

**PENJADWALAN *JOB SHOP* MESIN MAJEMUK
MENGUNAKAN ALGORITMA *NON DELAY*
(STUDI KASUS DI PT. WANGSA JATRA LESTARI)**

Hafidh Munawir, Wisnu Nur Cahyanto

¹ Pusat Studi Logistik dan Optimisasi Industri (PUSLOGIN), Universitas Muhammadiyah Surakarta

^{1,2} Jurusan Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Muhammadiyah Surakarta

Jl. A Yani Tromol Pos 1 Pabelan Kartasura Surakarta

Email: hafidh.munawir@ums.ac.id

Abstrak

PT. Wangsa Jatra Lestari adalah perusahaan yang bergerak di bidang commercial printing, book binding, packaging, uv varnish, dan laminating. Banyaknya variasi produk, pola aliran proses berbeda-beda, dan penggunaan mesin secara bersama membuat penjadwalan perusahaan memiliki kendala dalam proses produksinya yaitu terjadinya penumpukan barang setengah jadi dan keterlambatan. Penumpukan persediaan barang setengah jadi disebabkan besarnya waktu alir rata-rata dan keterlambatan disebabkan penentuan due date dari perusahaan yang kurang sesuai dengan kondisi aktual. Penelitian dilakukan untuk melakukan penjadwalan job shop mesin majemuk dengan menggunakan algoritma non delay. Algoritma non delay dipilih untuk meminimumkan waktu mengganggu mesin sehingga mampu meminimumkan waktu alir rata-rata (mean flow time), total waktu penyelesaian (makespan), dan untuk menentukan due date. Penjadwalan menggunakan algoritma non delay menghasilkan total waktu penyelesaian sebesar 30.822 menit, waktu alir rata-rata sebesar 6.031 menit, dan kapasitas mengganggu mesin 21%. Algoritma non delay lebih cepat dalam menyelesaikan pekerjaan dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 6.522 menit. Rata-rata waktu alir algoritma non delay lebih kecil dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 2.911 menit, sehingga bisa meminimalkan persediaan barang setengah jadi. Penjadwalan non delay mampu mengurangi kapasitas mengganggu mesin sebesar 8%. Metode perusahaan dalam melakukan estimasi ketiga pesanan membutuhkan waktu 9.803 menit (12 hari) job 1, 4.471 menit (5 hari) job 2, dan 4.235 menit (5 hari) job 3. Algoritma non delay membutuhkan waktu 17.045 menit (20 hari) job 1, 11.714 menit (14 hari) job 2, dan 11.466 menit (14 hari) job 3.

Kata Kunci: *due date, mesin majemuk, non delay, penjadwalan*

1. PENDAHULUAN

PT. Wangsa Jatra Lestari adalah perusahaan yang bergerak di bidang *commercial printing, book binding, packaging, uv varnish, dan laminating*. Produk yang dihasilkan perusahaan sangat bervariasi dan mempunyai pola aliran proses berbeda-beda. Hal ini menyebabkan perusahaan mempunyai kendala untuk menjadwalkan proses produksi yang bisa menghasilkan waktu yang optimal. Penelitian dilakukan untuk melakukan penjadwalan *job shop* mesin majemuk sehingga meminimumkan waktu mengganggu mesin, meminimumkan waktu alir rata-rata (*mean flow time*), total waktu penyelesaian (*makespan*), dan untuk menentukan *due date*.

2. METODE PENELITIAN

Metode yang dipakai didalam penelitian ini adalah penjadwalan dengan Algoritma *non delay*. Algoritma *non delay* memiliki kemudahan dalam proses penjadwalan mesin dan penentuan *ready time* mesin. *Ready time* mesin lebih mudah diketahui dengan menggunakan algoritma ini sehingga lebih memudahkan dalam penentuan *due date* pesanan.

Mesin yang digunakan di PT. Wangsa Jatra Lestari majemuk pada mesin tertentu yaitu mesin cetak 5 buah, punch 6 buah, folder gluer 4 buah, sedangkan untuk mesin laminating, uv varnish, hot foil, dan spot uv hanya terdapat 1 mesin. Algoritma *non delay* umumnya digunakan untuk melakukan penjadwalan *job shop* yang memiliki satu mesin pada tiap

proses operasi, sehingga digunakan pengembangan algoritma *non delay* untuk mesin majemuk (Ong, 2013).

Model penjadwalan berdasarkan penggunaan mesin, bisa berupa mesin tunggal atau mesin jamak. Lysandra et al. (2014) menyatakan bahwa penjadwalan mesin tunggal merupakan penjadwalan satu mesin yang digunakan untuk memproses seluruh pekerjaan (*n-jobs*) untuk satu jenis proses produksi. Teori penjadwalan untuk mesin jamak terdiri atas 3 jenis tipe dasar yaitu: sistem paralel, sistem *flow shop*, dan sistem *job shop* (Baker & Trietsch, 2009).

