

PENJADWALAN *HYBRID FLOWSHOP* DENGAN *SEQUENCE-DEPENDENT SET-UP TIME* MENGGUNAKAN ALGORITMA *SIMULATED ANNEALING* UNTUK MEMINIMASI MAKESPAN PRODUKSI PADA PROSES DYEING FINISHING

HYBRID FLOWSHOP SCHEDULING WITH SEQUENCE-DEPENDENT SET-UP TIME USING SIMULATED ANNEALING ALGORITHM FOR MINIMIZE PRODUCTION MAKESPAN IN DYEING FINISHING PROCESS

Komang Swari Pratiwi¹, Rino A Anugraha², Murni Dwi Astuti³

^{1,2,3}Prodi S1 Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Universitas Telkom

swaripratiwi@telkomuniversity.ac.id¹, rinoandias@telkomuniversity.ac.id², murnidwiasuti@telkomuniversity.ac.id³

Abstrak

Salah satu masalah penjadwalan produksi yang dihadapi oleh perusahaan tekstil merupakan tipe penjadwalan *hybrid flowshop*, dimana terdapat beberapa mesin yang memiliki karakter *sequence dependent setup time*. PT Nagasakti Kurnia Textile Mills, memiliki permasalahan 56% adanya *idle time* yang disebabkan oleh tidak efisiennya penjadwalan, operator tidak memperhatikan urutan produksi dan adanya waktu *set-up* pewarnaan kain dan obat untuk setiap motif yang digambarkan pada diagram *fishbone*. Waktu *idle* tersebut mengakibatkan lead time produksi menjadi tinggi sehingga melewati *due date* yang ditetapkan oleh bagian produksi sebesar 71% dari 232 Surat Perintah Kerja (SPK). Tujuan penelitian ini adalah memperoleh atau merancang sistem penjadwalan yang optimal dengan cara meminimasi makespan produksi. Maka dari itu untuk mewujudkan tujuan dari penelitian ini maka dipilihnya metode Algoritma Simulated Annealing (SA) yang dimana dibantu dengan aplikasi JetBrains PyCharm 1.2 2018. Algoritma SA merupakan algoritma penjadwalan yang biasanya memiliki banyak variasi urutan penjadwalan, selain itu sebagai metode pencarian acak untuk menghindari jebakan optimal lokal dengan tujuan mencari nilai yang optimum. Dari pengolahan data yang dilakukan, penjadwalan yang dilakukan oleh perusahaan menghasilkan makespan sebesar 483,66 jam dan hasil penjadwalan dengan menggunakan metode Algoritma Simulated Annealing (SA) menghasilkan makespan sebesar 400,24 jam. maka hasil makespan dengan penjadwalan SA lebih baik dengan selisih waktu 83,42 jam atau 17,00% dari kondisi awal. Selain itu hasil makespan dari SA dapat mengurangi rata-rata *idle time* sebesar 26% dan meningkatkan rata-rata utilitas mesin 14%.

Kata Kunci: *Hybrid flow shops, Algoritma Simulated Annealing, Makespan, , Sequence Dependent Setup Times.*

Abstract

One of the production scheduling problems faced by the textile company is the hybrid flowshop scheduling type, where there are several machines that have sequence dependent setup time characters. PT Nagasakti Kurnia Textile Mills, has 56% problem of idle time caused by inefficient scheduling, operator does not pay attention to production sequence and the time of set-up dyeing of fabric and medicine for every motif depicted in fishbone diagram. The idle time resulted in a high production lead time resulting in a due diligence by 71% of the 232 Work Order Letter (SPK). The purpose of this study is to obtain or design an optimal scheduling system by minimizing the makespan production. Therefore, to realize the purpose of this study, the choice of Algorithm Simulated Annealing (SA) method which is assisted by JetBrains application PyCharm 1.2 2018. SA algorithm is a scheduling algorithm that usually has many variations of scheduling sequence, in addition as a random search method to avoid the trap optimally locally for the purpose of finding the optimum value. From the data processing done, the scheduling done by the company resulted in makepan of 483.66 hours and the scheduling result using Simulated Annealing Algorithm (SA) method resulted in makepan of 400.24 hours. then the results makespan with SA scheduling is better with a time difference of 83.42 hours or 17.00% of the initial conditions. Addition of the makepan results from SA can reduce the idle time average by 26% and increase the average 14% engine utility.

