

MINIMASI *MAKESPAN* PADA PENJADWALAN *FLOW SHOP* MESIN PARALEL PRODUK *STEEL BRIDGE B-60* MENGGUNAKAN METODE *LONGEST PROCESSING TIME* DAN *PARTICLE SWARM OPTIMIZATION*

Yusraini Muharni[†]

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail : yusmuharni@gmail.com

Evi Febianti

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail : evifebianti@yahoo.com

Nafa Nafsiani Sofa

Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Banten
e-mail : nafsiani05@gmail.com

ABSTRAK

Penjadwalan merupakan pengaturan waktu dari suatu kegiatan operasi. Penjadwalan mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan ataupun tenaga kerja bagi suatu kegiatan operasi dan menentukan urutan pelaksanaan kegiatan operasi. PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, saat ini produk dan jasa yang dilakukan PT XYZ adalah stokis besi dan baja, fabrikasi struktur baja, konstruksi jembatan, dan alat berat. PT XYZ sudah memiliki panduan produksi tersendiri dalam memproduksi produk-produknya namun meskipun waktu produksi sudah sesuai dengan waktu standar produksi, perusahaan mengalami keterlambatan pengiriman produk kepada konsumen karena ada beberapa material dari vendor yang terlambat datang sehingga menyebabkan produk tidak sampai ke konsumen tepat waktu, contohnya pada produk *Steel Bridge B-60*. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk meminimasi nilai *makespan* pada proses penjadwalan *Steel Bridge B-60*. Penelitian ini akan membandingkan antara penjadwalan eksisting perusahaan dan penjadwalan usulan dengan metode *Longest Processing Time (LPT)* dan *Particle Swarm Optimization (PSO)* dengan bantuan *software* MATLAB. Hasil yang didapat dari penelitian ini yaitu metode usulan menggunakan metode *Particle Swarm Optimization (PSO)* lebih baik dibandingkan dengan kondisi eksisting yaitu memiliki nilai *makespan* sebesar 8.394 menit.

Kata Kunci : *Penjadwalan Produksi, Mesin Paralel, Longest Processing Time (LPT), Particle Swarm Optimization (PSO), MATLAB*

1. PENDAHULUAN

Menurut Kuswandi (2010) penjadwalan merupakan pengaturan waktu dari suatu kegiatan operasi. Penjadwalan mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan ataupun tenaga kerja bagi suatu kegiatan operasi dan menentukan urutan pelaksanaan kegiatan operasi. Dalam hierarki pengambilan keputusan, penjadwalan merupakan langkah terakhir sebelum dimulainya operasi. Selain itu penjadwalan dapat didefinisikan sebagai pengaturan waktu dari suatu kegiatan yang mencakup kegiatan mengalokasikan fasilitas, peralatan atau tenaga kerja bagi suatu kegiatan operasi dan menentukan urutan pelaksanaan kegiatan operasi. Tujuan dari dilakukannya penjadwalan produksi adalah untuk meminimalkan waktu proses, waktu tunggu langganan, dan tingkat persediaan, serta

penggunaan yang efisien dari fasilitas, tenaga kerja, dan peralatan.

Menurut Sonata (2015) penjadwalan secara garis besar berdasarkan urutan proses produksinya dapat dibedakan dalam 2 macam yaitu *job shop* dan *flow shop*. Menurut Wildan dkk. (2013) apabila urutan mesin yang digunakan (*routing*) sama antara produk yang satu dengan yang lain, maka kondisi *shop* yang dipertimbangkan dikategorikan sebagai *flow shop*. Sedangkan bila *routing*-nya berbeda maka dikategorikan sebagai *job shop*.

1.1 Latar Belakang

PT XYZ merupakan perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, saat ini produk dan jasa yang dilakukan PT XYZ adalah stokis besi dan baja, fabrikasi struktur baja, konstruksi jembatan, dan alat berat. PT XYZ memiliki tujuh jenis mesin yang disusun secara

paralel dengan susunan jumlah yang berbeda-beda. Jenis mesin yang tersedia di PT XYZ diantaranya adalah mesin *cutting* yang berjumlah satu mesin, *fit-up machine* yang berjumlah satu mesin, mesin *welding LMH* yang berjumlah dua mesin, mesin *strightening* yang berjumlah satu mesin, mesin *fit-up fab* yang berjumlah dua mesin, mesin *welding* yang berjumlah tiga mesin, dan *finishing* yang berjumlah dua mesin dengan tujuan untuk memproduksi *order* yang datang dengan jumlah dan spesifikasi yang bermacam-macam.