Lysandra et al. (2014) menyatakan bahwa penjadwalan mesin paralel merupakan penjadwalan lebih dari satu mesin (*m-machine*) yang digunakan untuk melakukan satu jenis proses produksi agar menghasilkan beberapa produk (*n-jobs*) yang sama. Sipper & Robert L. Bulfin (1977) menyatakan bahwasanya dikatakan *flow shop* jika pekerjaan diproses secara berurutan pada beberapa buah mesin, dan semua pekerjaan memiliki urutan proses yang sama. Sipper & Robert L. Bulfin (1977) menyatakan bahwasanya dikatakan *flow shop* memiliki urutan pekerjaan (*routing*) yang identik untuk semua pekerjaan, sedangkan jika urutan pekerjaan untuk tiap pekerjaan tidak identik maka disebut *job shop*.

Job shop pada mulanya hanya menggunakan satu buah mesin pada tiap tahap operasinya. Perkembangan dilakukan oleh perusahaan – perusahaan dengan menggabungkan antara mesin tunggal dan mesin paralel yang identik pada tahapan proses operasi. Cara tersebut digunakan untuk mempercepat waktu produksi sehingga bisa mengerjakan lebih banyak pekerjaan. Permasalahan seperti ini disebut sebagai penjadwalan *job shop* mesin paralel/*hybrid job shop/flexible job shop* (Dugardin et al. 2007). Ong (2013) menyebutkan permasalahan ini sebagai penjadwalan *job shop* mesin majemuk.

Algoritma *non delay* merupakan metode penjadwalan aktif dimana mesin yang ada tidak dibiarkan menganggur jika suatu operasi dapat dimulai (Fithri & Ramawinta, 2013). Algoritma *non delay* menjadwalkan pekerjaan dengan *ready time* terkecil. Saat *ready time* pekerjaan terkecil lebih dari satu maka operasi dipilih berdasarkan *short processing time* (SPT), dan apabila ada terdapat lebih dari satu operasi dengan waktu proses terkecil maka pemilihan operasi berdasarkan *most work remaining* (MWKR). Algoritma *non delay* merupakan metode heuristik yang dikenal sebagai metode dispatching rule, metode ini berprinsip pada pembuatan jadwal secara parsial bertahap (Suseno & Indrakusuma, 2014).

Algoritma *non delay* umumnya digunakan untuk melakukan penjadwalan *job shop* yang memiliki satu mesin pada tiap proses operasinya. Ong (2013) melakukan pengembangan penjadwalan dengan menggunakan algoritma *non delay* untuk mesin majemuk. Perusahaan–perusahaan sekarang ini sudah menggunakan mesin majemuk pada tiap proses operasinya. Algoritma *non delay* mesin tunggal kurang sesuai jika diterapkan pada perusahaan yang menggunakan mesin majemuk, sehingga digunakan pengembangan algoritma *non delay* untuk mesin majemuk.

Algoritma *non delay* untuk mesin majemuk pada dasarnya pengerjaannya sama dengan algoritma *non delay* untuk mesin tunggal. Dalam penjadwalan *non delay* untuk mesin majemuk setelah langkah 2 ditambah 1 langkah lagi. Langkah tersebut adalah melihat ketersediaan mesin, apakah mesin tunggal atau mesin lebih dari satu. Jika mesin tunggal, maka langsung lanjut kelangkah 3. Sedangkan jika mesin dengan jumlah lebih dari satu, maka dipilih mesin dengan *ready time* tercepat, kemudian lanjut kelangkah 3.

PENGOLAHAN DATA

Data pesanan yang akan yang dijadwalkan adalah pekerjaan yang belum diproses dari bulan Maret sampai Mei 2016 dan akan dijadwalkan untuk tanggal 09 Mei sampai selesai. Penjadwalan selama seminggu, dimana setelah lewat seminggu maka pekerjaan yang telah selesai

dikerjakan akan di coret dari jadwal, dan ada penambahan pekerjaan yang baru. Tidak ada waktu khusus dalam penerimaan pesanan, pesanan diterima setiap hari kecuali hari libur. Pesanan yang masuk kemudian akan di estimasi tanggal selesainya oleh pihak PPIC dan jika terjadi kesepakatan antara perusahaan dan konsumen maka pesanan akan diterima *Due date* ditentukan oleh perusahaan, setelah terjadi kesepakatan dengan konsumen. Oleh karena itu pesanan yang baru datang tidak akan mendahului pesanan yang lama dalam penjadwalan atau dalam memulai proses produksinya. Terdapat 50 pesanan yang terdiri dari packaging, cover, stiker, leaflet, dan *shopping bag*.

Data mesin meliputi nama mesin, kapasitas mesin, satuan, make *ready* dan kode. PT. Wangsa Jatra Lestari dalam menjalankan proses produksi menggunakan mesin tunggal (satu jenis mesin hanya ada satu) dan mesin jamak (satu jenis mesin jumlahnya lebih dari satu). *Breakdown* mesin tidak diperhitungkan karena di asumsikan tidak ada kerusakan saat penjadwalan dilakukan. Mitsubishi, Ryobi, Speed Master (SM 2), dan Speed Master 4 – 2 XL (SM CD XL) digunakan untuk melakukan proses cetak. Laminating digunakan untuk proses pelapisan dengan plastik, ada 2 proses laminating yaitu matte (gelap), glossy (cerah). Uv varnish digunakan untuk proses pelapisan dengan cairan (*waterbase*). Punch digunakan untuk memotong hasil cetakan sesuai bentuknya dan untuk memberikan alur lipatan pada produk packaging. Stamping digunakan untuk dua proses yaitu stamping (pelapisan dengan foil) dan emboss (membuat tulisan timbul). Folder gluer digunakan untuk melakukan proses pengeleman. *Handwork shopping bag* digunakan untuk proses pembuatan *shopping bag*. *Handwork* lem digunakan untuk melakukan pengeleman produk yang tidak bisa di lem dengan folder gluer. Kapasitas mesin ada 2 yaitu lembar per jam dan pieces per jam. Satuan lembar jika hasil cetak belum dipotong, sehingga dalam satu kertas ada lebih dari satu produk, sedangkan jika sudah dipotong tiap produk akan terpisah. Make *ready* (waktu pekerjaan siap dikerjakan) terdiri dari waktu setup mesin, waktu perpindahan dan waktu penyiapan bahan. Kode bukan berasal dari perusahaan, di sini digunakan kode untuk mempermudah dalam proses penjadwalan. Dimana terdapat 19 mesin yang digunakan dalam penjadwalan ini.