Keywords: *Hybrid flow shops, Simulated Annealing Algoritm, Makespan, , Sequence Dependent Setup Times.*

1. Pendahuluan

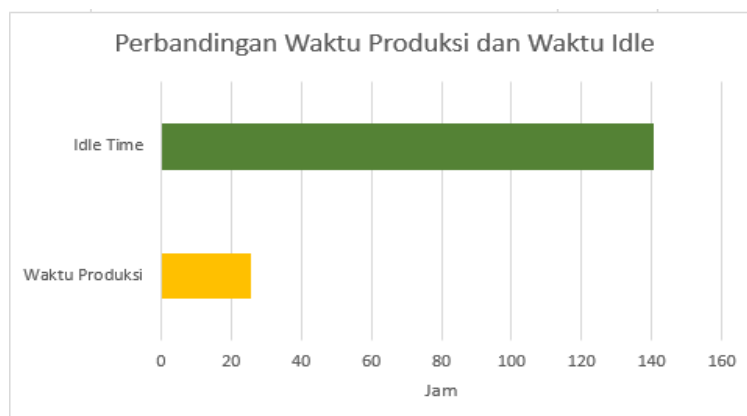
1.1 Latar Belakang

Sistem produksi adalah kumpulan elemen yang saling berhubungan dalam melaksanakan proses produksi. Didalam sebuah sistem tersebut terjadi suatu proses transformasi *value added* yang mengubah *input* menjadi *output* yang memiliki nilai jual. Elemen yang utama dalam sistem produksi adalah *input*, proses dan *output* serta terdapat umpan balik untuk pengelolaan sistem produksi tersebut agar terjadi perbaikan secara terus menerus [1].

PT Nagasaki Kurnia Textile Mills (Nagatex) berdiri pada tahun 1985, yang bergerak dibidang tekstil dengan pemesanan *make to order*. Perusahaan memproduksi empat jenis motif kain yaitu terdapat motif *Tetron Rayon*, *Polyester Cotton*, *Polyester Rayon*, dan *Polyester*. Dari ke-empat jenis motif kain tersebut terbagi menjadi beberapa motif kain dengan campuran bahan material lainnya. Variasi motif yang diproduksi oleh perusahaan sebanyak 16 motif kain.

Permasalahan yang sedang dihadapi oleh perusahaan adanya *lead time* produksi yang tinggi dan tidak sesuai ketentuan *due date* yang ditetapkan dengan target 14 hari pengerjaan yaitu sebesar 71% dari 232 Surat Perintah Kerja (SPK) yang dikeluarkan selama periode Januari 2017- September 2017, sehingga terjadinya keterlambatan pengiriman kepada konsumen. Keterlambatan karena *lead time* produksi yang tinggi dari permasalahan tersebut disebabkan oleh beberapa faktor yang dituliskan dalam diagram *fishbone*

Lead time produksi yang tinggi diidentifikasi melalui beberapa faktor yaitu *man*, *machine*, *method* dan *material*. Dari faktor-faktor tersebut diidentifikasi lebih dalam dengan meranking permasalahan yang ada. Permasalahan tersebut dikategorikan menjadi dua tipe yaitu permasalahan yang bisa dikontrol dan tidak bisa dikontrol. Didapatkan bahwa permasalahan *lead time* yang tinggi, 56% adanya *idle time* (6 hari), Proses *rework* 38% (4 hari), Ketersediaan bahan baku 4% (0,38 hari), *Preventive maintenance* 2% (0,216 hari) *Breakdown machine* 1% (0,069 hari) dan Operator tidak memperhatikan urutan produksi sebesar 0% (0 hari). Dari hasil diatas penelitian ini akan membahas pada permasalahan *idle time*.



Gambar 1. Perbandingan waktu produksi dan *idle time* untuk satu kali proses produksi

Pada kondisi rantai produksi di PT Nagasaki Kurnia Textile Mills terdapat waktu *idle*, lamanya waktu menunggu (*idle time*), disebabkan karena tidak efisiensinya penjadwalan yang ada, operator tidak memperhatikan dengan baik urutan produksi yang seharusnya di produksi dan waktu *set-up* pergantian warna pada *job*. Kesulitan merancang penjadwalan yang efisien pada perusahaan PT. Nagasaki Kurnia Textile Mills karena mempertimbangkan beberapa kendala. Pertama, mempertimbangkan urutan pekerjaan harus memenuhi proses aliran material, mesin paralel, kemudian mempertimbangkan waktu *set-up* tergantung-urutan untuk setiap mesin yang ada pada rantai produksi dan waktu *set-up* pergantian warna.

Waktu *set-up* untuk mesin adalah elemen penting untuk penjadwalan produksi di setiap urutan aliran [2]. Selanjutnya, waktu penyelesaian produksi dan pengaturan mesin dipengaruhi oleh variasi produk dan urutan produksi. Di satu sisi, produksi dalam jumlah besar meningkatkan pemanfaatan mesin dan mengurangi total waktu *set-up*. Jika tidak, itu juga meningkatkan waktu proses. Tidak dapat disangkal, adanya *tradeoff* antara utilisasi mesin dan waktu proses dengan menentukan ukuran produksi. Masalah dalam penjadwalan dengan waktu persiapan berurutan (*Sequence Dependent Set-up Time*) ditentukan oleh seluruh kelas masalah yang paling menantang [2].