Selama ini dalam pembuatan rencana produksinya PT XYZ sudah memiliki panduan produksi tentang apa saja yang harus dikerjakan terlebih dahulu dan proses produksi sudah sesuai dengan ketetapan waktu standar produksi perusahaan namun terkadang meskipun waktu produksi sudah sesuai dengan waktu standar produksi, perusahaan mengalami keterlambatan pengiriman produk kepada konsumen karena ada beberapa material dari vendor yang terlambat datang. Berdasarkan kondisi tersebut maka diperlukan adanya suatu pengelolaan dalam lingkup perusahaan untuk kegiatan produksi misalnya pengaturan penggunaan sumber daya dan penggunaan mesin agar pesanan produk yang diminta tetap sampai kepada konsumen di waktu yang tepat. Salah satu contohnya ketika pembuatan *Steel Bridge B-60* yang merupakan salah satu dari jenis jembatan *Truss Bridge* yang diproduksi PT XYZ pada tahun 2017 lalu.

Dalam proses penjadwalan nilai parameter yang biasa dilihat yaitu nilai *makespan* dan yang dimaksud dengan *makespan* adalah waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan seluruh *job* pada mesin yang digunakan. Nilai *makespan* yang minimum dibutuhkan supaya perusahaan tidak dikenakan biaya penalti. Berdasarkan masalah yang telah dijabarkan di atas dan juga pentingnya penjadwalan dalam suatu proses produksi inilah yang melatarbelakangi penulisan peneliti untuk melakukan penelitian menggunakan metode penjadwalan di PT XYZ. Penelitian ini menggunakan pendekatan metode *dispatching priority rules LPT (longest processing time)* dan pendekatan *metaheuristic* dengan metode *particle swarm optimization* untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan produksi yang menggunakan sistem *make to*

order dan aliran produksi tipe *flow shop* dengan mesin paralel.

Pendekatan metode *dispatching priority rules LPT (longest processing time)* dipilih karena mesin-mesin di PT XYZ tersusun secara paralel dan penelitian ini dibatasi hanya menjadwalkan 5 *job* dari 26 *job* sehingga tidak ada data *due date*. Pada penjadwalan dengan pendekatan algoritma PSO (*particle swarm optimization*) dipilih untuk penyelesaian penjadwalan karena menurut Rosdianti, H (2018) metode PSO mudah diimplementasikan dan hanya sedikit parameter yang dibutuhkan, dan juga jika dibandingkan dengan metode *metaheuristic* lainnya PSO lebih fleksibel dalam menjaga keseimbangan antara pencarian *global* dan *local* terhadap pencarian solusi optimalnya, serta algoritma PSO juga dapat mengumpamakan *job* sebagai partikel yang merupakan karakteristik dari algoritma PSO itu sendiri. Pendekatan algoritma *particle swarm optimization* ini dilakukan menggunakan *software* MATLAB yang dinilai dapat memberikan solusi optimal secara cepat dari hasil iterasi dan metode ini akan dibandingkan dengan metode *dispatching priority rules LPT (longest processing time)* dan kondisi eksisting perusahaan.

1.2 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan agar dapat memenuhi tujuan-tujuan diantaranya adalah menentukan usulan penjadwalan *flow shop* terbaik produk *Steel Bridge B-60* di PT XYZ, meminimasi nilai total *makespan* supaya tidak terjadi keterlambatan dalam proses produksi *Steel Bridge B-60* di PT XYZ, serta menghitung nilai *makespan* terkecil yang didapat berdasarkan perbandingan antara metode perusahaan (eksisting) dan metode usulan.

2. TINJAUAN PUSTAKA

2.1 Penjadwalan Produksi

Penjadwalan memiliki beberapa definisi atau pengertian menurut beberapa tokoh diantaranya adalah menurut Bennatan (1995) dalam Puspitasari (2012) penjadwalan memiliki pengertian secara khusus sebagai durasi dari waktu kerja yang dibutuhkan untuk melakukan serangkaian aktivitas kerja yang ada dalam bidang konstruksi. Menurut Gould (1997) dalam Puspitasari (2012) penjadwalan juga merupakan proses penyusunan daftar pekerjaan yang akan dilakukan untuk

mencapai atau mewujudkan suatu tujuan tertentu yang juga memuat tabel waktu pelaksanaannya. Definisi penjadwalan lainnya yaitu penjadwalan mempunyai definisi pengurutan atau pengerjaan secara menyeluruh dalam suatu lintasan produksi yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Masalah penjadwalan melibatkan pengerjaan beberapa komponen atau mesin yang sering disebut dengan istilah *job*. *Job* sendiri merupakan komposisi dari sejumlah elemen–elemen dasar yang disebut aktivitas atau operasi. Waktu proses merupakan aktivitas atau operasi yang membutuhkan alokasi sumber daya tertentu selama periode waktu tertentu (Yohanes, 2014).

