

Penjadwalan Mesin Menggunakan Algoritma *Non Delay* untuk Mereduksi *Mean Tardiness* pada Lingkungan *Batch Production*

Ranny Nur'aeni*, Chaznin R. Muhammad, Reni Amaranti

Prodi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Islam Bandung, Indonesia.

*rannynuraeni99@gmail.com, chaznin_crm@yahoo.co.id, reniamaranti2709@gmail.com

Abstract. CV Taufik Jaya Teknik is a metal manufacturer which produces various components of automotive engine, textile machinery, mechatronic machinery, canned food manufacturing machines, punch and dies, as well as machine design. Currently the company is scheduling based on the EDD priority rules. Jobs that have the same processing batch size as the transfer batch. This condition causes waiting times so that in the end there will be production delays. Based on this, the proposed scheduling will be carried out using a non-delay algorithm by considering the batch transfer size. The non-delay algorithm was chosen because this algorithm can increase machine utility so that more work is processed. Thus, the delay in the end can be reduced. The measure of delay used in this study is mean tardiness. Based on the proposed scheduling, the result is that there is a decrease in the mean tardiness of 53.52%. This means that the overall delays can be reduced by scheduling proposals.

Keywords: Scheduling, Non Delay Algorithm, Mean Tardiness.

Abstrak. CV Taufik Jaya Teknik merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur logam yaitu memproduksi berbagai komponen mesin otomotif, mesin tekstil, mesin mekatronik, mesin pabrik makanan kaleng, *punch* dan *dies*, serta rancang bangun mesin. Saat ini perusahaan melakukan penjadwalan berdasarkan aturan prioritas EDD. Pekerjaan yang dijadwalkan memiliki ukuran *batch* proses sama dengan *batch* transfer. Kondisi ini menimbulkan waktu tunggu sehingga pada akhirnya mengakibatkan terjadinya keterlambatan penyelesaian produksi. Berdasarkan hal tersebut, maka akan dilakukan penjadwalan usulan menggunakan algoritma *non delay* dengan mempertimbangkan ukuran *batch* transfer. Algoritma *non delay* dipilih karena algoritma ini dapat meningkatkan utilitas mesin sehingga pekerjaan yang diproses menjadi lebih banyak. Dengan demikian, keterlambatan pada akhirnya dapat direduksi. Ukuran keterlambatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu *mean tardiness*. Berdasarkan penjadwalan usulan diperoleh hasil bahwa terjadi penurunan *mean tardiness* 53,52%. Hal tersebut berarti bahwa persentase keterlambatan secara keseluruhan dapat direduksi dengan dilakukannya penjadwalan usulan.

Kata Kunci: Penjadwalan, Algoritma *Non Delay*, *Mean Tardiness*.

A. Pendahuluan

CV Taufik Jaya Teknik merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur logam yang didirikan sejak tahun 1992. Perusahaan melayani permintaan pembuatan komponen mesin otomotif, mesin tekstil, mesin mekatronik, mesin pabrik makanan kaleng, *punch* dan *dies*, serta rancang bangun mesin. Permintaan yang biasanya mengalami *repeat order* yaitu, *Inner Dies*, *Cap Spoiler CDV*, *Plug A Spoiler CDV*, *Plug B Spoiler CDV*, *Plug Punch VA*, *Punch Pierch*, *Upper Electrode*, *Lower Electrode*, *Holder Collet*, *Sliding Pipe TJT*, *Shaft BE*, dan *Shaft Motor Spindle*. Permintaan tersebut memiliki pola aliran yang tidak searah atau lebih dikenal dengan sebutan *job shop* [1]. Pada aliran proses tersebut mesin disusun berdasarkan fungsi dalam proses produksi dimana peralatan yang sama dikelompokkan pada tempat yang sama yang disebut sebagai *process layout* [2].

Penjadwalan saat ini dilakukan dengan cara memberikan prioritas utama untuk pekerjaan dengan *due date* terpendek. Pekerjaan yang dijadwalkan akan dibagi menjadi beberapa bagian ketika kuantitas *order* lebih dari 200 unit, sedangkan jika kuantitasnya kurang dari 200 unit maka pekerjaan akan diproses sesuai dengan kuantitas yang dipesan. Perpindahan pekerjaan antar stasiun kerja dapat dilakukan setelah seluruh pekerjaan dalam *batch* selesai diproses sehingga dapat dikatakan bahwa ukuran *batch process* sama dengan *batch transfer*. Apabila ukuran *batch* semakin besar maka dapat mengakibatkan waktu tunggu semakin meningkat. Berdasarkan data *order* 2019 yang diperoleh dari Bagian *Production Planning and Control* (PPC), dapat diketahui bahwa perusahaan masih mengalami keterlambatan setiap bulannya. Rata-rata keterlambatan penyelesaian produksi selama kurun waktu 2019 yaitu 7,1%. Sementara itu, keterlambatan paling tinggi terjadi pada bulan Maret 2019 yaitu sebesar 12,7%. Begitupun yang terjadi pada bulan April 2019 besarnya keterlambatan penyelesaian produksi tidak jauh berbeda yaitu mencapai 12,3%.