Penjadwalan *Hybrid Flowshop* merupakan tipe penjadwalan yang cocok untuk memenuhi penjadwalan pada perusahaan PT Nagasaki Kurnia Textile Mills, karena tipe penjadwalan ini adalah tipe penjadwalan yang terdiri dari serangkaian tahapan produksi yang masing masing memiliki beberapa fasilitas secara paralel. Dengan karakter penjadwalannya, waktu *set-up* mesin di industri textile sebagai konsekuensi keterlambatan waktu untuk

mesin lainnya beroperasi. Keterlambatan disini digambarkan sebagai jeda waktu antara akhir proses dari suatu pekerjaan di A mesin dalam satu tahap dan titik awal di tahap berikutnya [3]. Dampaknya adalah pada waktu menunggu dari WIP karena waktu *set-up*, mesin parallel dan adanya produksi yang besar dengan jumlah yang sama.

Untuk mengatasi permasalahan penjadwalan tersebut penelitian ini akan diselesaikan dengan metode algoritma *Simulated Annealing* untuk membantu meminimasi *makespan* produksi dari kondisi *existing*. [4]. Kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal merupakan kelebihan dari *Simulated Annealing* dibandingkan dengan metode lain, selain itu algoritma ini merupakan algoritma pencarian acak, tetapi tidak hanya menerima nilai obyektif yang selalu turun melainkan terkadang menerima nilai obyektif yang naik juga. Kelebihan lainnya adalah metode ini sangat cocok digunakan untuk menentukan urutan penjadwalan yang memiliki banyak variasi urutan penjadwalan [4].

Maka dari itu berdasarkan permasalahan yang terjadi penelitian ini bertujuan untuk menentukan urutan pekerjaan yang optimal sehingga dapat mereduksi *makespan* produksi dengan menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* dan membandingkan hasil yang didapatkan antara penjadwalan *existing* dan penjadwalan usulan yang diterapkan.

2. Landasan Teori dan Metodologi

2.1 Penjadwalan

Penjadwalan adalah pengurutan atau pengerjaan produk secara menyeluruh yang dikerjakan pada beberapa buah mesin. Dengan demikian masalah sequencing senantiasa melibatkan pengerjaan sejumlah komponen yang sering disebut dengan istilah '*Job*'. *Job* merupakan komposisi dari sejumlah elemen-elemen dasar yang disebut aktivitas atau operasi. Tiap aktivitas atau operasi ini membutuhkan alokasi sumber daya tertentu selama periode waktu tertentu yang sering disebut dengan waktu proses [5].

2.2 Hybrid Flowshop

Hybrid Flow Shop (HFS) atau yang dikenal dengan *flowshop fleksibel* adalah generalisasi versi *Flowshop* dan lingkungan mesin parallel, di mana operasi yang sama dapat dilakukan oleh mesin parallel. HFS digambarkan secara singkat adalah kelompok pekerjaan yang harus diproses pada sekelompok pusat kerja pengolahan. Setiap work center terdiri dari sekelompok mesin parallel. Setiap Job mencakup serangkaian operasi yang diproses di work center berikutnya, dan seluruh *Job* melalui *work center* dalam urutan yang sama. Tidak ada perbedaan di antara mesin-mesin di *work center*. Dari situ, setiap mesin di *work center* terpisah dapat memproses pekerjaan. Beberapa tahapan dalam HFS hanya memiliki satu fasilitas, tetapi kualifikasi untuk pabrik menjadi HFS, sepertinya harus memiliki beberapa fasilitas dalam satu tahap. Di *Hybrid Flow Shop*, ada tahapan c secara seri dengan tambahan pada setiap tahap beberapa jumlah mesin eksak secara parallel. Setiap pekerjaan harus dilalui berdasarkan tahap urutan, seperti tahap 1, selanjutnya di tahap 2, dan seterusnya. Fungsi tahapan adalah sebagai kelompok mesin parallel; di setiap tahap, pekerjaan j melibatkan pemrosesan hanya pada satu mesin dan mesin lain dapat melakukannya. Selain itu, di setiap tahap setiap bagian dari produk diproses hanya pada satu fasilitas. Mesin bisa serupa, homogen, atau bahkan tidak terkait. Antrian di antara banyak tahapan mungkin atau tidak dapat dilakukan berdasarkan disiplin *First Come First Served* (FCFS). Berikut merupakan kronologi dalam HFS [3].