Routing adalah urutan proses operasi. Banyaknya operasi tiap *job* dan berbeda-beda sesuai dengan permintaan konsumen. Operasi yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan bermacam-macam. Ada pekerjaan yang hanya membutuhkan satu operasi misalnya *Job 19*, *Job 20*, dan *Job 39*, ada yang membutuhkan 5 operasi misalnya *Job 30*, *Job 33*, *Job 34*, *Job 36*, *Job 42*, dan *Job 43* sedangkan yang lainnya ada yang 2 operasi, 3 operasi, dan 4 operasi.

Perhitungan inskit digunakan untuk mengetahui berapa penambahan kuantitas *order* (*allowance*) untuk mengantisipasi adanya kecacatan dalam proses produksi. Perhitungan inskit berbeda – beda pada tiap pesanan tergantung tahap proses operasinya. Setiap tahap operasi ditambah 1%, sehingga semakin panjang tahapan proses operasi (*routing*) semakin besar penambahan inskitnya. Misalnya *Job 1* inskitnya 3% karena jumlah proses operasinya sebanyak 3 operasi. Perhitungan inskit yaitu seperti *Job 1* dimana inskitnya 3%. Jumlah inskit dihitung dengan persamaan 1.

$$\text{Jumlah inskit} = \% \text{ inskit} \times \text{order} \quad (1)$$

$$\begin{aligned} \text{Jumlah inskit} &= 3\% \times 300.000 \text{ pieces} \\ &= 9.000 \text{ pieces} \end{aligned}$$

Jumlah inskit kemudian ditambah *order* sehingga diperoleh total *order*, dimana total *order* ini yang nantinya dikerjakan. Total *order* dihitung dengan menggunakan persamaan 2.

$$\text{Total order} = \text{jumlah inskit} + \text{order} \quad (2)$$

$$\begin{aligned} \text{Total order} &= 9.000 + 300.000 \\ &= 309.000 \text{ pieces} \end{aligned}$$

Sebelum dicetak jumlah *order* dibagi dengan Up yang merupakan banyaknya produk dalam satu lembar kertas. Seperti *Job 1* jumlah up-nya adalah 3, sehingga dalam 1 lembar kertas dapat menghasilkan 3 buah *Job 1*. Hasil pembagian menghasilkan jumlah cetak, yang merupakan jumlah lembar kertas yang akan dicetak. Jumlah cetak dihitung dengan persamaan 3.

$$\begin{aligned} \text{Jumlah cetak} &= \text{total } \textit{order}/\textit{up} & (3) \\ \text{Jumlah cetak} &= 309.000/3 \\ &= 103.000 \text{ lembar} \end{aligned}$$

Waktu proses, tergantung jumlah produk yang akan diproses, sehingga perhitungannya berbeda antara sebelum keluar mesin punch dan setelah keluar mesin punch. Sebelum keluar atau diproses mesin punch satuan produk dalam lembar yang mana tiap lembar bisa terdapat lebih dari 1 produk. Setelah keluar mesin punch hitungannya menjadi pieces karena sudah terpisah menjadi tiap produk. Waktu proses dihitung menggunakan persamaan 4. Contoh perhitungan waktu proses, menggunakan contoh pada *Job 30*.

$$\text{Waktu proses} = ((\text{jumlah cetak} / \text{kapasitas mesin}) + \text{make } \textit{ready} \text{ mesin}) \times 60 \text{ menit} \quad (4)$$

Job 30 terdiri dari 5 operasi. Operasi 1 di mesin 1c (SM2), operasi 2 di mesin 2 (Laminating), operasi 3 di mesin 4 (Punch), operasi 4 di mesin 5 (Hot Foil), dan operasi 5 di mesin 9 (Handwork Lem).

$$\begin{aligned} \text{Operasi 1} &= ((2.625 / 8.000) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 140 \text{ menit} \\ \text{Operasi 2} &= ((2.625 / 1.500) + 1) \times 60 \text{ menit} \\ &= 165 \text{ menit} \\ \text{Operasi 3} &= ((2.625 / 5.000) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 152 \text{ menit} \\ &= ((2.625 / 2.500) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 183 \text{ menit} \\ &= ((2.625 / 2.500) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 183 \text{ menit} \\ &= ((2.625 / 2.500) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 183 \text{ menit} \\ &= ((2.625 / 400) + 2) \times 60 \text{ menit} \\ &= 154 \text{ menit} \\ \text{Operasi 4} &= ((5.250 / 750) + 1) \times 60 \text{ menit} \\ &= 684 \text{ menit} \\ \text{Operasi 5} &= ((5.250 / 300) + 1) \times 60 \text{ menit} \\ &= 1.110 \text{ menit} \end{aligned}$$