Keterlambatan dapat mengakibatkan perusahaan tidak dapat bertahan dalam persaingan bisnis. Hal itu dikarenakan bisnis yang dapat memenangkan persaingan ialah bisnis yang ditandai dengan tujuan produksi untuk selalu memberikan kepuasan konsumen [3]. Maka dari itu, proses penjadwalan menjadi hal yang harus diperhatikan dan menjadi fokus utama bagi perusahaan, terlebih perusahaan memiliki sumber daya yang terbatas. Secara umum tujuan penelitian yang ingin dicapai adalah dapat mereduksi keterlambatan penyelesaian produksi dengan mengoptimalkan penggunaan sumber daya perusahaan melalui aktivitas penjadwalan. Penjadwalan pada penelitian ini dilakukan berdasarkan pendekatan heuristik menggunakan algoritma *non delay* dengan menerapkan aturan prioritas untuk mengurutkan pekerjaan. Setelah pengurutan pekerjaan, perhitungan dilanjutkan dengan penentuan ukuran *batch transfer* menggunakan kriteria biaya ongkos *work in process inventory* dan ongkos *material handling*. Setelah itu, penjadwalan dilanjutkan hingga jadwal *non delay* dihasilkan. Kriteria penentuan *batch transfer* ini dipilih karena terdapat *trade-off* antara frekuensi *material handling* dan waktu tunggu, dimana semakin kecil ukuran *batch transfer* maka waktu tunggu akan semakin kecil yang tentunya akan mengurangi WIP, tetapi dapat menghasilkan *material handling* yang lebih banyak [4].

B. Metodologi

Penelitian ini berfokus pada penjadwalan *batch* dengan aliran produksi *job shop* yang bertujuan untuk mereduksi keterlambatan. Pendekatan yang digunakan dalam penelitian ini yaitu penelitian kuantitatif dengan teknik analisis komparatif. Penelitian dilakukan dengan terlebih dahulu mengidentifikasi penjadwalan saat ini. Identifikasi penjadwalan saat ini dilakukan untuk mengetahui waktu tunggu, total *cost*, dan keterlambatan yang akan dijadikan sebagai bahan perbandingan dengan penjadwalan yang akan diusulkan.

Penjadwalan yang diusulkan yaitu dilakukan dengan pendekatan algoritma *non delay*. Algoritma *non delay* adalah algoritma yang tidak membiarkan mesin mengalami *idle* ketika terdapat operasi yang memerlukan mesin tersebut. Penggunaan algoritma *non delay* cenderung menghasilkan jadwal yang lebih baik dibandingkan dengan algoritma aktif, begitupun ketika aturan prioritas ditambahkan. Uraian langkah-langkah serta notasi yang digunakan dalam penjadwalan menggunakan algoritma *non delay* yaitu sebagai berikut [1]:

Langkah 1

Pada $t = 0$, PS_t merupakan jadwal parsial kosong dan S_t pada awalnya berisi semua operasi tanpa *predecessor*.

Langkah 2

Tentukan $\sigma^* = \min_{j \in S_t} \{\sigma_j\}$ dengan m^* dimana σ^* dapat mulai direalisasikan.

Langkah 3

Setiap operasi $j \in S_t$ yang memiliki $\sigma_j = \sigma^*$ dan memerlukan mesin m^* , maka buat jadwal parsial baru dengan menambahkan operasi j ke PS_t yang dimulai pada σ_j .

Langkah 4

Setiap jadwal parsial baru PS_{t+1} yang diperoleh dari Langkah 3, maka perbaharui data-data sebagai berikut:

- Keluarkan operasi j dari S_t .
- Buat S_{t+1} dengan menambahkan *successor* langsung dari j ke S_t .
- Tambahkan t dengan satu.

Langkah 5

Kembali ke Langkah 2 untuk setiap PS_{t+1} yang dihasilkan pada Langkah 3 dan selesaikan langkah-langkah tersebut hingga jadwal *non delay* dihasilkan

Dimana:

PS_t = suatu jadwal parsial yang terdiri dari sejumlah operasi yang dijadwalkan pada *stage* ke- t .

S_t = kumpulan operasi yang siap dijadwalkan pada *stage* ke- t .

t = *stage* (tahap).

σ_j = waktu paling awal operasi $j \in S_t$ dapat dimulai.

ϕ_j = waktu paling awal operasi $j \in S_t$ dapat diselesaikan.

t_j = waktu proses dari operasi j .

