halim, A. H., Ohta, H., (1996). A Dynamic Batch Scheduling Model for a Flow Shop with Just in Time Environment. *Proceedings of The 1996 Pacific Conference on Manufacturing*, Korea, 398-403.
- Halim, A. H., Silalahi, J., Ohta, H., (2001): A Batch Scheduling Model Considering Quality Costs for the Shop with Receiving and Delivery Just in Time. *Proceedings of The 2001 International Conference on Production Research*.
- Indrapriyatna, A.S., (2008). Batch Scheduling Model on Single Machine Deteriorated to Minimize Total Inventory and Quality Cost. *Journal of Industrial Engineering*, 10(1), 26-37.
- Meng, G., Heragu, S. (2004). Batch Size Modelling in a Multi-Items Discrete Manufacturing System via an Open Queuing Network. *IEE Transactions*, 36, 743-753.
- Olafson, S. dan Shi, L. (2000). A Method for Scheduling in Parallel Manufacturing Systems with Flexible Resources. *IEE Transactions*, 32, 135-146.
- Rigdon, S.E., Basu, A.P., (2000). *Statistical Methods for Reliability of Repairable Systems*. Canada: John Willey & Sons Inc.
- Sherwin, D.J., Bossche, A. (1993). *The Reliability, Availability and Productiveness of Systems*. Hongkong: Chapman & Hall.
- Tansel, B. C., Kara, B.Y., Sabuncoglu, I., (2001). An Efficient Algorithm for the Single Machine Total Tardiness Problem. *IEE Transactions*, 33, 661-676.
- Xiao, W., Li, C., (2002). Approximation Algorithms for Common Due Date Assignment and Job Scheduling on Parallel Machines. *IEE Transactions*, 34, 467-477.