

Usulan Penjadwalan Proses Manufaktur Kursi dan Meja dengan Menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* Untuk Meminimasi Makespan di PT. Citra Bandung Laksana

The Proposed of Table and Chair Manufacturing Production Scheduling Using Simulated Annealing Algorithm For Minimizing Makespan in PT. Citra Bandung Laksana

Iwan Wijaya¹, Victor Suhandi², Santoso³

Universitas Kristen Maranatha

¹ione_22brc05@yahoo.com, ²victorsuhandi@yahoo.com, ³santoso_ajiank@yahoo.com

Abstrak

PT. Citra Bandung Laksana merupakan salah satu industri manufaktur berskala nasional yang memproduksi berbagai jenis meja dan kursi. Untuk lebih menonjolkan keunggulan kompetitifnya, perusahaan mempunyai dua macam sistem produksi yaitu sistem Make to Stock dan sistem Make to Order. Masalah yang dihadapi perusahaan saat ini yaitu terdapat delay yang cukup besar pada mesin-mesin yang digunakan pada sistem produksi job order, khususnya mesin untuk membuat kursi lipat kayu dan meja FC sehingga tingkat utilisasi penggunaan mesin menjadi rendah. Berdasarkan hasil wawancara dan pengamatan, diketahui bahwa penyebab adanya delay mesin yaitu kurang tepatnya sistem penjadwalan yang digunakan. Saat ini, perusahaan mengumpulkan pesanan dalam periode satu minggu dan pengerjaan dilakukan berdasarkan pesanan yang pertama kali datang terlebih dahulu.

Untuk mengetahui kemampuan Algoritma Simulated Annealing dalam menyelesaikan masalah penjadwalan perusahaan, penulis membuat enam buah kasus yang akan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma Simulated Annealing dan jadwal non-delay. Dari hasil perhitungan enam buah kasus maka dapat disimpulkan bahwa Algoritma Simulated Annealing dapat digunakan sebagai metode penjadwalan usulan bagi perusahaan. Penulis merancang sebuah software yang bahasa pemrogramannya telah disesuaikan dengan konsep Algoritma Simulated Annealing dengan tujuan agar software dapat digunakan dengan cepat, mudah, dan akurat di dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan job shop jika dibandingkan dengan perhitungan manual.

Masalah penjadwalan di perusahaan diselesaikan dengan menggunakan Algoritma Simulated Annealing yang akan dibandingkan dengan metode perusahaan. Pengerjaan pesanan dengan Algoritma Simulated Annealing dilakukan secara bersamaan tanpa menunggu pesanan yang pertama selesai dikerjakan terlebih dahulu. Hasil yang didapat menunjukkan bahwa makespan yang mampu dihasilkan oleh metode perusahaan sebesar 6,454 menit dengan rata-rata delay mesin sebesar 5,565.333 menit dan rata-rata tingkat utilisasi penggunaan mesin sebesar 13.77%. Sedangkan makespan yang dihasilkan oleh Algoritma Simulated Annealing sebesar 5,632 menit dengan rata-rata delay mesin sebesar 4,743.333 menit dan rata-rata tingkat utilisasi penggunaan mesin sebesar 15.78%. Dengan menggunakan Algoritma Simulated Annealing, perusahaan dapat menghemat waktu pengerjaan pesanan kursi dan meja sebesar 822 menit (12.74 %) atau kurang lebih selama 2 hari kerja dengan penurunan rata-rata delay mesin sebesar 822 menit (14.77 %) dan peningkatan rata-rata utilisasi mesin sebesar 2.01 % lebih baik dari metode perusahaan. Manfaat penerapan Algoritma Simulated Annealing sebagai metode penjadwalan job shop usulan bagi perusahaan yaitu adanya penurunan waktu delay mesin sehingga utilisasi penggunaan mesin dapat meningkat. Hal ini berdampak positif karena perusahaan dapat mengerjakan pesanan yang datang berikutnya dengan waktu mulai yang lebih awal sehingga efisiensi penggunaan mesin dapat meningkat.

Kata kunci: penjadwalan, jobshop, delay, makespan, simulated annealing

Abstract

PT. Citra Bandung Laksana is a manufacture company on a national scale that produces various kind of chair and table. In order to win the competition, the company has two kinds of production system which is Make to Stock system and Make to Order system. The problem faced by the company is the high level of delay from the machine that used in Make to Order system so deliver the low level of machine utilization. Based on observation, it cause by the company's method scheduling is not yet appropriate. The company collects the order for one week and works it from the first coming order until finish.

We suggest to use two alternative schedule methods, which are simulated annealing algorithm and non-delay schedule to find out the best method to reduce machine delay with the lowest makespan . From a given six example case, simulated annealing algorithm gives the best result with the lowest makespan, the lowest machine delay, and the high level of machine utilization. Finally, we suggests the company to use simulated annealing algorithm as a new schedule methods and also develops simulated annealing software for a job shop case to get faster calculation with an accurate result.

The company's schedule problem solves by the company's method scheduling itself compare with simulated annealing algorithm. The company's method scheduling gives makespan for 6,454 minutes with average machine delay for 5,565.333 minutes and average machine utilization for 13.77%. Meanwhile, we suggests working the order together without waiting the first order done. Simulated annealing algorithm gives makespan for 5,632 minutes with average machine delay for 4,743.333 minutes and average machine utilization for 15.78%. The benefits of using simulated annealing algorithm are the company can reduce makespan to 822 minutes (12.74%) with decreasing average machine delay to 822 minutes (14.77%) and increasing machine utilization to 2.01%. Otherwise, the company can do the other order early.