Mari kita asumsikan 'g' menjadi jumlah tahapan atau *stage*, dan 'n' jadilah jumlah pekerjaan yang harus dilakukan. terjadwal, dan menjadi jumlah mesin pada tahap 't'. Mesin-mesin tersebut sudah diatur sebelumnya untuk pekerjaan nominal 0 dan harus menyelesaikan pengaturan untuk pembongkaran job n + 1, yang diasumsikan di setiap tahap. Kami memiliki definisi berikut:

p_i = waktu proses untuk pekerjaan i pada tahap t

st_{ij} = waktu penyiapan yang bergantung pada urutan dari pekerjaan i ke pekerjaan j ditahap t

$p^*_t i$ = waktu proses modifikasi untuk pekerjaan i pada tahap t ($p^*_t i = p_{it} + \min_j st_{ij}$)

S_t = set pekerjaan yang beroperasi pada tahap t

$P_{\sim t}$ mewakili mereka pada waktu yang paling lama pada tahap yang harus berlalu sebelum pekerjaan saya bisa selesai [3].

2.3 Algoritma Simulated Annealing

Simulated Annealing adalah teknik pencarian local meta-heuristik [6]. *Simulated Annealing* dirancang untuk mencari solusi optimum selama proses pencarian dan mampu mendapatkan solusi optimal nyata di bawah waktu pencarian yang sangat panjang. Algoritma *Simulated Annealing* bertujuan untuk meminimasi seunit fungsi objektif atau fungsi energi. Kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal merupakan kelebihan *simulated annealing* dari metode lain, selain itu metode ini merupakan algoritma pencarian acak, tetapi tidak hanya menerima nilai obyektif yang selalu turun melainkan terkadang menerima nilai obyektif yang naik juga, Sehingga metode ini sangat cocok digunakan untuk menentukan urutan penjadwalan yang memiliki banyak variasi urutan penjadwalan [6]. "untuk menghasilkan solusi baru, Algoritma NSA yang diusulkan mengandung kombinasi dua operator bergerak: *Pair wise interchange*, dan *Inverse*" [6].

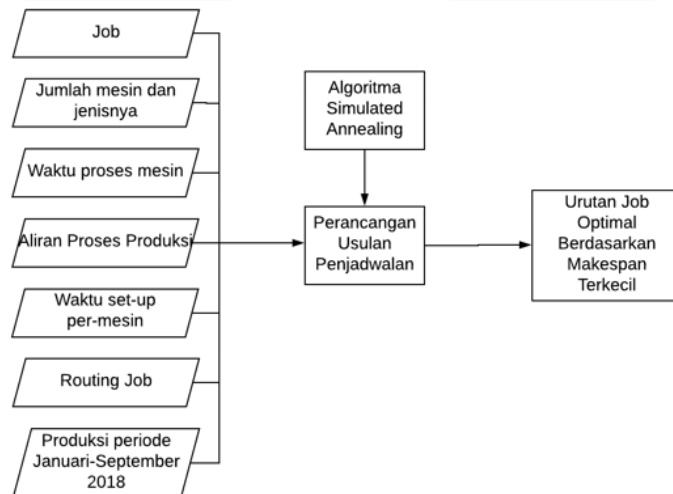


Gambar 2. Contoh Pair Wise Interchange Moving Operator dan inverse moving operator [6]

Penjadwalan dengan algoritma *Simulated Annealing* yang baru atau dikenal dengan istilah *Novel Simulated Annealing* (NSA) memiliki langkah – langkah sebagai berikut [6]:

1. Tahapan Inisialisasi
 - a. Pengaturan parameter: tetapkan temperatur awal (T_0), temperatur akhir (T_i), faktor pereduksi suhu (r).
 - b. Generasi solusi awal: Hasilkan flow urutan menggunakan Short Processing Time Cyclic Heuristic (SPTCH).
2. Evaluasi fungsi obyektif: mengevaluasi fitness berfungsi untuk solusi awal.
3. Neighbor solution generation: Hasilkan solusi baru (menggunakan Pair Wise Interchange Moving Operator).
4. Evaluasi fungsi obyektif: mengevaluasi fitness berfungsi untuk solusi Neighbor solution. Tentukan nilai Δ :
 $\Delta = \text{Nilai objektif} (s') - \text{Nilai objektif} (s) \dots\dots\dots (1)$
5. Perbandingan Δ : Jika makespan Neighbor solution (S') adalah kurang dari makespan solusi awal (S), ganti solusi awal. Kalau tidak gunakan fungsi Boltzmann.
 $p = \exp(-\Delta/T_i) \dots\dots\dots (2)$
6. Tetapkan nilai P_m yang diambil secara random antara 0-1 lalu bandingkan dengan probabilitas (p). jika $P_m < p$, maka solusi baru diterima jika tidak maka solusi lama dipertahankan.
7. Pembaruan Suhu: Perbarui suhu untuk tahap baru dan kembali ke langkah 3. Dimana r adalah faktor pereduksi suhu.
 $T_i = r \cdot T_{i-1} \dots\dots\dots (3)$
8. Generasi solusi tetangga: Pilih solusi baru (Dengan inverse bergerak) dan kembali ke langkah 3.
9. Pencarian solusi berhenti apabila temperature akhir (T_i) = 0 atau kondisi penolakan telah mencapai n kali penolakan secara berurutan untuk setiap solusi baru yang dibangkitkan