2.2 Metode Longest Processing Time (LPT)

Metode LPT merupakan salah satu metode penjadwalan yang termasuk ke dalam penjadwalan *heuristic* dimana metode LPT sendiri memiliki definisi yaitu *job* dengan waktu proses terbesar akan diproses terlebih dahulu, demikian berlanjut untuk *job* yang waktu proses terbesar kedua. Aturan LPT ini tidak mempedulikan *due date* maupun kedatangan *order* baru. Metode LPT juga dapat digunakan pada kasus penjadwalan mesin yang disusun secara paralel.

2.3 Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

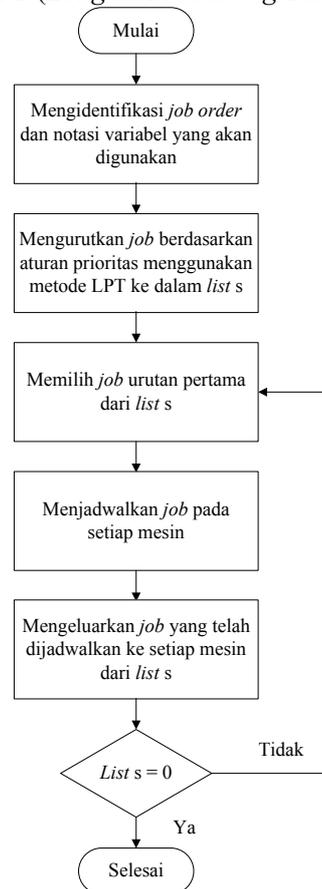
Algoritma PSO diperkenalkan oleh Dr. Eberhart dan Dr. Kennedy pada tahun 1995, merupakan algoritma optimasi yang meniru proses yang terjadi dalam kehidupan populasi burung dan ikan dalam bertahan hidup. PSO memiliki beberapa kesamaan dengan teknik komputasi evolusioner seperti algoritma genetik. Dibandingkan dengan algoritma genetik, PSO memiliki beberapa kelebihan, antara lain mudah diimplementasikan dan memiliki lebih sedikit fungsi operasi dan parameter yang harus ditentukan. Sejak diperkenalkan pertama kali, algoritma PSO berkembang cukup pesat, baik dari sisi aplikasi maupun dari sisi pengembangan metode yang digunakan pada algoritma tersebut. Hal ini disebabkan, algoritma PSO merupakan algoritma optimasi yang mudah dipahami, cukup sederhana, dan memiliki unjuk kerja yang sudah terbukti handal. Algoritma PSO dapat digunakan pada berbagai masalah optimasi baik kontinyu maupun diskrit, linier maupun nonlinier (Wati, D.A.R dan Rochman, Y.A, 2013).

Menurut Santosa, Budi dan Ai, The Jin (2017) PSO memodelkan aktivitas pencarian solusi terbaik dalam suatu ruang solusi sebagai aktivitas terbangnya kelompok partikel dalam suatu ruang solusi tersebut. Posisi partikel dalam ruang solusi tersebut merupakan kandidat solusi yang berisi variabel-variabel optimasi. Setiap posisi tersebut akan dikaitkan dengan sebuah nilai yang disebut nilai objektif atau nilai *fitness* yang dihitung berdasarkan fungsi objektif dari masalah optimasi yang akan diselesaikan.

3. METODE PENELITIAN

3.1 Flow Chart Metode Longest Processing Time (LPT)

Berikut ini merupakan *flow chart* untuk metode LPT (*Longest Processing Time*):



Gambar 1. Flow Chart Metode LPT

Adapun di bawah ini merupakan penjelasan alur untuk metode LPT (*Longest Processing Time*) sebagai berikut:

1. Mulai

Tahap ini merupakan tahap awal untuk pengolahan data menggunakan metode LPT (*Longest Processing Time*).

2. Mengidentifikasi *job order* dan notasi variabel yang akan digunakan

Pada tahap ini dilakukan pengidentifikasian *job order* yang akan dijadwalkan dan juga dilakukan pendefinisian notasi variabel yang akan digunakan untuk menerjemahkan variabel apa saja yang mempengaruhi proses penjadwalan produksi. Adapun notasi variabel yang digunakan adalah sebagai berikut:

- i : nomor *job order* yang akan diproduksi.
- m : mesin yang tersedia
- k : mesin identik ke- k dari jumlah mesin m yang tersedia
- p : total waktu proses untuk *job order* i
- s : *list* seluruh *job* yang akan dijadwalkan.