Keywords: scheduling, jobshop, delay, makespan, simulated annealing

1. Pendahuluan

PT. Citra Bandung Laksana merupakan salah satu industri manufaktur berskala nasional yang memproduksi berbagai jenis meja dan kursi, dimana setiap produksinya dapat disesuaikan dengan pesanan konsumen (*Make to Order*).

Berdasarkan hasil wawancara dan penelitian, permasalahan yang terjadi di perusahaan adalah adanya tingkat *delay* mesin yang tinggi ditandai dengan banyak mesin menganggur pada saat waktu produksi berlangsung. Dari pengamatan awal, diduga penyebab permasalahan yaitu metode penjadwalan yang diterapkan perusahaan belum tepat. Metode penjadwalan usulan yang digunakan yaitu algoritma *simulated annaling*.

1.1 Pembatasan Masalah dan Asumsi

Permasalahan yang terjadi di perusahaan mencakup ruang lingkup yang luas. Oleh karena itu, dilakukan pembatasan masalah sebagai berikut :

Penulis mengamati proses pengerjaan meja dan kursi yang terdapat di dalam periode pesanan 6 Oktober 2008 sampai 10 Oktober 2008.

Asumsi dilakukan untuk memenuhi kriteria dari metode yang diusulkan. Asumsi yang digunakan adalah :

1. Operator bekerja dengan terampil.
2. Mesin yang digunakan dalam kondisi siap pakai (tidak rusak).
3. Selama proses produksi berlangsung tidak terdapat *job* sisipan.
4. Bahan baku yang digunakan telah tersedia dan mencukupi sehingga tidak ada waktu menunggu kedatangan material.
5. Waktu perpindahan bahan baku (waktu *transport*) dapat diabaikan selama periode pengerjaan pesanan berlangsung (periode pengamatan) karena jarak antar mesinnya sangat dekat.

1.2 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian yang ingin dicapai berdasarkan perumusan masalah yang ada, yaitu :

- 1 Mengidentifikasi dan menganalisis kelemahan metode penjadwalan yang diterapkan oleh PT. Citra Bandung Laksana saat ini.
- 2 Mengetahui hasil dari usulan metode penjadwalan bagi perusahaan.
- 3 Mengemukakan manfaat yang diperoleh perusahaan dari metode penjadwalan yang diusulkan.

2. Studi Literatur

2.1 Latar Belakang Algoritma *Simulated Annealing*

Algoritma *simulated annealing* pertama kali diperkenalkan oleh Metropolis *et al.* pada tahun 1953. Algoritma ini berasal dari mekanisme statistik. Kirkpatrick *et al.* [1983] membuat suatu algoritma yang didasarkan pada suatu analogi antara pendinginan benda padat secara perlahan-lahan dengan pemecahan masalah kombinatorial.

Annealing adalah suatu proses fisik dari pemanasan suatu benda padat lalu benda padat tersebut akan didinginkan secara perlahan-lahan sampai menjadi bentuk kristal. Atom-atom yang terdapat di dalam material memiliki energi yang tinggi pada kondisi temperatur yang tinggi dan mempunyai kebebasan lebih dalam mengatur dirinya sendiri. Bersamaan dengan menurunnya temperatur, energi dari atom-atom tersebut berkurang.

Jika proses pendinginan dilakukan secara cepat maka akan mengakibatkan adanya suatu ketidakteraturan yang menyebar yang akan menimbulkan cacat pada struktur kristal. Sistem tidak dapat mencapai tingkat energi yang minimum melainkan berakhir pada sebuah struktur ikatan molekul kristal yang memiliki energi yang masih tinggi.

Pada suatu nilai temperatur, distribusi dari suatu sistem energi akan diuraikan ke dalam persamaan Boltzman sebagai berikut :

$$P(E) = e^{[-E/(kT)]}$$

(1)

E adalah sistem energi, k adalah konstanta Boltzman, T adalah temperatur dan P(E) adalah probabilitas suatu sistem pada tahap energi E.

Pada temperatur yang tinggi, besarnya probabilitas penerimaan untuk energi yang lebih buruk juga tinggi. Pada temperatur yang rendah, besarnya probabilitas penerimaan energi yang lebih buruk pun rendah. Probabilitas penerimaan dapat memindahkan sistem keluar dari energi minimum lokal.

2.2 Parameter Algoritma *Simulated Annealing*

1. Temperatur Awal (T_0)
Temperatur yang menentukan tingkat keacakan dari suatu pencarian solusi ke solusi berikutnya karena semakin besar nilai dari temperatur awal maka tingkat penerimaan solusi pada tahap awal pun semakin besar.
2. Temperatur Minimum (T_{\min})
Parameter yang berfungsi sebagai indikator bahwa pencarian solusi telah berakhir bila temperatur sekarang sudah mencapai atau lebih kecil dari temperatur minimum.
3. *Cooling Rate* (CR)
Konstanta penurunan laju temperatur, dari temperatur maksimum menuju temperatur minimum. Konstanta ini berdistribusi eksponensial dan nilainya lebih kecil dari 1.
4. Jumlah Replikasi Maksimum (N_{\max})
Parameter yang menunjukkan jumlah replikasi maksimum yang diijinkan dalam satu temperatur yang sama.