Kapasitas mesin folder gluer adalah meter per jam dikarenakan proses pada mesin ini adalah pengeleman sisi produk, sehingga untuk menghitung waktu prosesnya terlebih dahulu harus mencari total panjang semua produk yang akan diproses. Waktu proses mesin folder gluer dicari dengan persamaan 5. Contoh perhitungan menggunakan contoh pada *job 1* operasi 3.

$$\text{Waktu proses folder gluer} = ((\text{total panjang} / \text{kapasitas mesin}) + \text{make } \textit{ready} \text{ mesin}) \times 60 \text{ menit} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \text{Operasi 3} &= ((200.850 / 1.500) + 1) \times 60 \text{ menit} \\ &= 8.094 \text{ menit} \\ &= ((200.850 / 1.500) + 1) \times 60 \text{ menit} \\ &= 8.094 \text{ menit} \\ &= ((200.850 / 2.000) + 1) \times 60 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 &= 6.068 \text{ menit} \\
 &= ((200.850 / 2.000) + 1) \times 60 \text{ menit} \\
 &= 6.068 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Dimana total panjang = (total *order* x panjang) / 100 (6)

$$\begin{aligned}
 \text{Panjang Job 1} &= (309.000 \times 65) / 100 \\
 &= 200.850 \text{ meter}
 \end{aligned}$$

Penjadwalan perusahaan saat ini dilakukan secara paralel dengan prioritas EDD (*earliest due date*) yaitu penjadwalan tiap operasi pekerjaan kepada mesin - mesin berdasarkan operasi pekerjaan yang memiliki *due date* terkecil. Penjadwalan perusahaan juga mempertimbangkan kesiapan dari *job* yang akan dikerjakan. *Job* yang siap akan diproses terlebih dahulu walaupun ada *job* lain yang *due date*-nya lebih kecil. Sehingga jika ada lebih dari 1 *job* yang siap dikerjakan maka dipilih *job* yang *due date*-nya terkecil, namun jika yang siap hanya satu maka *job* tersebut akan dipilih walau ada *job* yang *due date*-nya lebih kecil. Penjadwalan perusahaan dilakukan secara paralel yaitu diselesaikan satu mesin baru pindah ke mesin yang lain, dengan prioritas EDD. Terdapat 19 mesin yang dijadwalkan dalam penelitian ini.

1. Mesin 1a (Mitsubishi)

Penjadwalan di mesin 1a diurutkan berdasarkan tanggal kirim terkecil. *Job* 111 dan 211 yang terlambat dan seharusnya dikirim tanggal 25 Maret 2016 dijadwalkan terlebih dahulu dibandingkan *job* 911, 1011, dan 1111 yang terlambat dan seharusnya dikirim tanggal 18 April 2016, begitu seterusnya sampai semua operasi di mesin 1a selesai dijadwalkan. Penjadwalan di mesin 1a secara berturut – turut yaitu: 111, 211, 911, 1011, 1111, 411, 511, 311, 611, 1211, 1311, 711, 811, 1411, 1511, dan 1611.

2. Mesin 9 (Handwork Lem)

Penjadwalan di mesin 9 diurutkan berdasarkan kesiapan dan tanggal kirim terkecil pekerjaan. Melihat kesiapan pekerjaan, dimana *job* yang paling siap adalah 4049 pada menit ke 3600 dan selesai pada menit ke 6780. Pada menit 6780 terdapat 3 *job* yang siap dikerjakan yaitu : 1249 siap pada menit ke 4307 (14 Mei 2016), 649 siap pada menit ke 4457 (terlambat dan seharusnya 05 Mei

2016), 3049 siap pada menit ke 4732 (01 Juni 2016). Ketiga *job* diatas yang tanggal kirimnya terkecil adalah 649 sehingga terpilih untuk dijadwalkan. *Job* 649 selesai pada menit ke 7464, dimana digunakan untuk pedoman pemilihan operasi yang akan dijadwalkan selanjutnya, begitu seterusnya sampai semua operasi di mesin 9 selesai dijadwalkan. Penjadwalan di mesin 8 secara berturut – turut yaitu: 4049, 649, 1249, dan 3059.