Selain itu, pada penjadwalan ini juga dilakukan penentuan *batch* transfer menggunakan kriteria *WIP inventory* dan ongkos *material handling* yang dilakukan pada Langkah 2 algoritma *non delay*. Tahapan penentuan *batch* transfer dapat dilihat pada Gambar 1. Adapun secara matematis model penentuan *batch* transfer yaitu sebagai berikut [5], [6], [7]:

$$TC_k = TC_{OMH,k} + TC_{WIP,k} \quad (1)$$

$$TC_{OMH,k} = [J_k \times C_{OMH,k}] \quad (2)$$

$$TC_{WIP,k} = [W_k \times C_{WIP,k}] \quad (3)$$

$$P_{k,x} = (t_k \times Q_{k,x}) + S_{k,x} \quad (4)$$

$$\sigma_{1,1} = \max(r; A_k) \quad (5)$$

$$\sigma_{1,x} = \phi_{1,x-1} \quad (6)$$

$$\sigma_{k,1} = \max[(\phi_{k-1,1} + m_k); A_k] \quad (7)$$

$$\sigma_{k,x} = \max[(\phi_{k-1,x} + m_k); \phi_{k,x-1}] \quad (8)$$

$$\phi_{1,1} = \sigma_{1,1} + P_{1,1} \quad (9)$$

$$\phi_{1,x} = \sigma_{1,x} + P_{1,x} \quad (10)$$

$$\phi_{k,1} = \sigma_{k,1} + P_{k,1} \quad (11)$$

$$\phi_{k,x} = \sigma_{k,x} + P_{k,x} \quad (12)$$

$$W_{1,x} = \phi_{1,x} - r - t_1 \quad (13)$$

$$W_{k,x} = \phi_{k,x} - \phi_{k-1,x} - t_k \quad (14)$$

$$W_k = \sum_{x=1}^X (Q_{k,x} \times W_{k,x}) \quad (15)$$

Dimana:

TC_k = Total *cost* pada mesin k yang dipengaruhi oleh total ongkos *WIP inventory* dan total *OMH* (rupiah)

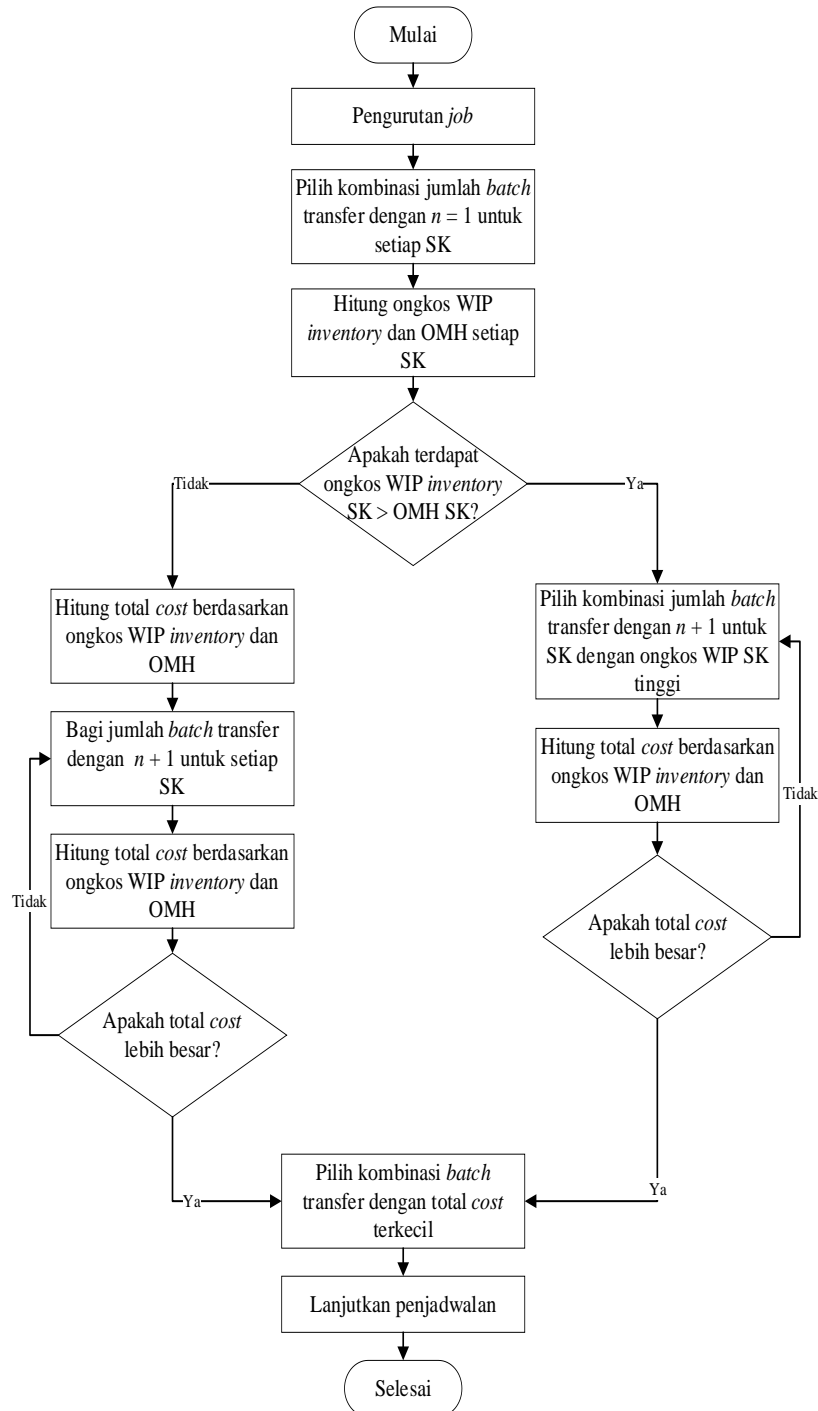
$TC_{OMH,k}$ = Total *OMH* pada mesin k yang dipengaruhi oleh frekuensi *material handling* dan ongkos *material handling* per satuan waktu pada mesin k (rupiah)