2.3 Algoritma *Simulated Annealing* Penerapannya pada Kasus *Jobshop*

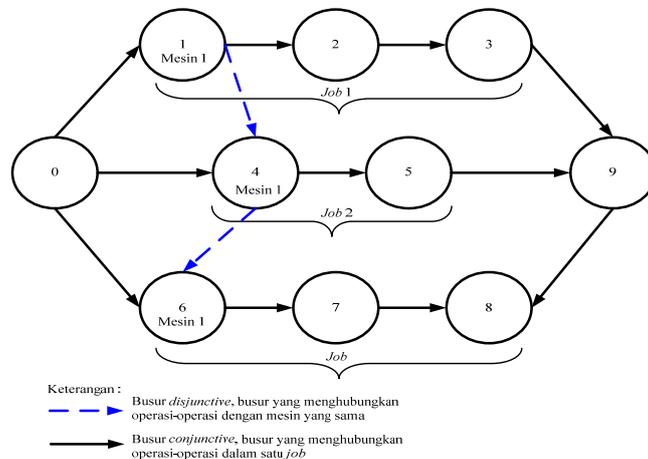
Untuk mengaplikasikan Algoritma *Simulated Annealing* ke dalam masalah optimasi kombinatorial perlu didefinisikan tiga hal dengan tepat, yaitu konfigurasi (dalam masalah *job shop* berarti konfigurasi jadwal), fungsi biaya (*cost function*), dan struktur *neighbourhood*. Model algoritma *simulated annealing* untuk penjadwalan *job shop* ini dibagi ke dalam empat tahapan, yaitu :

1. Tahap pemilihan jadwal awal.

Diketahui *graph* berarah $G = \{V,A,E\}$ untuk masalah *job shop* yang akan diselesaikan. Representasi *graph* berarah (*directed graph*) sangat sesuai untuk digunakan dalam pemodelan masalah penjadwalan *job shop*. Berikut ini penjelasan dari notasi *graph* :

- V = himpunan *node* (simpul) yang mewakili operasi-operasi
- A = himpunan busur *conjunctive* yang menghubungkan operasi-operasi dalam suatu *job* tertentu.
- E = himpunan busur *disjunctive* yang menghubungkan operasi-operasi pada mesin yang sama.

Berikut ini contoh *graph* yang mewakili masalah *job shop*



Rujukan : (Henry Pantas Penggabean, 2002)

Gambar 1 Representasi *Graph* Untuk Masalah *Job Shop*

Graph diatas mewakili masalah *job shop* 3 *job* 3 mesin. *Node-node* dalam *graph* merupakan anggota himpunan V . Tiap *node* dalam *graph* mewakili satu operasi. *Node 0* dan *node 9* adalah operasi-operasi fiktif (*dummy*) yang mewakili operasi awal (*start*) dan akhir (*finish*).

2. Tahap evaluasi fungsi biaya dari jadwal.

Setelah diperoleh sebuah *graph* untuk jadwal awal, hitung nilai ES (*earliest start time*) dan LS (*latest start time*) dari setiap operasi dalam *graph* dengan menggunakan *Critical Path Method* (CPM). *Makespan* jadwal adalah nilai ES atau LS dari operasi terakhir (operasi *dummy*).

3. Tahap komputasi lintasan kritis.

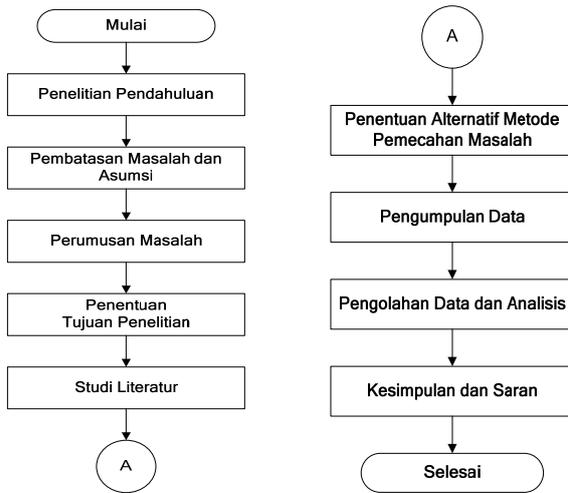
Setelah menghitung *makespan* jadwal, identifikasi lintasan kritis dari *graph* yaitu himpunan busur-busur dari *node* pertama menuju *node* terakhir yang memenuhi syarat sebagai berikut :

- Nilai ES dan LS dari setiap *node* yang dihubungkan oleh busur-busur tersebut harus sama.
- Untuk busur $u \rightarrow v$, hasil penjumlahan *start time* dan waktu pengerjaan dari operasi u harus sama dengan *start time* dari operasi v .

4. Tahap pembuatan *neighbour* baru.

Neighbour dari sebuah jadwal adalah himpunan jadwal yang dapat diperoleh dengan menerapkan fungsi transisi pada jadwal tersebut dengan memilih *node v* dan *w* sedemikian rupa sehingga berupa dua operasi berurutan sembarang yang dikerjakan pada mesin k dan berada pada lintasan kritis dari *graph*.