Total waktu penyelesaian (*makespan*) merupakan total waktu penyelesaian pekerjaan atau waktu paling akhir pekerjaan diselesaikan. Total waktu penyelesaian (*makespan*) adalah 37.343 menit dimana *Job* yang paling akhir dikerjakan adalah *job* 23, operasi ke 3 yang diproses pada mesin 71a. Waktu tunggu merupakan waktu yang dibutuhkan pekerjaan untuk menunggu sebelum diproses pada operasi selanjutnya. Waktu tunggu dicari berdasarkan persamaan 7 dengan melakukan pengurangan waktu mulai dengan waktu selesai operasi sebelumnya. Contohnya adalah *job* 2 operasi 1 dan 2.

$$\text{Waktu tunggu} = \text{waktu mulai} - \text{waktu selesai operasi pendahulu} \quad (7)$$

$$\begin{aligned}
 \text{Job 2 operasi 1} &= 893 - 0 \\
 &= 893 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned}
 \text{Job 2 operasi 2} &= 2.076 - 1.708 \\
 &= 368 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Waktu alir adalah jumlah waktu yang dihabiskan pekerjaan dalam sistem. Waktu alir dihitung berdasarkan persamaan 8 dengan melakukan penjumlahan waktu proses dengan waktu tunggu. Contohnya adalah *job 2* operasi 1 dan 2.

$$\text{Waktu alir} = \text{waktu proses} + \text{waktu tunggu} \quad (8)$$

$$\begin{aligned} \text{Job 2 operasi 1} &= 815 + 893 \\ &= 1.708 \text{ menit} \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} \text{Job 2 operasi 2} &= 1.232 + 368 \\ &= 1.601 \text{ menit} \end{aligned}$$

Kemudian dihitung waktu alir rata-rata (*mean flow time*) yang merupakan waktu rata-rata yang dihabiskan pekerjaan dalam sistem. Dihitung dengan menggunakan persamaan 9, yaitu Dihitung dengan merata - rata waktu alir yang telah dihitung.

$$= 8.942 \text{ menit} \quad (9)$$

Dilakukan pengukuran kapasitas waktu menganggur (*idle capacity*) untuk mengetahui seberapa besar presentase mesin menganggur hasil dari penjadwalan perusahaan. Waktu proses merupakan waktu asli mesin dalam memproses semua produk. Waktu terpakai adalah total waktu yang dihabiskan mesin untuk memproses semua produk, yang terdiri dari waktu proses dan waktu tunggu tiap mesin. Sebelum menghitung *idle capacity*, harus dihitung loading terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 10. *Idle capacity* dihitung dengan persamaan 11. Contoh yang digunakan adalah mesin UV Varnish.

$$\text{Loading mesin UV Varnish} = 54 \% \quad (10)$$

Kemudian menghitung *idle capacity*,

$$\text{Idle capacity Mesin UV Varnish} = 100\% - \text{Loading} \quad (11)$$

$$\begin{aligned} &= 100\% - 54\% \\ &= 46\% \end{aligned}$$

Setelah dilakukan perhitungan *idle capacity* tiap mesin kemudian dihitung rata-ratanya dengan menggunakan persamaan 12 untuk mengetahui rata-rata kapasitas menganggur semua mesin yang digunakan.

$$\text{Rata-rata idle capacity} = 20\% \quad (12)$$

Algoritma *non delay* menjadwalkan pekerjaan dengan *ready time* terkecil. Saat *ready time* pekerjaan terkecil lebih dari satu maka operasi dipilih berdasarkan *short processing time* (SPT), dan apabila ada terdapat lebih dari satu operasi dengan waktu proses terkecil maka pemilihan operasi berdasarkan *most work remaining* (MWKR). Jika setelah prioritas MWKR masih terdapat lebih dari satu operasi yang dapat dijadwalkan, maka akan dipilih secara random. Algoritma *non delay* untuk mesin majemuk pada dasarnya sama dengan algoritma *non delay* untuk mesin tunggal. Dalam penjadwalan *non delay* untuk mesin majemuk terdapat proses pemilihan mesin dengan melihat ketersediaan mesin, apakah mesin tunggal atau mesin lebih dari satu. Jika mesin tunggal, maka langsung dipilih. Sedangkan jika mesin dengan jumlah lebih dari satu, maka dipilih mesin dengan *ready time* tercepat. Terdapat 21 iterasi, dimana salah satu contoh penjadwalan yaitu:

Langkah 1 : Menentukan $t = 0$ yang merupakan iterasi. Memasukkan semua *job* yang akan dijadwalkan kedalam St. Dimana notasi *job* yang dijadwalkan dibentuk menggunakan notasi triplet (ijk), dimana i merupakan *job*, j merupakan operasi, dan k merupakan mesin. Iterasi 0 merupakan tahap awal sehingga semua operasi yang akan dijadwalkan tanpa pendahulu semua. Berdasarkan tabel *routing* 4.3 maka *job* yang akan dijadwalkan pada iterasi 0 adalah *job 1* operasi 1 di mesin 1a, *job 2* operasi 1 di mesin 1a, *job 3* operasi 1 di mesin 1a, *job 4* operasi 1 di mesin 1a, *job 5* operasi 1 di mesin 1a, hingga *job 50* operasi 1 di mesin 2. St = (111a, 211a, 311a,