3. Mengurutkan *job* berdasarkan aturan prioritas menggunakan metode LPT kedalam *list s*

Pada tahap ini *job order* yang telah diidentifikasi akan diurutkan pengerjaannya berdasarkan waktu proses terpanjang atau sesuai dengan aturan prioritas menggunakan LPT. *Job order* yang memiliki total waktu proses terpanjang (p_i) ditempatkan pada *list s* sebagai urutan pertama. Contohnya adalah jika $p_1 > p_2 > \dots > p_n$ maka urutan dalam *list s* yaitu p_1, p_2, \dots, p_n .

4. Memilih *job* urutan pertama dari *list s*

Pada tahap ini urutan *job order* pertama dalam *list s* merupakan *job order* dengan waktu proses yang paling panjang.

5. Menjadwalkan *job* pada setiap mesin

Pada tahap ini *job* urutan pertama dijadwalkan ke setiap mesin k terpilih berdasarkan tipe aliran mesin yaitu *flow shop* yang artinya m_1 merupakan mesin yang dijadwalkan pertama untuk *job*, jika m_1 telah selesai lalu lanjut ke m_2 begitupun seterusnya dan urutan m tidak boleh acak (m_1, m_2, m_3, \dots).

6. Mengeluarkan *job* yang telah dijadwalkan ke setiap mesin dari *list s*

Pada tahap ini *job order* yang telah dijadwalkan ke setiap mesin dikeluarkan dari *list s* sehingga akan terlihat *job* mana saja yang masih tersisa di *list s* untuk segera kembali dijadwalkan ke tiap-tiap mesin secara berurutan.

7. Memeriksa apakah $list\ s = 0$

Pada tahap ini dilakukan pemeriksaan pada *list s* untuk mengetahui apakah *list s* sudah kosong atau belum dari urutan *job order*. Jika nilai *list s* sudah 0 maka pengolahan menggunakan LPT telah selesai, dan jika

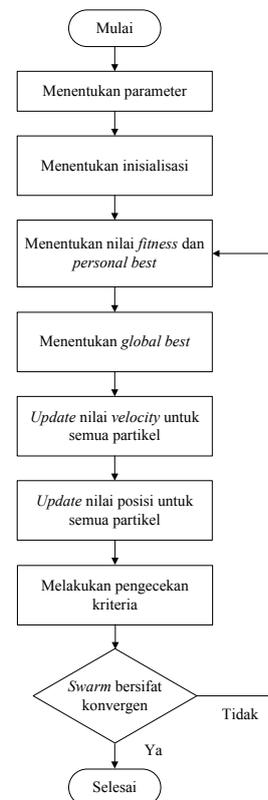
belum maka pengolahan harus kembali ke tahap 3.

8. Selesai

Pada tahap ini pengolahan data menggunakan metode LPT telah berakhir dan peneliti dapat melihat nilai *makespan* atau waktu keseluruhan yang didapat untuk keseluruhan penjadwalan mesin.

3.2 Flow Chart Metode Particle Swarm Optimization (PSO)

Berikut ini merupakan *flow chart* untuk metode PSO (*Particle Swarm Optimization*):



Gambar 2. Flow Chart Particle Swarm Optimization (PSO)

Di bawah ini merupakan penjelasan alur untuk metode algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) sebagai berikut:

1. Mulai

Tahap ini merupakan tahap awal untuk pengolahan data menggunakan metode algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*).

2. Menentukan parameter

Tahap ini merupakan tahap pertama dalam proses pengolahan data menggunakan metode algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*). Adapun parameter yang digunakan diantaranya adalah jumlah iterasi, jumlah *particle* (N), *maximum velocity* (V_{max}), *minimum velocity* (V_{min}), bobot

inersia posisi awal (w), *cognitive learning factor* (C_1), dan *social learning factor* (C_2).

3. Menentukan inisialisasi

Tahap ini dilakukan untuk menentukan posisi awal partikel dan kecepatan awal partikel. Posisi awal diambil dari kondisi eksisting perusahaan dan kecepatan awal dibangkitkan dengan bilangan *random* menggunakan *software* MATLAB.

4. Menentukan nilai *fitness* dan *personal best*

Tahap ini ditentukan nilai *fitness* berdasarkan tujuan awal yaitu untuk meminimasi nilai *makespan*. *Personal best* merupakan solusi dengan posisi terbaik untuk *particle* pada setiap iterasi. *Personal best* dipilih berdasarkan *particle* atau kandidat solusi yang memiliki nilai *fitness* atau nilai *makespan* terkecil.