3. Metodologi Penelitian



Gambar 2 Metodologi Penelitian

4. Pembuatan *Software* Algoritma *Simulated Annealing*

Software disusun berdasarkan konsep perhitungan algoritma *simulated annealing*. Untuk mengetahui kesesuaian antara *software* yang dirancang dengan konsep perhitungan algoritma maka dilakukan suatu uji validasi sederhana agar *software* dapat digunakan dengan mudah, cepat, dan akurat di dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan *job shop*.

Tabel 1 Hasil Uji Validasi

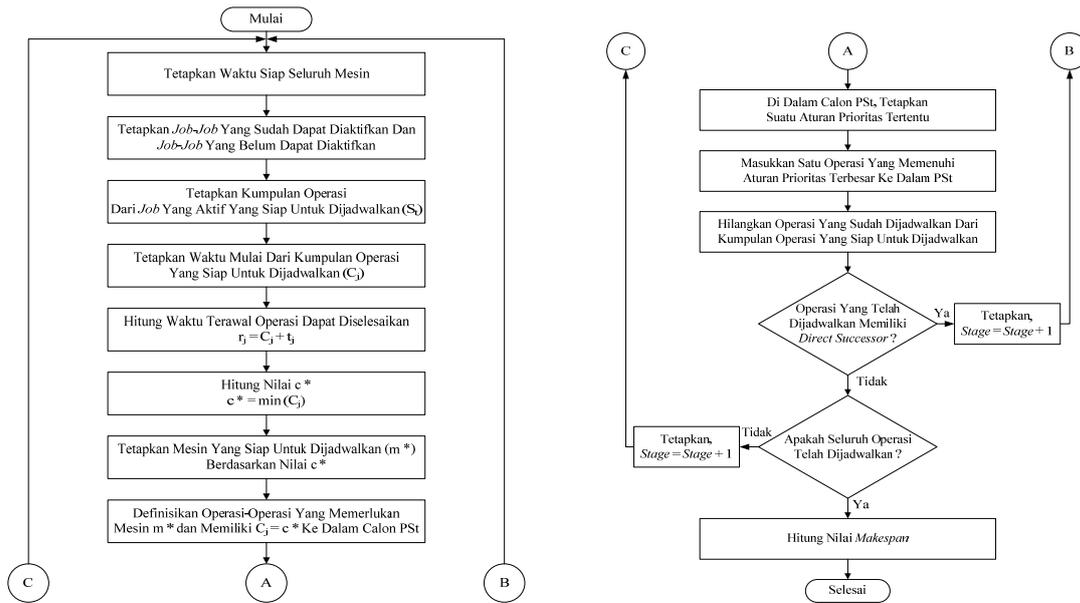
No.	Temperatur (°C)	Replikasi (N)	Item yang Diperbandingkan	Manual	<i>Software</i>
<i>Makespan</i> Jadwal Aktif = 405 Menit → Dijadikan $f(A_0)$ dan $f(C_0)$ Awal					
Lintasan Kritis = Manual (√) ; <i>Software</i> (√)					
1	100	1	Pertukaran Operasi	2 1 1 ↔ 1 1 1	2 1 1 ↔ 1 1 1
			Urutan Penjadwalan Operasi Pada Mesin	√	√
			<i>Makespan</i> $f(A_0)$	405 Menit	405 Menit
			<i>Makespan</i> $f(B_0)$	425 Menit	425 Menit
			Probabilitas Penerimaan (P_a)	0.82	0.82
			Bilangan Random	0.1	0.1
			Bilangan Random < P_a ?	Ya	Ya
			Kesimpulan 1	Terima $f(B_0)$	
			<i>Makespan</i> $f(A_0)$ yang Baru	425 Menit	425 Menit
			Kesimpulan 2	$f(C_0)$ Tetap	
			<i>Makespan</i> $f(C_0)$ Tetap	405 Menit	405 Menit

5. Penentuan Metode Pemecahan Masalah Terbaik

Dibuat enam buah contoh kasus yang akan diolah dengan menggunakan jadwal *non-delay* dan algoritma *simulated annealing*. Penentuan metode terbaik dapat dilihat dari performansi kedua metode dalam memberikan *makespan* terkecil, *delay* mesin yang kecil sehingga dapat meningkatkan utilisasi penggunaan mesin.