2.4 Metodologi Penelitian



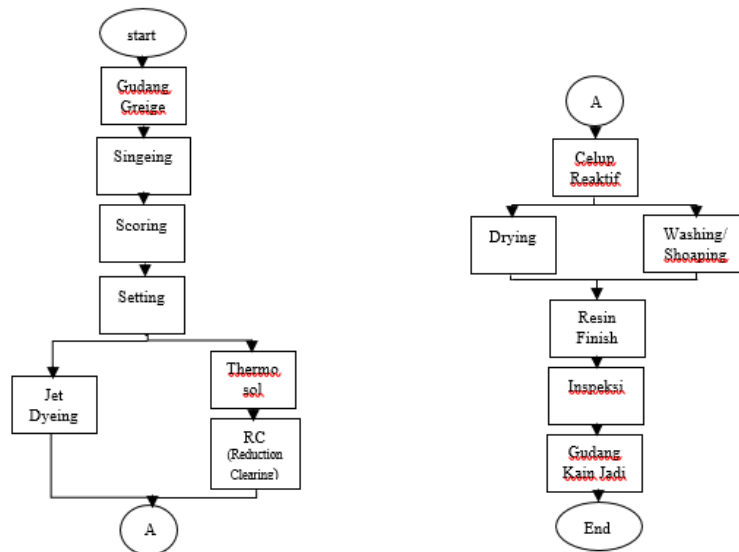
Gambar 3. Metodologi Penelitian

3. Pengolahan Data

3.1 Penjadwalan Existing

Penjadwalan existing adalah penjadwalan yang sudah ada sebelumnya yang digunakan oleh perusahaan untuk melakukan produksi di lantai produksinya. Pada kondisi awal urutan job ditentukan berdasarkan kedatangan order atau *First Come First Served* (FCFS) yang lebih dahulu yang diterima oleh bagian marketing. Dalam perhitungan penjadwalan ini akan ada sebanyak 160 job (10 jenis Tetron Rayon, 2 jenis Polyester Cotton, 3 jenis Polyester Rayon, 1 jenis Polyester) dalam 10 *workstations*, dimana setiap jenis mesin pada workstation adalah parallel

identik , dapat dilihat pada gambar 3 untuk aliran proses kain. Dari hasil perhitungan yang didapatkan bahwa total makespan dari penjadwalan *existing* yaitu yaitu 483,66 jam atau 20,15 hari untuk panjang 1400 per *job*.