- Langkah 2 : Menentukan C^* yang merupakan C_j minimum (waktu paling awal yang dapat dikerjakan). Sebelum menentukan C_j untuk tiap *job* terlebih dahulu melihat jumlah mesin, karena untuk iterasi 0 mesin yang digunakan mesin tunggal sehingga belum ada pemilihan mesin sehingga bisa langsung ditentukan C_j . Cara menentukan C_j untuk tiap *job* seperti pada langkah 3.
- Langkah 3 : Karena mesin tidak sedang beroperasi semua, maka waktu mulai operasi mengikuti waktu operasi dari operasi sebelumnya pada *job* yang sama. Karena *job* sebelumnya tidak ada sehingga waktu mulai untuk semua *job* di iterasi 0 ini adalah 0. Menentukan t_{ij} yang merupakan waktu proses, dan r_{ij} yang merupakan waktu selesai operasi tiap *job*, dimana $r_{ij} = C_j + t_{ij}$.
- Langkah 4 : Melihat apakah *ready time* mesin minimum lebih dari satu. Karena *ready time* mesin minimum semua sama yaitu 0 atau C_j minimum untuk tiap mesin lebih dari satu maka lanjut ke langkah 5. C_j merupakan waktu mulai operasi *job* j . $C_{111a} = 0$, $C_{111b} = 0$, $C_{111c} = 0$, $C_{111d} = 0$, ..., $C_{111n} = c^*$
- Langkah 5 : Berdasarkan prioritas *Short Processing Time* (SPT) mesin 1a memiliki 3 *job* yang waktu prosesnya tercepat yaitu $1411a = 122$, $1511a = 122$, $1611a = 122$. Mesin 1b, 1c, 1d hanya memiliki hanya memiliki 1 *job* yang waktu prosesnya tercepat yaitu $2111b = 123$, $2811c = 128$, $4211d = 123$ sehingga bisa langsung dijadwalkan. Mesin 2 memiliki 2 *job* yang waktu prosesnya tercepat yaitu $4812 = 678$, $4912 = 678$. Untuk mesin 1a dan 2 yang memiliki waktu proses tercepat lebih dari 1 lanjutkan ke langkah 6.
- Langkah 6 : Berdasarkan prioritas *Most Work Remaining* (MWKR), *job* 1411a, *job* 1511a, 1611a yang dikerjakan di mesin 1a dan *job* 4812, *job* 4912 yang dikerjakan di mesin 2 memiliki jumlah operasi tersisa yang sama maka lanjut ke langkah 7.
- Langkah 7 : Dikarenakan *job* 1411a, *job* 1511a, 1611a jumlah operasi tersisanya sama maka dipilih secara random di sini dipilih *job* 1511a untuk dijadwalkan di mesin 1a. *Job* 4812 dan 4912 juga dipilih secara random di sini dipilih *job* 4812 untuk dijadwalkan di mesin 2. $M_{1a} = 1511a$, $M_{1b} = 2111b$, $M_{1c} = 2811c$, $M_{1d} = 4211d$, $M_2 = 4812$.
- Langkah 8 : Jadwalkan *job* 1511a, 2111b, 2811c, 4211d, dan 4812 kemudian masukkan kedalam Pst. $Pst = (1511a, 2111b, 2811c, 4211d, 4812)$
- Langkah 9 : Masukkan waktu dari operasi yang terpilih ke mesin yang bersangkutan. *Ready time* mesin 1a selanjutnya di iterasi 1 adalah 122 karena *job* 1511a selesai menit ke 122. $M_{1a} = 122$, $M_{1b} = 123$, $M_{1c} = 126$, $M_{1d} = 123$, $M_2 = 678$.
- Langkah 10 : Mengganti operasi yang terpilih dengan operasi selanjutnya. 1511a diganti 1523, 2111b diganti 2122, 2811c diganti 2822, 4211d diganti 4222, 4812 diganti 4824
- Langkah 11 : Kembali ke langkah 2 untuk menentukan kembali C_j tiap *job* yang akan dijadwalkan.

Total waktu penyelesaian (*makespan*) adalah 30.822 menit dimana *Job* yang paling akhir dikerjakan adalah *job* 23, operasi ke 3 yang diproses pada mesin 71a. Waktu tunggu dicari berdasarkan persamaan 7 dengan melakukan pengurangan waktu mulai dengan waktu selesai operasi sebelumnya. Contohnya adalah *job* 2 operasi 1 dan 2.

$$\begin{aligned}
 \text{Job 1 operasi 1} &= 3.445 - 0 \\
 &= 3.445 \text{ menit} \\
 \text{Job 1 operasi 2} &= 4.365 - 4.337 \\
 &= 27 \text{ menit}
 \end{aligned}$$

Waktu alir adalah jumlah waktu yang dihabiskan pekerjaan dalam sistem. Waktu alir dihitung berdasarkan persamaan 8 dengan melakukan penjumlahan waktu proses dengan waktu tunggu. Contohnya adalah *job 2* operasi 1 dan 2.

$$\begin{aligned} \text{Job 1 operasi 1} &= 893 + 3.445 \\ &= 4.337 \text{ menit} \\ \text{Job 1 operasi 2} &= 1.356 + 27 \\ &= 1.601 \text{ menit} \end{aligned}$$

Kemudian dihitung waktu alir rata-rata (*mean flow time*) yang merupakan waktu rata-rata yang dihabiskan pekerjaan dalam sistem. Dihitung dengan menggunakan persamaan 9.

$$= 6.031 \text{ menit}$$

Dilakukan pengukuran kapasitas waktu menganggur (*idle capacity*). Sebelum menghitung *idle capacity*, harus dihitung loading terlebih dahulu dengan menggunakan persamaan 10. *Idle capacity* dihitung dengan persamaan 11. Contoh yang digunakan adalah mesin UV Varnish.