5.1 Jadwal *Non-Delay*

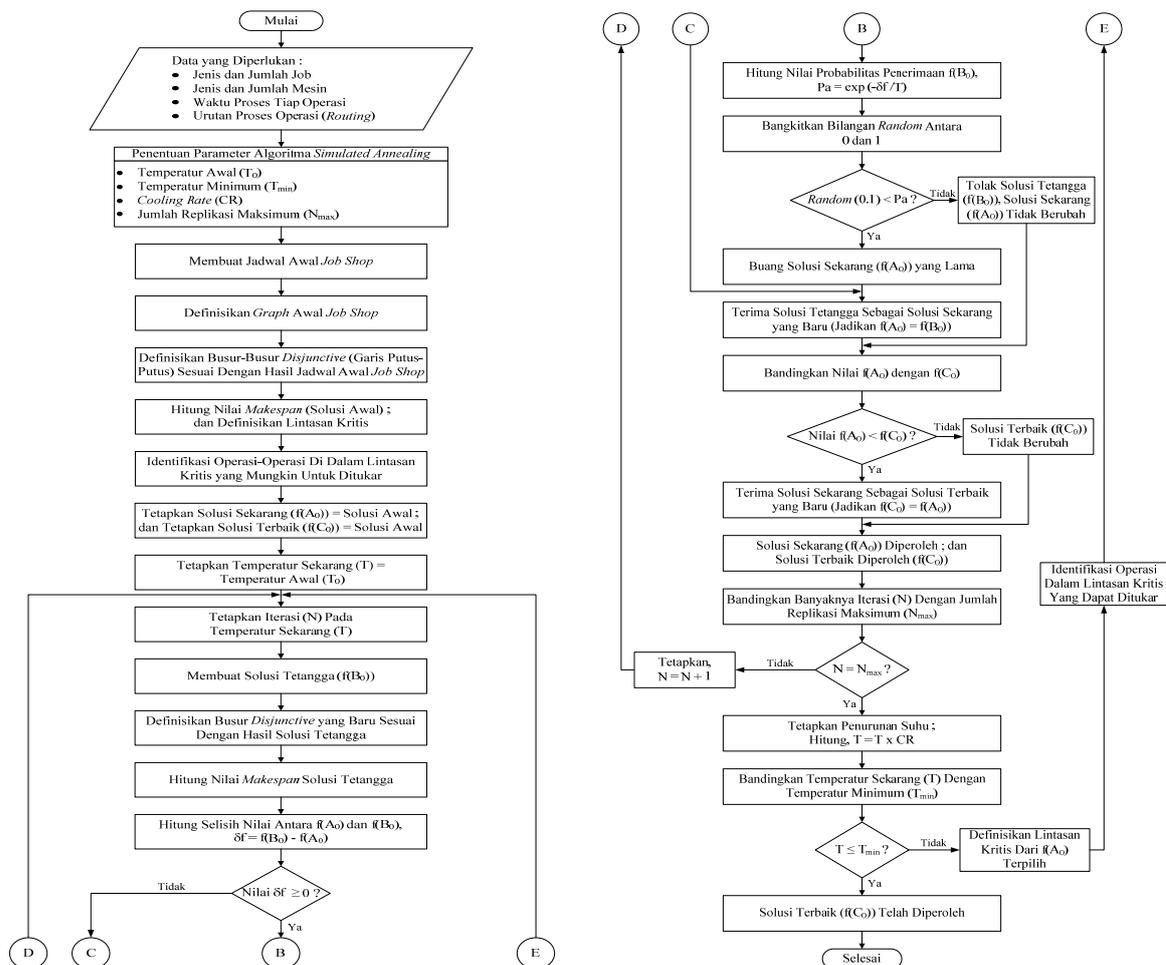
Kumpulan jadwal *feasible* tidak satupun mesin dibiarkan menganggur jika pada saat yang sama terdapat operasi yang memerlukan mesin tersebut. Perhitungan melibatkan bagian perakitan.



Gambar 3 Langkah Penjadwalan *Non-Delay*

5.2 Algoritma *Simulated Annealing*

Berikut ini langkah pengolahan data menggunakan algoritma *simulated annealing* penerapannya pada kasus *jobshop*.



Gambar 4 Langkah Penjadwalan Algoritma *Simulated Annealing*

5.3 Metode Pemecahan Masalah

Metode penjadwalan usulan yang digunakan adalah algoritma *simulated annealing* karena mampu memberikan *makespan* yang lebih baik, *delay* mesin yang kecil sehingga dapat meningkatkan utilisasi penggunaan mesin dengan waktu komputasi yang lebih singkat jika dibandingkan jadwal *non-delay* karena perhitungannya menggunakan *software*.

Tabel 2 Penentuan Metode Pemecahan Masalah Terbaik

Nilai Parameter yang Digunakan : $T_0=100\text{ }^{\circ}\text{C}$; $T_{\min}=30\text{ }^{\circ}\text{C}$; <i>Cooling Rate</i> =0.95 ; Replikasi=4				
Kasus	Jenis Kasus		<i>Makespan</i> Algoritma <i>Simulated Annealing</i>	<i>Makespan</i> Jadwal <i>Non-Delay</i>
	Jumlah <i>Job</i>	Jumlah Mesin		
1	9	9	1,178	*
2 (Ubah Operasi)	9	9	890	*
3	9	7	1,180	*
4	12	9	1,157	*
5	7	9	1,146	*
6	9	12	907	*

* Nilai *Makespan* yang Dihasilkan Lebih Baik

6. Pengumpulan Data

6.1 Metode Penjadwalan Perusahaan

Metode penjadwalan yang diterapkan perusahaan saat ini yaitu mengumpulkan pesanan dalam periode satu minggu dan akan dikerjakan sesuai dengan urutan pesanan yang datang pertama kali.