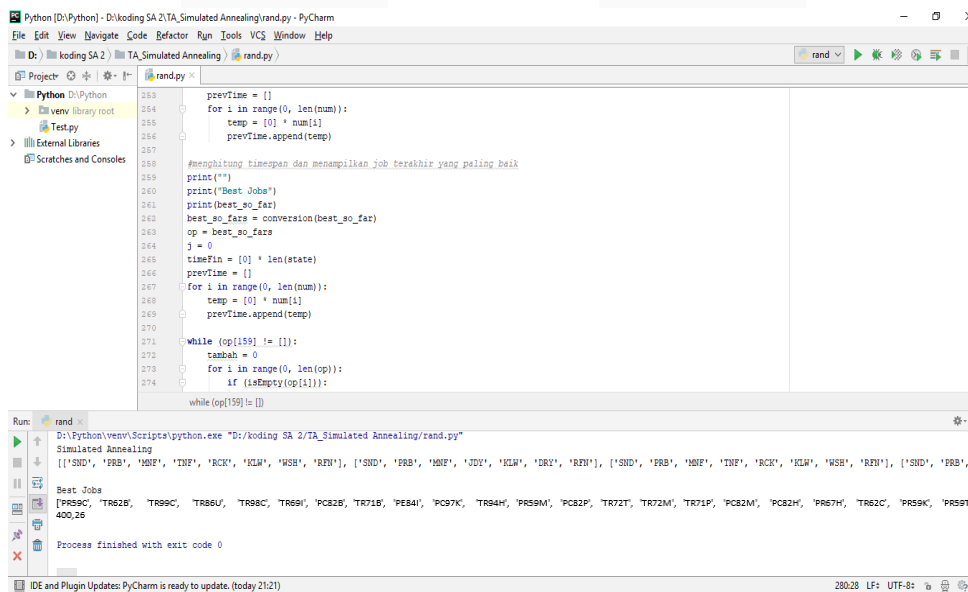
Gambar 4. Aliran proses produksi kain

3.2 Penjadwalan dengan Algoritma *Simulated Annealing*

Perhitungan menggunakan Algoritma SA akan dihitung dengan menggunakan *software JetBrains PyCharm 1.2* 2018 untuk membantu jalannya proses perhitungan, lalu hasil yang nantinya didapatkan di *software* akan dicocokkan dengan perhitungan manual. Total *job* yang dihitung adalah sebanyak 160 *jobs*.

Tabel 1. Hasil algoritma *simulated annealing* pada *software*

Temperatur Awal (T^0)	Temperatur Akhir (T^1)	Pereduksi Suhu (r)	Hasil <i>Makespan</i>
1000	0	0,2	400,26



Gambar 5. *Interface Software JetBrains PyCharm 1.2*

3.3 Verifikasi Hasil Perhitungan

Verifikasi dilakukan untuk memeriksa kondisi hasil output dari *software* penjadwalan apabila sesuai dengan hasil perhitungan secara manual. *Output* yang diverifikasi adalah nilai *makespan* yang dicari dari hasil perhitungan *software* maupun dengan perhitungan manual dengan ketentuan bahwa urutan dari hasil penjadwalan perhitungan manual maupun dari *software* adalah sama. Perbandingan hasil yang didapatkan dari perhitungan secara manual dan melalui aplikasi dilihat pada tabel berikut :

Tabel 2. Hasil verifikasi perhitungan

Perhitungan <i>Software</i> (Jam)	Perhitungan Manual (Jam)	Selisih (Jam)
400,26	400,24	0,02

Dapat dilihat pada tabel 2 diatas bahwa penjadwalan dengan menggunakan perhitungan *software* yaitu sebesar 400,26 jam sedangkan perhitungan manual dengan menggunakan excel didapatkan total *makespan* 400,24 jam. Hasil perhitungan *software* dan manual terjadi perbedaan yaitu sebesar 0,02 jam. Dari hasil perhitungan tersebut disimpulkan bahwa perhitungan dengan menggunakan *software* atau manual adalah sama.

3.4 Perbandingan Penjadwalan Kondisi *Exsisting* dan Usulan

Dari hasil penjadwalan *existing* didapatkan *makespan* dengan total 483,66 jam atau 20,15 hari untuk panjang 1400 meter/job. Sedangkan hasil penjadwalan dengan menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* didapatkan total *makespan* yang terkecil adalah 400,24 jam . Hasil yang didapatkan pada penjadwalan usulan menandakan adanya penurunan *lead time* produksi sebesar 17% atau sebesar 83,42 jam. Selain itu dalam penjadwalan yang diusulkan dapat mengurangi *idle time* sebesar 26% (89,45 jam) dan meningkatkan utilitas mesin sebesar 14%.

3.9 Analisis Data

Dari hasil penjadwalan yang telah dibahas sebelumnya diketahui bahwa penggunaan Algoritma *Simulated Annealing* menghasilkan rata-rata peningkatan utilitas mesin yang tidak terlalu signifikan yaitu sebesar 14%, sehingga hal ini dilakukannya analisis penyebab-penyebab yang terjadi antara lain:

1. Tidak seimbangya jumlah mesin yang digunakan
Kecilnya kenaikan utilitas mesin yang terjadi dapat disebabkan oleh tidak optimalnya jumlah mesin pada bagian-bagian yang menyebabkan *idle time* yaitu mesin Celup Reaktif . Pada awalnya akan dilakukan perhitungan dengan melakukan perubahan jumlah mesin Celup Reaktif melalui percobaan yaitu dengan menggunakan 2 mesin , 3 mesin ,dan 8 mesin pada Tabel 3. dibawah ini.

Dari hasil percobaan penambahan mesin pada tabel dibawah ini dilakukannya percobaan perubahan jumlah mesin yang dilakukan secara bertahap untuk mengetahui hasil yang mendekati nilai optimal. Dilihat pada tabel diatas bahwa penambahan mesin sebanyak 8 buah akan menurunkan *makespan* sebesar 230,42 jam (53%) dari kondisi awal, dengan penurunan rata-rata *idle time* 65% dan rata-rata peningkatan utilitas mesin sebesar 39%.