5. Menentukan *global best*

Tahap ini dilakukan penentuan *global best* dimana *global best* merupakan *personal best* terbaik dari seluruh iterasi. *Global best* dipilih berdasarkan *personal best* yang memiliki nilai *fitness* atau nilai *makespan* terkecil dari seluruh iterasi.

6. *Update* nilai *velocity* untuk semua *particle*

Tahap ini dilakukan *update* nilai *velocity* untuk semua *particle* sesuai dengan rumus (5) supaya posisi *particle* berpindah dan merubah posisi sebelumnya dan *particle* dapat menuju ruang solusi terbaik.

7. *Update* nilai posisi untuk semua *particle*

Tahap ini dilakukan *update* nilai posisi untuk semua *particle* sesuai dengan rumus (6) dan posisi *particle* yang telah diperbarui akan dijadikan nilai posisi awal untuk iterasi selanjutnya.

8. Melakukan pengecekan kriteria

Pengecekan kriteria untuk melihat solusi optimal yaitu dengan cara melihat *swarm* yang konvergen. *Swarm* dinilai sudah konvergen apabila seluruh *particle* sudah menuju ke nilai *fitness* dan *makespan* yang sama maka perlu dilakukan tahap *stopping criteria*, namun jika tidak terpenuhi maka pengolahan data kembali ke tahap 4.

9. Selesai

Pada tahap ini pengolahan data menggunakan metode algoritma PSO telah berakhir dan peneliti dapat melihat nilai *makespan* minimum yang didapat.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pada proses produksi *Steel Bridge* B-60 PT XYZ memiliki *priority rules* atau urutan prioritas *part-part* yang harus dikerjakan terlebih dahulu diantaranya adalah *part Cross Grider* (CG), *Top Chord* (TC), *Bottom Chord* (BC), *Diagonal Chord* (DG), dan *Stringer* (ST) yang dikerjakan di awal proses karena memiliki dimensi yang paling besar diantara *part-part* yang lain, maka dari itu kelima kode *part* yang menjadi urutan prioritas tertinggi yang dikerjakan terlebih dahulu oleh PT XYZ dijadikan sebagai *job* yang akan dijadwalkan. Di bawah ini merupakan tabel waktu total untuk setiap *job* yang akan dijadwalkan:

Tabel 1. Waktu Total Job

Mesin Job	Cutting (Menit)	Fit-Up Machine (Menit)	Welding LMH (Menit)	Straightening (Menit)	Fit-Up Fab (Menit)	Welding (Menit)	Finishing (Menit)
TB60-CG	89,06	131,84	419,34	155,12	284,79	288,60	76,38
TB60-TC	150,70	220,96	638,86	262,28	478,70	487,04	130,84
TB60-BC	160,56	244,12	707,76	279,16	532,80	526,60	135,08
TB60-DG	323,40	484,52	1545,00	562,24	1056,68	1058,92	274,64
TB60-ST	565,04	751,90	2431,32	975,14	1679,08	1678,08	313,40

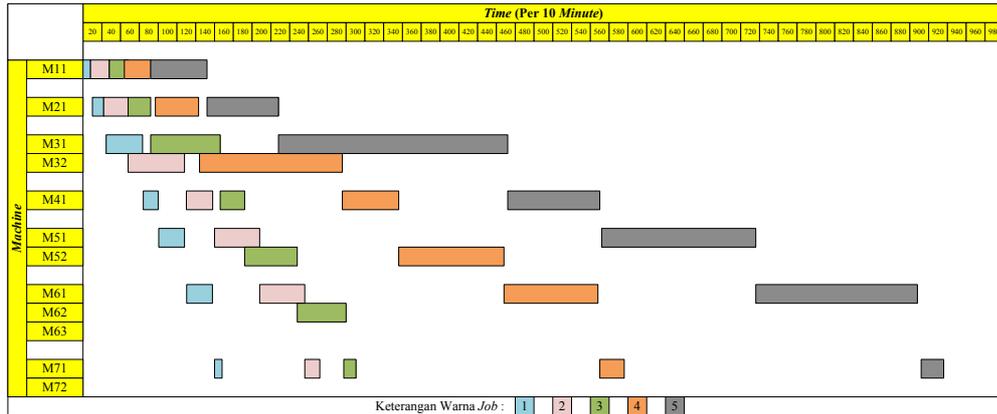
Contoh Perhitungan :