6.2 Matriks *Routing* dan Matriks Waktu Proses

Tabel 3 Matriks *Routing*

Job	Operation					
	1	2	3	4	5	6
1	1	2	3	4	5	6
2	1	3	6	6	-	-
3	1	2	3	3	7	7
4	8	-	-	-	-	-
5	8	-	-	-	-	-
6	6	9	-	-	-	-
7	8	-	-	-	-	-
8	8	-	-	-	-	-
9	8	-	-	-	-	-
A-10	7	-	-	-	-	-
A-11	7	7	10	11	12	11
A-12	7	-	-	-	-	-
A-13	7	5	5	-	-	-
B-14	6	5	5	-	-	-
B-15	5	-	-	-	-	-
B-16	6	5	5	5	-	-

Tabel 4 Matriks Waktu Proses (Menit)

Job	Operation					
	1	2	3	4	5	6
1	156	312	312	156	78	624
2	156	468	468	312	-	-
3	156	156	312	234	624	312
4	936	-	-	-	-	-
5	624	-	-	-	-	-
6	32	40	-	-	-	-
7	192	-	-	-	-	-
8	120	-	-	-	-	-
9	64	-	-	-	-	-
A-10	468	-	-	-	-	-
A-11	468	468	30	20	160	40
A-12	624	-	-	-	-	-
A-13	624	312	78	-	-	-
B-14	96	32	24	-	-	-
B-15	40	-	-	-	-	-
B-16	80	192	32	32	-	-

7. Pengolahan Data

Data perusahaan yang telah dikumpulkan akan diolah dengan menggunakan metode penjadwalan perusahaan dan algoritma *simulated annealing*.

7.1 Hasil Penjadwalan dengan Metode Perusahaan

Perusahaan akan mengerjakan pesanan kursi lipat kayu sampai dengan bagian perakitan terlebih dahulu kemudian pesanan meja FC akan mulai dikerjakan juga sampai dengan bagian perakitan. *Makespan* yang dihasilkan untuk menyelesaikan kedua pesanan sebesar 6,454 menit.

7.2 Metode Penjadwalan Usulan

Metode penjadwalan usulan menggunakan algoritma *simulated annealing*. Perhitungan juga melibatkan bagian perakitan. Perbedaannya, kedua pesanan akan dikerjakan secara bersamaan tanpa menunggu pesanan yang pertama selesai terlebih dulu.

7.2.1 Penentuan Parameter Algoritma *Simulated Annealing*

Sesuai dengan konsep *annealing*, nilai temperatur awal harus besar agar beberapa nilai probabilitas penerimaan solusi pada tahap awal juga besar dan proses penurunan temperatur yang semakin lambat akan menghasilkan solusi yang semakin baik.

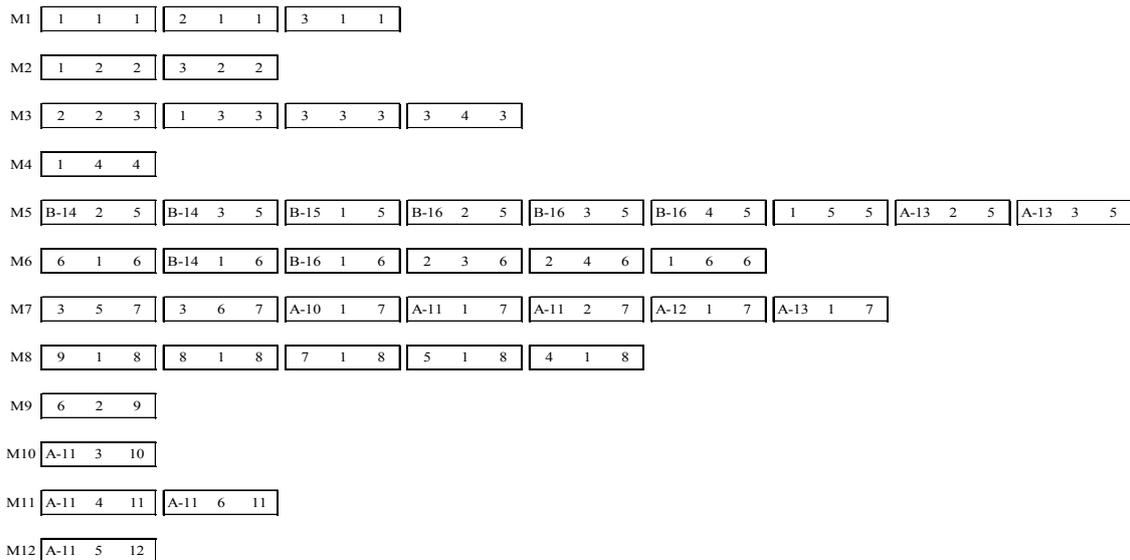
Sesuai dengan konsep tersebut maka ditetapkan besarnya nilai parameter sebagai berikut :

- Temperatur Awal (T_0) = 100 °C
- Temperatur Minimum (T_{min}) = 30 °C
- *Cooling Rate* (CR) = 0.95
- Replikasi Maksimum (N_{max}) = 4

Contoh perhitungan dilakukan untuk temperatur 100 °C dengan replikasi maksimum sebanyak 4 buah.