Tabel 3. Hasil penambahan mesin celup reaktif

	1 Mesin KLW		2 Mesin KLW		3 Mesin KLW		8 Mesin KLW	
		Δ		Δ		Δ		Δ
<u>Makespan (jam)</u>	361,02	77,64	321,85	116,81	289,00	149,66	208,24	230,42
<u>Rata-rata Penurunan Idle Time (%)</u>		34		43		49		65
<u>Peningkatan Utilisasi (%)</u>		17		23		27		39

Perhitungan diatas membuktikan jumlah mesin menentukan lamanya proses produksi yang berdampak pada utilitas mesin. Tentunya menggunakan jumlah mesin yang optimal, perusahaan bisa menghemat waktu produksi. Maka dari itu perusahaan mungkin bisa mempertimbangkan kembali untuk penentuan jumlah mesin yang seharusnya ada di lantai produksi.

2. Tidak meratanya beban kerja pada setiap mesin

Beban kerja pada masing-masing mesin berbeda satu sama lainnya yang mengakibatkan perbedaan utilisasi pada setiap mesin. Jika kalimat sebelumnya diterapkan pada kasus yang dialami perusahaan, maka akan menyebabkan utilisasi mesin setiap mesin lebih kecil jika dibandingkan dengan makespan keseluruhan yang cukup besar, dijelaskan pada tabel 4.

Contoh perhitungan (mesin SND) :

$$\begin{aligned} \text{Beban Kerja} &= (\text{Waktu proses tiap mesin/waktu proses terbesar}) \times 100\% \\ &= (0,93/16,95) \times 100\% \\ &= 5\% \end{aligned}$$

Dari hasil perhitungan pada tabel 4, hasil standar deviasi yang didapatkan adalah sebesar 30% sehingga dapat disimpulkan terdapat perbedaan beban kerja yang cukup signifikan pada mesin. Pada umumnya semakin besar standar deviasi yang dihasilkan maka utilitas mesin yang dihasilkan kecil, begitupun sebaliknya. Perbedaan ini disebabkan karena adanya waktu proses yang cukup lama dibandingkan dengan waktu proses lainnya. Contohnya pada mesin KLW dengan rata-rata waktu proses paling lama yaitu 16,95 jam. Lama waktu proses yang terjadi pada mesin KLW yang terlalu lama menyebabkan peningkatan utilitas mesin yang tidak terlalu signifikan. Hal ini dibuktikan dengan contoh perhitungan pada tabel 5

Tabel 4. Perhitungan beban kerja

Workstation	Simbol Mesin	Waktu Proses	Beban Kerja
Singeing (Bakar Bulu)	SND	0,93	5%
Scouring	PRB	1,07	6%
Setting	MNF	1,14	7%
Celup Disperse (Thermosol)	TNF	1,57	9%
Reduction Clearing (RC)	RCK	1,51	9%
Celup Reaktif (CPB)	KLW	16,95	100%
Washing / Soaping	WSH	1,17	7%
Resin Finishing (RF)	RFN	1,12	7%
Jet Dyeing	JDY	7,65	45%
Drying	DRY	3,02	18%
Standar Deviasi			30%

Tabel 5. Percobaan perhitungan beban kerja

	SND	PRB	MNF	TNF	RCK	KLW	WSH	RFN	JDY	DRY	Standar Deviasi	Utilitas Mesin
Rata-rata Waktu Proses (Jam)	0,93	1,07	1,14	1,57	1,51	4,00	1,17	1,12	7,65	3,02		
Beban Kerja (%)	12%	14%	15%	21%	20%	52%	15%	15%	100%	39%	28%	31%
	SND	PRB	MNF	TNF	RCK	KLW	WSH	RFN	JDY	DRY	Standar Deviasi	Utilitas Mesin
Rata-rata Waktu Proses (Jam)	0,93	1,07	1,14	1,57	1,51	2,00	1,17	1,12	7,65	3,02		
Beban Kerja (%)	12%	14%	15%	21%	20%	26%	15%	15%	100%	39%	27%	67%

Hasil yang didapatkan pada percobaan untuk mengurangi waktu proses pada mesin KLW pada Tabel 8. diatas dapat disimpulkan, beban kerja yang rata pada mesin keseluruhan akan mempengaruhi % utilisasi mesin. Namun hasil percobaan diatas tidak dapat diaplikasikan pada perusahaan, karena waktu proses yang terdapat pada mesin KLW merupakan waktu proses yang harus dilalui untuk memproduksi kain, jika waktu proses tersebut dikurangi sesuai percobaan maka akan mempengaruhi kualitas kain. Percobaan ini hanya untuk membuktikan bahwa beban kerja yang merata dilihat dari standar deviasi yang menurun akan mempengaruhi tingkat utilitas mesin