$TC_{WIP,k}$ = Total ongkos *WIP inventory* pada mesin k yang dipengaruhi oleh waktu tunggu dan ongkos *WIP inventory* per satuan waktu pada mesin k (rupiah)

J_k = Frekuensi *material handling* dari mesin k

W_k = Waktu tunggu pada mesin k (menit)

- $W_{k,x}$ = Waktu tunggu *batch* ke- x pada mesin k (menit)
- $C_{OMH,k}$ = Ongkos *material handling* per satuan waktu pada mesin k yang dihitung berdasarkan *move time* dan upah pekerja per menit (rupiah)
- $C_{WIP,k}$ = Ongkos *WIP inventory* per satuan waktu pada mesin k yang ditentukan dengan pendekatan upah pekerja (rupiah)
- $s_{k,x}$ = waktu *set up batch* ke- x pada mesin k (menit)
- $P_{k,x}$ = Total waktu proses *batch* ke- x pada mesin k (menit)
- $\sigma_{k,x}$ = waktu mulai *batch* ke- x pada mesin k (menit)
- $\phi_{k,x}$ = waktu selesai *batch* ke- x pada mesin k (menit)
- A_k = waktu siap mesin k (menit)
- m_k = *move time* ke mesin k (menit)



Gambar 1. Penentuan Ukuran *Batch* Transfer

C. Hasil Penelitian dan Pembahasan

Pengolahan data dimulai dengan menguraikan pekerjaan berdasarkan indeks (i, j, k) yang menunjukkan bahwa pekerjaan i dengan operasi j pada mesin k seperti yang ditunjukkan Tabel 1. Indeks k pada Tabel 1. ini tidak terdapat kode A, B, atau C yang merupakan kode untuk mesin majemuk karena pekerjaan belum dialokasikan. Pemberian notasi dilakukan untuk mempermudah dalam mengetahui *routing* setiap pekerjaan.

Tabel 1. *Routing*

No. Job	Job	Operasi ke-					
		1	2	3	4	5	6
1	<i>Inner Dies</i>	112	123	134	145	156	167
2	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	211					
3	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	311					
4	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	411					
5	<i>Cap Spoiler CDV</i>	511					
6	<i>Cap Spoiler CDV</i>	611					
7	<i>Cap Spoiler CDV</i>	711					
8	<i>Cap Spoiler CDV</i>	811					
9	<i>Shaft Motor Spindle</i>	911	923	934	945		
10	<i>Lower Electrode</i>	1011	1029	1031	1043	1056	
11	<i>Plug B Spoiler CDV</i>	1111					
12	<i>Plug B Spoiler CDV</i>	1211					
13	<i>Plug Punch VA</i>	1311	1322	1334	1345	1356	1368
14	<i>Upper Electrode</i>	1411	1429	1431	1443	1456	
15	<i>Lower Electrode</i>	1511	1529	1531	1543	1556	
16	<i>Lower Electrode</i>	1611	1629	1631	1643	1656	
17	<i>Upper Electrode</i>	1711	1729	1731	1743	1756	
18	<i>Plug Punch Va</i>	1811	1822	1834	1845	1856	1868
19	<i>Punch Pierch</i>	1913	1924	1936	1947		
20	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	2011					
21	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	2111					
22	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	2211					
23	<i>Plug A Spoiler CDV</i>	2311					
24	<i>Plug B Spoiler CDV</i>	2411					
25	<i>Plug B Spoiler CDV</i>	2511					
26	<i>Plug B Spoiler CDV</i>	2611					
27	<i>Plug Punch VA</i>	2711	2722	2734	2745	2756	2768
28	<i>Shaft Be</i>	2811	2823	2835			
29	<i>Lower Electrode</i>	2911	2929	2931	2943	2956	
30	<i>Cap Spoiler CDV</i>	3011					
31	<i>Cap Spoiler CDV</i>	3111					
32	<i>Cap Spoiler CDV</i>	3211					
33	<i>Cap Spoiler CDV</i>	3311					
34	<i>Cap Spoiler CDV</i>	3411					
35	<i>Sliding Pipe TJT</i>	3511	3522	3537			
36	<i>Plug Punch VA</i>	3611	3622	3634	3645	3656	3668
37	<i>Shaft Motor Spindle</i>	3711	3723	3734	3745		
38	<i>Lower Electrode</i>	3811	3829	3831	3843	3856	
39	<i>Plug Punch VA</i>	3911	3922	3934	3945	3956	3968
40	<i>Shaft Motor Spindle</i>	4011	4023	4034	4045		
41	<i>Holder Collet</i>	4111	4123				
42	<i>Shaft BE</i>	4211	4223	4235			
43	<i>Inner Dies</i>	4312	4323	4334	4345	4356	4367