7.2.2 Membuat Jadwal Awal *Job Shop*

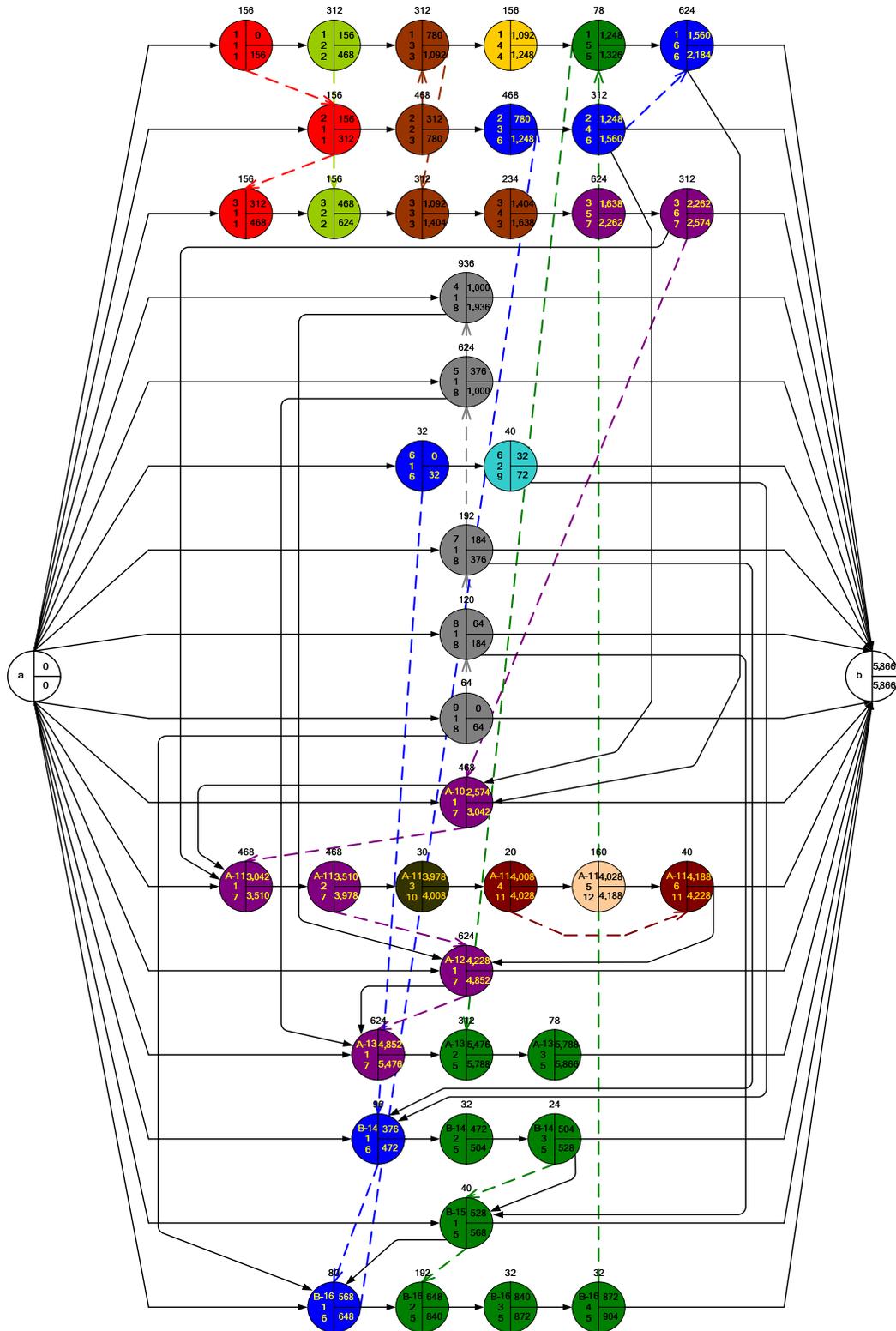
Jadwal awal *job shop* menggunakan jadwal aktif. *Makespan* yang dihasilkan sebesar 5,866 menit. Pada temperatur awal, nilai ini akan dijadikan sebagai solusi awal dan solusi terbaik ($f(A_0)$ dan $f(C_0)$). Selain *makespan*, jadwal aktif pun menghasilkan urutan penjadwalan operasi pada masing-masing mesin. Urutan ini akan didefinisikan ke dalam bentuk *graph* awal.



Gambar 5 Urutan Penjadwalan Operasi dengan Jadwal Aktif

7.2.3 Membuat *Graph* Awal *Job Shop*

Setiap baris dari *graph* menggambarkan setiap *job* dan warna latar belakang yang sama menggambarkan operasi dengan penggunaan mesin yang sama. Hasil urutan penjadwalan operasi dengan jadwal aktif akan digambarkan ke dalam *graph* dalam bentuk busur *disjunctive*.



Gambar 6 *Graph* Awal *Jobshop*

7.2.4 Menentukan Lintasan Kritis dari *Graph* Awal pada $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Lintasan kritis adalah lintasan yang menghubungkan operasi awal sampai dengan operasi akhir (*dummy*) dimana diantara operasi di dalamnya sama sekali tidak terdapat *delay*.

Tabel 5 Lintasan Kritis *Graph* Awal $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

Temperatur Sekarang (T) ($^{\circ}\text{C}$)	No.	Lintasan Kritis			
100	1	1	1	1	N=1
	2	2	1	1	
	3	2	2	3	N=4
	4	1	3	3	
	5	3	3	3	N=3
	6	3	4	3	
	7	3	5	7	N=2
	8	3	6	7	
	9	A-10	1	7	
	10	A-11	1	7	
	11	A-11	2	7	
	12	A-11	3	10	
	13	A-11	4	11	
	14	A-11	5	12	
	15	A-11	6	11	
	16	A-12	1	7	
	17	A-13	1	7	
	18	A-13	2	5	
	19	A-13	3	5	

7.2.5 Identifikasi Pertukaran Operasi di Dalam Lintasan Kritis

Kriteria pertukaran operasi di dalam lintasan kritis yaitu dilakukan pada dua operasi berurutan atau bersebelahan dengan menggunakan mesin yang sama.