Waktu total CG di mesin *Cutting*

$$\begin{aligned}
 &= \text{Waktu total CG1 di mesin } cutting + \dots + \\
 &\quad \text{Waktu total CG7 di mesin } cutting \\
 &= 14,50 + 12,86 + 14,68 + 12,88 + 14,64 + \\
 &\quad 12,78 + 6,72 \\
 &= 89,06 \text{ Menit}
 \end{aligned}$$

a. Metode Penjadwalan Eksisting

Pada metode penjadwalan eksisting *part Cross Grider* (CG) sebagai *job* 1, *Top Chord* (TC) sebagai *job* 2, *Bottom Chord* (BC) sebagai *job* 3, *Diagonal Chord* (DG) sebagai *job* 4, dan *Stringer* (ST) sebagai *job* 5. Urutan *job* pada keadaan eksisting di PT XYZ memiliki urutan *job* 1-2-3-4-5 sehingga penjadwalan eksisting dapat digambarkan seperti *gant chart* dibawah ini:

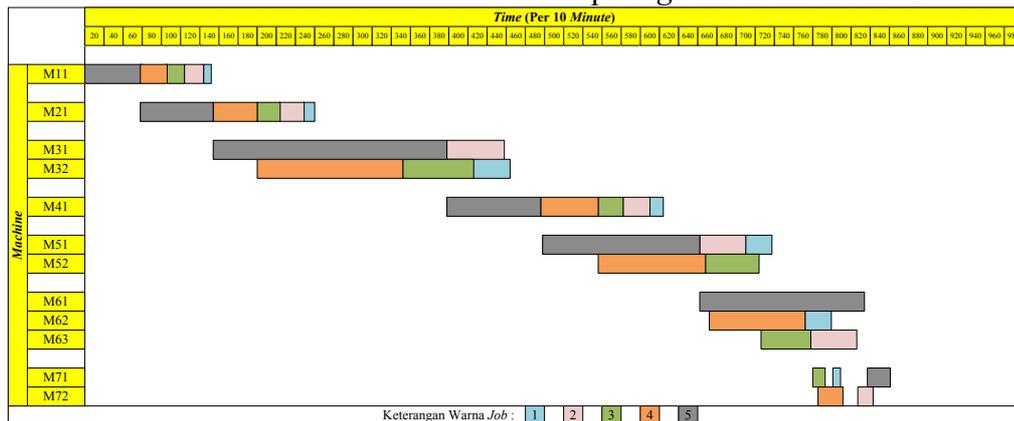


Gambar 3. Gantt Chart Penjadwalan Eksisting

Berdasarkan gambar *gant chart* di atas dapat diketahui bahwa *makespan* penjadwalan eksisting adalah sebesar 9.180 menit.

b. Penjadwalan Metode *Dispatching Priority Rules LPT (Longest Processing Time)*

Setelah tahapan-tahapan seperti yang telah dijelaskan pada *flow chart* metode LPT sudah dilakukan sampai akhir maka penjadwalan dengan menggunakan metode *priority dispatching rules* LPT dengan urutan *job* 5-4-3-2-1 dapat digambarkan seperti *gantchart* di bawah ini:



Gambar 4. Gantt Chart Penjadwalan Metode LPT

Nilai *makespan* yang didapat pada penjadwalan metode LPT ini yaitu sebesar 8.430 menit.

c. Penjadwalan Metode *Particle Swarm Optimization (PSO)*

Penjadwalan dengan menggunakan algoritma PSO dihitung menggunakan bantuan *software* MATLAB dimana pada hasil pengujian algoritmanya didapatkan dari hasil *running coding* yang telah dibuat dan akan dilakukan proses *running* selama 3 kali untuk menampilkan solusi penjadwalan yang berbeda-beda demi mendapatkan solusi yang paling optimal. Penjadwalan menggunakan algoritma PSO tentunya memiliki *pseudocode* atau panduan untuk membuat *coding* atau kode pemrograman pada *software* MATLAB seperti dapat terlihat pada gambar di bawah ini:

```

Set Initial Parameters
  For each particle i
    Initialize position  $x_{id}$ 
    with existing conditions
    Initiallize position
 $x_{id}$  according to the equation
 $x_{id}(i) =$ 
find(Particle==i*0.1
    Initialize velocity  $v_{id}$ 
    randomly within permissible
    range
    Initiallize velocity
 $v_{id}$  according to the equation
 $v_{id} = rand(1,5)$ 
  End For
Iteration i=1:iteration value
DO
  For each particle i
    Calculate fitness value
    If the fitness value is
    lower than pbest ( $p_{id}$ )
    Update pbest ( $p_{id}$ )
  