Langkah selanjutnya yaitu melakukan penyesuaian notasi pekerjaan pada penjadwalan saat ini agar sesuai dengan penjadwalan usulan. Urutan pekerjaan pada penjadwalan saat ini secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 2. Berdasarkan Tabel 2. dapat diketahui bahwa setiap mesin sudah mendapatkan alokasi pekerjaan sehingga setelah indeks k sudah diberikan keterangan A, B, atau C sesuai dengan mesin yang terpilih. Misalnya, pada CNC bubut 1 (1A)

pekerjaan yang diproses pertama kali yaitu 211A (*job 2* operasi 1 pada mesin 1A) atau *Plug A Spoiler CDV*. Penjadwalan saat ini menghasilkan *mean tardiness* 466,79 menit.

Tabel 2. Urutan Pekerjaan pada Penjadwalan Saat Ini

Mesin	Sequence
1A	211A-311A-611A-411A-1411A-1431A-1311A-1211A-1711A-1731A-2011A-2911A-2711A-2931A-2111A-2511A-2211A-3511A-2611A-2311A-4011A-4211A-3911A-3411A
1B	511B-911B-1111B-1011B-1511B-1031B-1531B-711B-811B-1611B-1811B-1631B-2411B-3011B-3111B-2811B-3811B-3831B-3211B-3611B-3711B-3311B-4111B
2	112-1322-1822-2722-4312-3522-3622-3922
3A	123A-923A-1043A-1643A-1743A-2823A-3723A-4123A
3B	1543B-1913B-2943B-4323B-4023B
3C	1443C-3843C-4223C
4	134-934-1334-1924-1834-2734-4334-3734-3634-4034-3934
5	145-945-1345-1845-2745-2835-4345-3645-3745-4235-4045-3945
6	156-1556-1056-1356-1456-1936-1856-1656-2756-1756-2956-3856-4356-3656-3956
7	167-1947-3537-4367
8	1368-1868-2768-3668-3968
9	1029-1529-1429-1629-1729-2929-3829

Penjadwalan usulan dengan algoritma *non delay* terdiri dari beberapa tahapan merujuk pada Baker dan Trietsch (2019). Pada penelitian ini penjadwalan mempertimbangkan penentuan ukuran *batch* transfer yang dilakukan setelah langkah 2 yaitu setelah waktu mulai paling awal operasi dapat direalisasikan pada mesin terpilih diketahui. Contoh tahapan penjadwalan dengan algoritma *non delay* pada *stage 0* yaitu sebagai berikut:

Langkah 1

Masukkan operasi yang siap dijadwalkan pada $t = 0$. PS_t merupakan jadwal parsial kosong dan S_t pada awalnya berisi semua operasi tanpa *predecessor*. Operasi yang siap dijadwalkan pada $t = 0$ hanya *job 1* operasi 1 pada mesin 2 ($S_t = 112$).

Langkah 2

Tentukan waktu mulai paling awal operasi dapat direalisasikan pada m^* . Waktu siap operasi dan waktu siap mesin yaitu 0, sehingga operasi dapat langsung dijadwalkan. Namun, jika terdapat pekerjaan yang bersaing pada suatu mesin maka pekerjaan akan diurutkan dengan menerapkan aturan prioritas *Earliest Due Date* (EDD). Jika masih terdapat pekerjaan dengan *due date* yang sama, maka akan digunakan aturan prioritas *Most Work Remaining* (MWKR). Begitupun jika masih terdapat pekerjaan dengan sisa pekerjaan terbanyak yang sama, maka akan digunakan aturan prioritas *Shortest Processing Time* (SPT). Kemudian, tentukan ukuran *batch* transfer berdasarkan kriteria total *cost* yang terdiri dari ongkos *WIP inventory* dan ongkos *material handling* untuk operasi yang siap dijadwalkan pada *stage 0* yaitu operasi 112 dengan tahapan sebagai berikut:

- 1) Alternatif ukuran *batch* transfer terdiri dari dua kategori yaitu alternatif dengan jumlah *batch* transfer sama untuk setiap mesin dan adapula alternatif yang membagi ukuran *batch* transfer hanya pada beberapa mesin. Perhitungan ukuran *batch* transfer dimulai dengan kombinasi jumlah *batch* transfer sama untuk setiap mesin yaitu pilih kombinasi jumlah *batch* transfer (n) = 1. Kemudian, hitung ongkos *WIP inventory* dan OMH setiap stasiun kerja.

- Total waktu proses/*batch*
 Total waktu proses/*batch* merupakan waktu yang dibutuhkan untuk memproses seluruh pekerjaan dalam *batch*, termasuk di dalamnya waktu *set up*.

$$P_{2,1} = (t_2 \times Q_{2,1}) + s_{2,1}$$

$$= (282 \times 3) + 9$$

$$= 855 \text{ menit}$$
- Waktu mulai
 Waktu mulai operasi 112 merupakan maksimasi antara waktu siap *job* dan waktu siap mesin. Saat mulai mesin 2 *batch* 1 dinotasikan dengan $\sigma_{2,1}$.

$$\sigma_{2,1} = \max(r; A_k)$$

$$= \max(0; 0)$$

$$= 0 \text{ menit}$$
- Waktu selesai
 Waktu selesai operasi 112 merupakan penjumlahan waktu mulai dengan total waktu proses/*batch*. Saat selesai mesin 2 *batch* 1 dinotasikan dengan $\phi_{2,1}$.

$$\phi_{2,1} = \sigma_{2,1} + P_{2,1}$$

$$= 0 + 855$$

$$= 855 \text{ menit}$$
- Waktu tunggu *job* dalam *batch*
 Waktu tunggu *job* dalam *batch* diperoleh dengan cara mengurangi waktu selesai, waktu siap operasi, dan waktu proses. Waktu tunggu *job* dalam *batch* mesin 2 *batch* 1 dinotasikan dengan $W_{2,1}$.

$$W_{2,1} = \phi_{2,1} - r - t_2$$

$$= 855 - 0 - 282$$

$$= 573 \text{ menit}$$
- Waktu tunggu *batch*
 Waktu tunggu *batch* diperoleh dengan cara mengalikan ukuran *batch* transfer dan waktu tunggu *job* dalam *batch*. Waktu tunggu *batch* mesin 2 dinotasikan dengan W_2 .

$$W_2 = \sum_{x=1}^1 Q_{2,1} \times W_{2,1}$$

$$= 3 \times 573$$

$$= 1719 \text{ menit}$$
- Total OMH
 Total OMH diperoleh dengan cara mengalikan frekuensi *material handling* dan OMH stasiun kerja atau mesin *k*. Total OMH pada mesin 2 dinotasikan dengan $TC_{OMH,2}$.

$$TC_{OMH,2} = [J_2 \times C_{OMH,2}]$$

$$= [(1)(Rp326,66)]$$

$$= Rp326,66$$
- Total ongkos WIP *inventory*
 Total ongkos WIP *inventory* diperoleh dengan cara mengalikan waktu tunggu dan ongkos WIP *inventory*. Total ongkos WIP *inventory* pada mesin 2 dinotasikan dengan $TC_{WIP,2}$.

$$TC_{WIP,2} = [W_2 \times C_{WIP,2}]$$

$$= [(1.719)(Rp0,1366)]$$

$$= Rp234,84$$

Total ongkos WIP *inventory* mesin 2 tidak lebih besar dari total OMH mesin 2, sehingga alternatif yang dihitung hanya alternatif dengan jumlah *batch* transfer sama untuk setiap mesin. Selanjutnya, hitung total *cost* berdasarkan total ongkos WIP *inventory* dan OMH, kemudian lanjutkan ke tahap berikutnya.
- Total *cost*
 Total *cost* diperoleh dengan cara penjumlahan antara total ongkos *material handling* dan ongkos WIP *inventory*. Total *cost* pada mesin 2 dinotasikan dengan TC_2 .

$$TC_2 = TC_{OMH,2} + TC_{WIP,2}$$

$$= Rp326,66 + Rp234,84$$

$$= \text{Rp}561,50$$

2) Bagi jumlah *batch* transfer dengan $n = 2$ untuk setiap mesin. Kemudian, hitung total *cost* berdasarkan ongkos *WIP inventory* dan *OMH*. Jika total *cost* lebih kecil, ulangi tahap 3.