$$\text{Loading Mesin UV Varnish} = 76\%$$

Kemudian menghitung *idle capacity*,

$$\text{Idle capacity Mesin UV Varnish} = 100\% - 76\% = 24\%$$

Setelah dilakukan perhitungan *idle capacity* tiap mesin kemudian dihitung rata-ratanya dengan menggunakan persamaan 12 untuk mengetahui rata-rata kapasitas menganggur semua mesin yang digunakan. .

$$\text{Rata-rata } \textit{idle capacity} \text{ penjadwalan algoritme } \textit{non delay} = 21\%$$

Job yang akan ditentukan estimasi *due date* atau tanggal kirimnya adalah pesanan hari pertama minggu ke 20 tahun 2016 yaitu tanggal 9 Mei 2016. Terdapat tiga pesanan pada tanggal 9 Mei 2016. Setelah itu kemudian dicari *routing*, inskit dan waktu proses. Setelah diketahui *routing* dan waktu proses, kemudian dilakukan estimasi *due date* dengan metode perusahaan dan algoritma *non delay*. Waktu penyelesaian yang diperoleh kemudian digunakan untuk menghitung lamanya waktu pengerjaan.

Tabel 1. Estimasi Waktu Penyelesaian Perusahaan

<i>Job</i>	Menit	Jam	Hari	Mulai	Selesai
1	9803	163	12	09-Mei	21-Mei
2	4471	75	5	09-Mei	13-Mei
3	4235	71	5	09-Mei	13-Mei

Tabel 2. Estimasi Waktu Penyelesaian Non Delay

<i>Job</i>	Menit	Jam	Hari	Mulai	Selesai
1	17045	278	20	09-Mei	30-Mei
2	11726	195	14	09-Mei	24-Mei
3	11478	191	14	09-Mei	24-Mei

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Waktu penyelesaian pekerjaan (*makespan*) dan rata – rata waktu alir (*mean flow time*) penjadwalan perusahaan dan algoritma *non delay* dapat dilihat pada Tabel 3.

Tabel 3. Perbandingan Penjadwalan Perusahaan dan *Non Delay*

Penjadwalan	<i>Makespan</i> (menit)	<i>Mean Flow Time</i> (menit)	<i>Idle Capacity</i> (%)
Perusahaan	37343	8942	29
<i>Non Delay</i>	30822	6031	21

Makespan yang dihasilkan dengan metode perusahaan adalah 37343 menit, dimana *job* yang paling akhir selesai adalah *job* 23 operasi 3 pada mesin 7a. *Makespan* yang dihasilkan dengan algoritma *non delay* adalah 30822 menit, dimana *job* yang paling akhir selesai adalah *job* 23 operasi 3 mesin

7d. Sehingga algoritma *non delay* lebih cepat dalam menyelesaikan pekerjaan dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 6522 menit. *Mean flow* metode perusahaan adalah 8942 menit sedangkan untuk algoritma *non delay* sebesar 6031 menit. Sehingga rata – rata waktu alir metode *non delay* lebih kecil dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 2911 menit, sehingga bisa meminimalkan persediaan barang setengah jadi. *Idle capacity* (kapasitas waktu menganggur) penjadwalan perusahaan sebesar 29% sedangkan algoritma *non delay* sebesar 21%. Penjadwalan *non delay* mampu mengurangi kapasitas menganggur mesin sebesar 8%. Estimasi *due date* metode perusahaan dan penjadwalan *non delay* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Estimasi *Due Date* Metode Perusahaan dan *Non Delay*

<i>Due Date</i>	<i>Job 1</i> (menit)	<i>Job 2</i> (menit)	<i>Job 3</i> (menit)
Perusahaan	9803	4471	4235
<i>Non Delay</i>	17045	11714	11466

Metode perusahaan dalam melakukan estimasi ketiga pesanan membutuhkan waktu 9803 menit (12

hari) *job* 1, 4471 menit (5 hari) *job* 2, dan 4235 menit (5 hari) *job* 3. Algoritma *non delay* membutuhkan waktu 17045 menit (20 hari) *job* 1, 11714 menit (14 hari) *job* 2, dan 11466 menit (14 hari) *job* 3. Algoritma *non delay* lebih lama karena mempertimbangkan *ready time* setiap mesin yang digunakan untuk melakukan tiap proses operasi pada tiap *job*, sehingga bisa sesuai dengan kondisi aktual di lini produksi. Namun metode perusahaan hanya mempertimbangkan *ready time* mesin untuk proses operasi pertama pada tiap *job*, sedangkan mesin untuk operasi selanjutnya tidak dipertimbangkan. Hal tersebut membuat slack (ketidaksesuaian) antara estimasi dengan proses pengerjaan, karena kenyataan dilapangan tiap pergantian operasi ada kemungkinan *job* menunggu karena mesin belum siap. Algoritma *non delay* yang diusulkan diharap mampu mengurangi *slack* antara estimasi dan proses pengerjaan, sehingga mampu mengurangi kelambatan.