```

Gambar 5. Pseudocode Penjadwalan Algoritma Particle Swarm Optimization

Adapun tahapan-tahapan metode PSO adalah sebagai berikut (berdasarkan hasil *running* iterasi 1):

1. Penentuan Parameter Awal

Adapun pada penelitian ini penentuan parameter awal yang digunakan adalah sebagai berikut:

Jumlah Iterasi	= 10
Jumlah Particle (N)	= 5
Maximum Velocity (v_{max})	= 0,8
Minimum Velocity (v_{min})	= 0,2
Inertia Weight (w)	= 1
Cognitive Learning Factor (c_1)	= 2
Social Learning Factor (c_2)	= 2

2. Inisialisasi

Pada penelitian ini posisi awal partikel diambil dari kondisi eksisting atau urutan *job* eksisting yaitu 1-2-3-4-5 kemudian dikalikan dengan 0,1 sehingga didapatkan nilai posisi untuk setiap partikel yaitu 0,1;0,2;0,3;0,4;0,5.

3. Penentuan Nilai Fitness dan Personal Best

Nilai *fitness* pada iterasi 1 didapatkan dari nilai *makespan* kondisi eksisting yaitu sebesar 9.180 menit dan waktu tersebut sudah mengalami proses *roundup* sehingga hasil yang didapatkan setelah proses *running* menunjukkan perbedaan yaitu nilai *fitness* menjadi kurang lebih 9.118 menit. Nilai *personal best* pada penelitian ini disesuaikan dengan partikel awal jadi *personal best* iterasi 1 sama dengan urutan partikel awal yaitu urutan *job* 1-2-3-4-5.

4. Penentuan Global Best

Pada tahap sebelumnya sudah dijelaskan bahwa untuk iterasi 1 *personal best* terbaik didapatkan dari urutan awal partikel sehingga nilai *global best* sama dengan nilai *personal best*.

5. Update Velocity

Update velocity pada iterasi 1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 2. Update Velocity Partikel Iterasi 1

Partikel	Update Velocity
1	0,1067
2	0,9619
3	0,0046
4	0,7749
5	0,8173

Contoh Perhitungan (untuk partikel 1 pada iterasi 1):

$$v_{11} = wv_i + c_1 r_1 (pbest_{11} - x_1) + c_2 r_2$$

$$v_{11} = 1 (-0,9508) + 2 \cdot 0,201 (1 - 0,1) + 2 \cdot 0,420 (1 - 0,1)$$

$$v_{11} = 0,1067$$

6. Update Position

Adapun *update position* pada iterasi 1 dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 3. Update Position Partikel Iterasi 1

Partikel	Update Position
1	0,2067
2	1,1619
3	0,3046
4	1,1749
5	1,3173

Contoh Perhitungan (untuk partikel 1 pada iterasi 1):

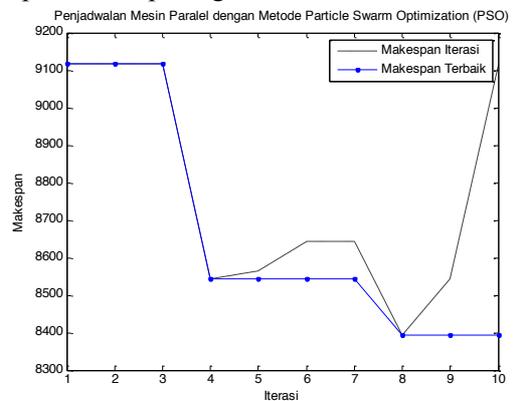
$$x_{11} = x_1 + v_{11}$$

$$x_{11} = 0,1 + 0,1067$$

$$x_{11} = 0,2067$$

7. Pengecekan Kriteria

Tahapan terakhir pada proses penjadwalan menggunakan algoritma PSO adalah pengecekan kriteria. Pada tahap ini dilihat sebuah grafik yang menunjukkan hasil dari algoritma PSO dan untuk lebih jelasnya dapat dilihat pada gambar di bawah ini:



Gambar 6. Grafik Penjadwalan Metode PSO Hasil Running MATLAB Pertama

Berdasarkan gambar di atas didapatkan nilai *makespan* terbaik yang didapatkan dari nilai *fitness* di setiap iterasi (10 iterasi) yang ditunjukkan dengan garis berwarna biru dimana mulai dari iterasi 1 sampai iterasi 3 konstan dan grafik turun pada iterasi 4 dan konstan sampai iterasi 7 kemudian turun lagi saat iterasi 8 dan konstan sampai iterasi 10, hal tersebut menandakan bahwa mulai dari iterasi 1 sampai iterasi 8 masih mengalami perubahan namun setelah iterasi 8 sampai iterasi 10 nilai *makespan* tetap konstan atau tidak berubah. Dari gambar di atas juga dapat diketahui

bahwa penentuan kriteria kapan harus berhenti untuk mendapatkan nilai *makespan* terbaik adalah pada saat iterasi 8 dengan nilai *makespan* kurang lebih sebesar 8.394 menit dengan urutan pengerjaan *job* 5-2-4-1-3.