- Total waktu proses/*batch*

$$\begin{aligned} P_{2,1} &= (t_2 \times Q_{2,1}) + s_{2,1} \\ &= (282 \times 1) + 9 \\ &= 291 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} P_{2,2} &= (t_2 \times Q_{2,2}) + s_{2,2} \\ &= (282 \times 2) + 0 \\ &= 564 \text{ menit} \end{aligned}$$

- Waktu mulai

$$\begin{aligned} \sigma_{2,1} &= \max(r; A_k) \\ &= \max(0; 0) \\ &= 0 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \sigma_{2,2} &= \phi_{2,1} \\ &= 291 \text{ menit} \end{aligned}$$

- Waktu selesai

$$\begin{aligned} \phi_{2,1} &= \sigma_{2,1} + P_{2,1} \\ &= 0 + 291 \\ &= 291 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \phi_{2,2} &= \sigma_{2,2} + P_{2,2} \\ &= 291 + 564 \\ &= 855 \text{ menit} \end{aligned}$$

- Waktu tunggu *job* dalam *batch*

$$\begin{aligned} W_{2,1} &= \phi_{2,1} - r - t_2 \\ &= 291 - 0 - 282 \\ &= 9 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} W_{2,2} &= \phi_{2,2} - r - t_2 \\ &= 855 - 0 - 282 \\ &= 573 \text{ menit} \end{aligned}$$

- Waktu tunggu *batch*

$$\begin{aligned} W_2 &= \sum_{x=1}^2 (Q_{2,x} \times W_{2,x}) + (Q_{2,2} \times W_{2,2}) \\ &= (1 \times 9) + (2 \times 573) \\ &= 9 + 1146 \\ &= 1.155 \text{ menit} \end{aligned}$$

- Total *OMH*

$$\begin{aligned} TC_{OMH,2} &= [J_2 \times C_{OMH,2}] \\ &= [(2)(\text{Rp}326,66)] \\ &= \text{Rp}653,33 \end{aligned}$$

- Total ongkos *WIP inventory*

$$\begin{aligned} TC_{WIP,2} &= [W_2 \times C_{WIP,2}] \\ &= [(1.155)(\text{Rp}0,1366)] \\ &= \text{Rp}157,79 \end{aligned}$$

- Total *cost*

$$\begin{aligned} TC_2 &= TC_{OMH,2} + TC_{WIP,2} \\ &= \text{Rp}653,33 + \text{Rp}157,79 \\ &= \text{Rp}811,12 \end{aligned}$$

3) Lakukan perhitungan dengan cara yang sama untuk seluruh operasi yang diperlukan untuk memproses suatu pekerjaan. Kemudian, pilih kombinasi *batch* transfer dengan total *cost* terkecil yang dihasilkan untuk memproses pekerjaan. Berdasarkan hasil perhitungan, jumlah *batch* transfer yang menghasilkan total *cost* terkecil untuk pekerjaan 1 yaitu alternatif 1 dengan jumlah *batch* transfer sama dengan 1 dan ukuran *batch* transfer sesuai dengan kuantitas yang dipesan.

Langkah 3

Masukkan operasi 112 ke PS_t yang dimulai pada $\sigma_j = 0$. Masukkan waktu proses dari operasi yang terpilih ke dalam m^* .

Langkah 4

Pada *stage* berikutnya, perbaharui 112 dengan operasi berikutnya yaitu 123.

Langkah 5

Kembali ke Langkah 2 untuk setiap PS_{t+1} yang dihasilkan pada Langkah 3 dan selesaikan langkah-langkah tersebut hingga jadwal *non delay* dihasilkan.

Berdasarkan hasil penjadwalan menggunakan algoritma *non delay* dapat diketahui bahwa urutan pekerjaan pada setiap mesin secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 3. Setiap mesin sudah mendapatkan alokasi pekerjaan sehingga setelah indeks k sudah diberikan keterangan A,

B, atau C sesuai dengan mesin yang terpilih. Misalnya pada CNC bubut 1 (1A) pekerjaan yang diproses pertama kali yaitu 211A (*job 2* operasi 1 pada mesin 1A) atau *Plug A Spoiler CDV*.

Tabel 3. Urutan Pekerjaan pada Penjadwalan Usulan

Mesin	Sequence
1A	211A-311A-611A-1511A-1031A-1531A-1311A-1411A-1211A-1811A-1611A-1711A-2011A-2711A-2911A-2511A-3111A-3831A-3511A-3211A-2311A-3911A-4011A-4211A-4111A
1B	511B-911B-1111B-1011B-411B-711B-1431B-811B-1631B-1731B-2411B-3011B-2931B-2111B-3811B-2811B-2211B-3611B-3711B-2611B-3311B-3411B
2	112-1322-1822-2722-3522-4312-3622-3922
3A	1043A-1643A-2943A-3843A
3B	123B-1543B-1443B-1743B-4323B-4023B-4123B
3C	923C-1913C-2823C-3723C-4223C
4	134-934-1334-1834-1924-2734-3634-4334-3734-3934-4034
5	145-945-1345-1845-2745-2835-4345-3645-3745-3945-4045-4235
6	156-1056-1356-1556-1936-1456-1856-1656-1756-2756-2956-3856-4356-3656-3956
7	167-1947-3537-4367
8	1368-1868-2768-3668-3968
9	1029-1529-1429-1629-1729-2929-3829