Hasil penelitian menunjukkan bahwasanya algoritma *non delay* lebih baik dalam melakukan penjadwalan dan penentuan *due date* dibandingkan metode perusahaan. Perusahaan harus lebih cermat dalam memilih metode penjadwalan. Metode penjadwalan yang dipilih sebisa

mungkin dapat mempercepat waktu penyelesaian pekerjaan dan mengurangi waktu alir pekerjaan. Semakin cepat pekerjaan dapat diselesaikan maka semakin banyak *job* yang bisa dikerjakan, dan semakin banyak pula pesanan yang diterima. Semakin kecil waktu alir maka waktu menunggu *job* untuk diproses juga semakin kecil. Memperkecil waktu tunggu *job* dapat mengurangi persediaan barang setengah jadi.

Algoritma *non delay* sendiri memiliki kelebihan, yaitu mampu mengurangi waktu alir rata – rata sehingga persediaan barang setengah jadi menjadi kecil. Penyelesaian pekerjaan cenderung lebih cepat, sehingga perusahaan mampu memproses lebih banyak produk dan pesanan yang diterima bisa lebih banyak, karena proses cepat selesai. Mampu mengurangi presentasi manganggur atau waktu menunggu mesin, sehingga mesin lebih produktif.

Dalam melakukan estimasi *due date* perusahaan seharusnya tidak hanya mempertimbangkan *ready time* mesin pertama pada tiap *job*. Estimasi *due date* harus mempertimbangkan *ready time* semua mesin, hal ini disebabkan mesin yang akan digunakan belum tentu siap digunakan karena masih melakukan proses operasi. Dengan mempertimbangkan *ready time* semua mesin, maka dapat memperkecil slack (ketidak sesuaian) antara estimasi dengan proses pengerjaan sehingga mampu meminimalkan keterlambatan.

4. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat diambil beberapa kesimpulan sebagai berikut:

1. Penjadwalan menggunakan algoritma *non delay* menghasilkan total waktu penyelesaian sebesar 30822 menit, waktu alir rata – rata sebesar 6031 menit, dan kapasitas manganggur mesin 21%.
2. Algoritma *non delay* lebih cepat dalam menyelesaikan pekerjaan dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 6522 menit. Rata – rata waktu alir algoritma *non delay* lebih kecil dibanding metode perusahaan dengan selisih sebesar 2911 menit, sehingga bisa meminimalkan persediaan barang setengah jadi. Penjadwalan *non delay* mampu mengurangi kapasitas manganggur mesin sebesar 8%.
3. Metode perusahaan dalam melakukan estimasi ketiga pesanan membutuhkan waktu 9803 menit (12 hari) *job* 1, 4471 menit (5 hari) *job* 2, dan 4235 menit (5 hari) *job* 3. Metode *non delay* membutuhkan waktu 17045 menit (20 hari) *job* 1, 11714 menit (14 hari) *job* 2, dan 11466 menit (14 hari) *job* 3.
4. Algoritma *non delay* lebih lama dalam estimasi *due date* dibanding metode perusahaan. Hal ini dikarenakan dalam estimasi *due date*, algoritma *non delay* mempertimbangkan *ready time* setiap mesin. Oleh karena itu dengan mempertimbangkan *ready time* dari tiap mesin, maka akan mampu mengurangi slack antara estimasi dan proses pengerjaan di lapangan, sehingga mampu mengurangi kelambatan.

DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K.R. & Trietsch, D., 2009. *Principles Of Sequencing And Scheduling*, New Jersey: John Wiley & Sons.
- Dugardin, F., Chehade, H., Amodeo, L., Yalaoui, F., Prins, C., 2007. Hybrid Job Shop and parallel Chiechedigbe : iizifdieciei E Lev e , ed *Multiprocessor Scheduling: Theory and Applications*, (December), pp.273–292.
- Fithri, P. & Ramawinta, F., 2013. Algoritma Pembangkitan Jadwal Aktif Dan Algoritma Penjadwalan Non-Delay Untuk. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, 12, pp.377–399.
- Ginting, R., 2009. *Penjadwalan Mesin*, Yogyakarta: Graha Ilmu.

- Hijayati, R.A., AR, M.D. & Husaini, A., 2014. Analisis Audit Operasional Dalam Upaya Meningkatkan Efisiensi, Efektivitas, Dan Ekonomisasi Bagian Produksi. *Jurnal Administrasi Bisnis (JAB)*, 12(1), pp.1–10.
- Indriyatno, Y., 2006. Scheduling Proses Cetak Pada Pt. Percetakan Untuk Mengoptimalkan Waktu Deadline Majalah. Universitas Mercubuana.
- Lysandra, M., Harsono, A. & Mustofa, F.H., 2014. Usulan Penjadwalan Kendaraan Shuttle Pt. X Dengan Modifikasi Algoritma N-Jobs M- Mesin. *Jurnal Online Institut Teknologi Nasional*, 02(03), pp.237–247.
- Nasution, A.H. & Prasetyawan, Y., 2008. Perencanaan Dan Pengendalian Produksi, Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Ong, J.O., 2013. Penjadwalan Non-Delay Melalui Mesin Majemuk Untuk Meminimalkan *Makespan*. *Spektrum Industri*, 11, pp.117–242.
- Sipper, D. & Robert L. Bulfin, J., 1977. *Production, Planning, Control, and Integration*, MC Graw- Hill.
- Suseno & Indrakusuma, B., 2014. *Job Scheduling Menggunakan Metode Algoritma Active, Algoritma Non Delay DaHeic Sched e Ge e i S di K : B b d Knitting* . , pp.1–7.