Nilai *makespan* untuk kondisi eksisting yaitu sebesar 9.180 menit, nilai *makespan* dengan menggunakan metode LPT yaitu sebesar 8.430 menit, serta nilai *makespan* dengan menggunakan metode PSO yaitu sebesar 8.394 menit. Berdasarkan perbandingan nilai *makespan* yang didapat terlihat bahwa nilai *makespan* metode usulan lebih kecil dari nilai *makespan* kondisi eksisting, kemudian untuk kedua metode usulan yang memiliki nilai *makespan* yang lebih kecil adalah metode PSO. Hal ini menandakan bahwa penjadwalan dengan menggunakan metode usulan lebih baik dibandingkan dengan penjadwalan kondisi eksisting dan metode usulan terbaik adalah dengan pendekatan metaheuristik menggunakan algoritma PSO (*Particle Swarm Optimization*) dengan nilai *makespan* terkecil yaitu sebesar 8.394 menit untuk lima *job* yang dijadwalkan pada PT XYZ.

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa :

1. Usulan penjadwalan *flow shop* terbaik yaitu dengan menggunakan usulan penjadwalan metode *particle swarm optimization* dengan urutan pengerjaan *job* 5-2-4-1-3.
2. Nilai *makespan* yang didapat dengan menggunakan metode PSO yaitu sebesar 8.394 menit dimana nilai ini lebih kecil dibandingkan dengan metode eksisting yang memiliki nilai *makespan* sebesar 9.180 menit.
3. Perbandingan nilai *makespan* yang didapat dari metode eksisting dan dua metode usulan (LPT dan PSO) adalah nilai *makespan* metode eksisting sebesar 9.180 menit, nilai *makespan* metode LPT sebesar 8.430 menit, dan nilai *makespan* metode PSO sebesar 8.394 menit.

6. DAFTAR PUSTAKA

1. Kuswandi, Imron. 2010. Minimasi *Makespan* Dengan Penjadwalan Produksi Pada Tipe Produksi Berulang. *Jurnal Teknik Industri*.

2. Puspitasari, Gitta. 2012. *Algoritma Particle Swarm Optimization* dengan *Local Search* untuk Permasalahan Penjadwalan *Permutation Flowshop*. Skripsi Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Airlangga.
3. Rosdianti, Hanifa. 2018. Usulan Penjadwalan Produksi *Bar Mill* Dengan Metode Kombinasi *Particle Swarm Optimization* dan *Nawaz Enscore And Ham* Untuk Meminimasi *Makespan* di PT XYZ. Skripsi Teknik Industri Universitas Sultan Ageng Tirtayasa, Cilegon.
4. Santosa, Budi dan Ai, The Jin. 2017. Pengantar Metaheuristik Implementasi dengan MATLAB. Tekno Sains Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
5. Sonata, Fifin. 2015. Sistem Penjadwalan Mesin Produksi Menggunakan Algoritma *Johnson* dan *Campbell*. Teknik Informatika Fakultas Ilmu Komputer dan Teknologi Informasi, Universitas Sumatera Utara.
6. Wati, D.A.R dan Rochman, Y.A. 2013. Model Penjadwalan Matakuliah Secara Otomatis Berbasis Algoritma *Particle Swarm Optimization* (PSO). Fakultas Teknologi Industri, Jurusan Teknik Elektro, Universitas Islam Indonesia.
7. Wildan, Wahyu Rachmad, dkk. 2013. Penjadwalan Pada Mesin Paralel Identik Untuk Meminimasi *Makespan* Dengan Menggunakan Pendekatan *Mixed Integer Linear Programming* (Studi Kasus Pada PT Pertamina *Production Unit* Gresik – Pelumas). *Jurnal Rekayasa Dan Manajemen Sistem Industri* Vol. 2 No. 5 Teknik Industri Universitas Brawijaya.
8. Yohanes, Antoni. 2014. Penjadwalan Produksi Di *Line B* Menggunakan Metode *Campbell-Dudek-Smith* (CDS). Teknik Industri Universitas Stikubank, Semarang.