Kriteria performansi penjadwalan yang digunakan dilihat berdasarkan perbandingan waktu tunggu, total *cost*, *mean flowtime*, dan *mean tardiness* yang dijadikan sebagai ukuran keterlambatan dalam penelitian ini. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa pengurangan waktu tunggu mengakibatkan *mean flowtime* berkurang. Artinya, waktu pekerjaan berada dalam sistem berkurang sehingga utilitas mesin bisa meningkat karena pekerjaan yang diproses bisa lebih banyak. Selain itu, hasil penjadwalan usulan berdasarkan kriteria *mean tardiness* yang merupakan ukuran keterlambatan dalam penelitian ini juga menunjukkan adanya penurunan sebesar 53,52% dimana hasil tersebut dapat berdampak pada pengurangan *customer lead time*. Hal ini terbukti bahwa penjadwalan usulan efektif dalam mereduksi keterlambatan. Perbandingan performansi penjadwalan saat ini dan usulan secara ringkas dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Performansi Penjadwalan

Kriteria Performansi	Penjadwalan Saat Ini	Penjadwalan Usulan
Total waktu tunggu (menit)	19.589.007,90	18.405.253,40
Total <i>cost</i> (Rp)	Rp641.341,07	Rp612.058,98
<i>Mean flowtime</i> (menit)	6.051,94	5.658,53
<i>Mean tardiness</i> (menit)	466,79	216,96

E. Kesimpulan

Kesimpulan yang diperoleh berdasarkan hasil penelitian yaitu sebagai berikut:

1. Penjadwalan menggunakan algoritma *non delay* dengan mempertimbangkan aturan prioritas dan ukuran *batch* transfer berdasarkan ongkos WIP *inventory* dan ongkos *material handling* terbukti efektif dalam mereduksi nilai keterlambatan.
2. Hasil penjadwalan usulan berdasarkan beberapa kriteria performansi yang digunakan menunjukkan bahwa terjadi pengurangan waktu tunggu sehingga mengakibatkan *mean flowtime* berkurang. Hal ini berarti berkurangnya waktu pekerjaan berada dalam sistem dapat membuat utilitas mesin meningkat karena pekerjaan yang diproses menjadi lebih banyak. Dengan demikian, keterlambatan pada akhirnya dapat direduksi dimana hal tersebut ditandai dengan ukuran keterlambatan berdasarkan *mean tardiness* yang berkurang cukup signifikan sebesar 53,52%.

Acknowledge

Saya ucapkan terima kasih kepada Bapak Chaznin R. Muhammad, Ir., M.T. dan Ibu Reni Amaranti, Ir., M.T., IPM yang telah bersedia meluangkan waktu untuk memberikan bimbingan dan arahan selama penyusunan penelitian ini. Tak lupa, ucapan terima kasih juga ditujukan kepada seluruh pihak di perusahaan yang telah memberikan izin dan membantu penulis dalam melakukan penelitian ini.

Daftar Pustaka

- [1] Baker, K. R., dan Trietsch, *Principles of Sequencing and Scheduling*. 2nd ed. New Jersey: John Wiley & Sons; 2019.
- [2] Ginting, R., *Sistem Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2007.
- [3] Sinulingga, S., *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta: Graha Ilmu; 2013.
- [4] Hopp, W. J., dan Spearman, M. L., *Factory Physic*. 3rd ed. Long Grove: Waveland Press; 2011.
- [5] Heizer, J., Render, B., Munson, C., dan Sachan, A., *Operation Management: Sustainability and Supply Chain Management*. 12th ed. India: Pearson; 2017.
- [6] Muhammad, C. R., Nu'man, A. H., dan Shofia, N., "Minimization of WIP inventory Cost at CNC-machining centers through assignment of m serial machines and transfer batch size reduction". *IOP Conf. Series: Materials Science and Engineering*. Vol. 830 No. 3; 2019.
- [7] Nurainun, T., "Penjadwalan Batch pada Flow Shop Dinamis untuk Meminimasi Biaya Produksi". *Prosiding Seminar Nasional ReSaTek II*; 2012.
- [8] Avrilio, Naufal Fadhillah, Prasetyaningsih, Endang, Hidayat, Nita P A. (2021). *Penerapan Planned Maintenance untuk Mereduksi Downtime Mesin MOJ-3 di Departemen Finishing PT. XYZ*. *Jurnal Riset Teknik Industri*, 1(1). 68-76