Berdasarkan pembahasan analisis yang telah dibahas, dapat disimpulkan bahwa metode Algoritma *Simulated Annealing* lebih mendekati nilai optimal jika dibandingkan dengan metode *existing* saat ini. Namun pada hasil

perhitungan yang dihasilkan rata-rata peningkatan utilitas mesin yaitu 14%, tidak terlalu signifikan peningkatannya. Penyebab tidak signifikan tersebut adalah :

1. Tidak optimalnya jumlah mesin yang digunakan oleh perusahaan.
2. Lamanya salah satu workstation beroperasi jika dibandingkan dengan waktu proses pada mesin lainnya sehingga menyebabkan beban kerja yang tidak merata.

4 Kesimpulan

Penjadwalan produksi dengan metode *Simulated Annealing* (SA) dari analisis pada pembahasan sebelumnya didapatkan solusi dengan parameter suhu (T_0) 1000 dan parameter faktor pereduksi suhu (r) 0,2 menghasilkan makespan sebesar 400,24 jam dengan urutan penjadwalan : J312, J11, J32, J98, J102, J65, J211, J71, J615, J716, J23, J317, J214, J89, J87, J74, J217, J213, J413, J12, J316, J319, J25, J60, J13, J49, J27, J86, J611, J516, J718, J93, J95, J81, J417, J37, J68, J38, J69, J91, J67, J34, J42, J512, J43, J88, J44, J47, J48, J31, J58, J45, J713, J513, J515, J212, J55, J46, J29, J92, J613, J320, J720, J54, J104, J94, J514, J53, J76, J75, J50, J36, J72, J719, J82, J35, J77, J21, J100, J310, J519, J518, J614, J219, J215, J617, J97, J78, J315, J90, J320, J416, J619, J517, J57, J61, J414, J415, J714, J52, J20, J108, J14, J15, J618, J33, J62, J41, J16, J418, J31, J56, J411, J85, J96, J28, J107, J218, J620, J99, J59, J84, J64, J520, J39, J715, J26, J24, J66, J30, J83, J70, J717, J106, J419, J22, J51, J412, J17, J105, J80, J40, J103, J79, J19, J313, J63, J311, J73, J101, J711, J616, J420, J511, J216, J314, J612, J712, J109, J110.

Dari hasil perbandingan pada pembahasan sebelumnya penjadwalan yang dilakukan oleh perusahaan menghasilkan makespan sebesar 483,66 jam dan hasil penjadwalan dengan menggunakan metode Algoritma *Simulated Annealing* (SA) menghasilkan *makespan* sebesar 400,24 jam. maka hasil *makespan* dengan penjadwalan SA lebih baik dengan selisih waktu 83,42 jam atau 17,00% dari kondisi awal. Selain itu hasil *makespan* dari SA dapat mengurangi rata-rata *idle time* sebesar 26% dan meningkatkan rata-rata utilitas mesin 14%.

Daftar Pustaka:

- [1] Gaspersz, Vincent. 2007. Total Quality Manajemen. PT Gramedia Pustaka
- [2] Pinedo, M.L., 2016. Scheduling: Theory, Algorithms, and Systems, Fifth Edition. Springer International Publishing. doi:10.1007/978-3-319-26580-3
- [3] Javadian, N., Fattahi, P., Farahmand-Mehr, M., Amiri-Aref, M., Kazemi, M., 2012. An immune algorithm for hybrid flow shop scheduling problem with time lags and sequence-dependent setup times. International Journal of Advanced Manufacturing Technology 63. <https://doi.org/10.1007/s00170-012-3911-z>
- [4] Basuki, Huda dan Santoso. (2004). Modeling dan Simulasi. Jakarta Selatan. IPTAQ Mulia Media.
- [5] Ginting, Rosnani. 2009. Penjadwalan Mesin. Graha Ilmu: Yogyakarta
- [6] Mirsanei, H.S., Zandieh, M., Moayed, M.J. et al. J Intell Manuf (2011) 22: 965. <https://doi.org/10.1007/s10845-009-0373-8>
- [7] Kurz, M. E., & Askin, R. G. (2004). Scheduling flexible flow lines with sequence-dependent setup times. European Journal of Operational Research, 159(1), 66–82
- [8] Angelita Yosephine, 2012. Usulan Penerapan Metode Genetic Algorithm dalam Penjadwalan Sistem Produksi Jobshop Produk Tangki Air dengan 4 Dudukan Untuk Meminimasi Makespan di PT Megah Steel. Universitas Kristen Maranatha