Tabel 6 Pertukaran Operasi Pada Lintasan Kritis *Graph* Awal I untuk $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$

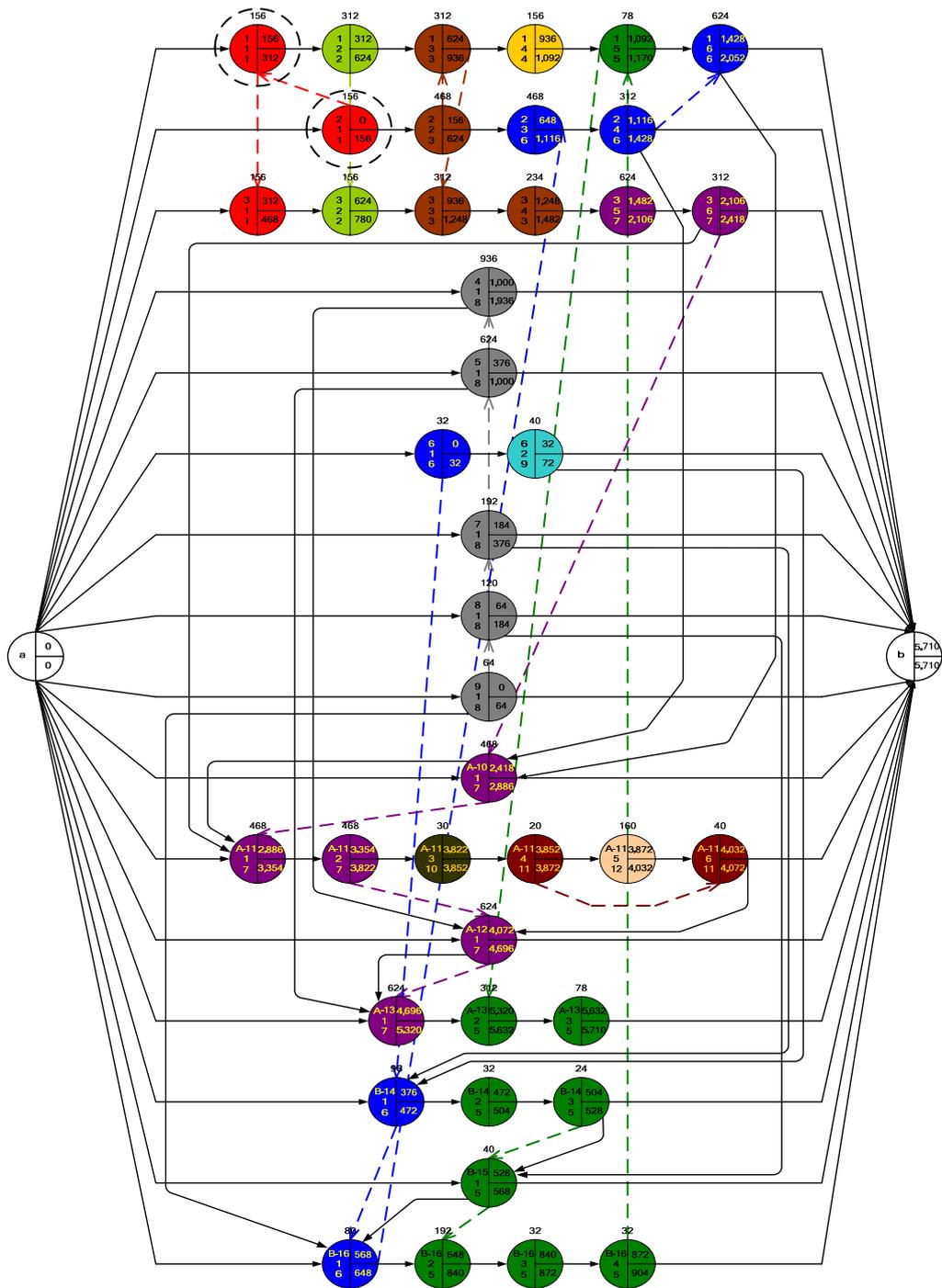
Pertukaran Operasi						
1	1	1	→	2	1	1
3	6	7	→	A-10	1	7
1	3	3	→	3	3	3
2	2	3	→	1	3	3

7.2.6 Solusi Tetangga ($f(B_0)$)

Pencarian solusi tetangga dengan cara menukar dua operasi secara berurutan yang memiliki kesamaan penggunaan mesin dan terdapat di dalam lintasan kritis. Pertukaran dapat dilakukan secara acak. Pada temperatur $100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dengan replikasi yang pertama, pertukaran dilakukan antara 1 | 1 | 1 dengan 2 | 1 | 1.

7.2.7 Definisikan Busur *Disjunctive* Hasil Pertukaran Operasi pada $T = 100\text{ }^{\circ}\text{C}$ dan $N = 1$

Perubahan arah panah busur *disjunctive* disesuaikan dengan perubahan urutan penjadwalan operasi pada mesin terkait. Hitung *makespan*-nya. *Makespan* solusi tetangga ($f(B_0)$) sebesar 5,710 menit.



Gambar 7 Graph Pertukaran Operasi Pada $T = 100^{\circ}\text{C}$ Dan $N = 1$ ($1 | 1 | 1 \leftrightarrow 2 | 1 | 1$)

7.2.8 Menghitung Perbedaan *Makespan* $f(A_0)$ dengan $f(B_0)$

$$f(A_0) = 5,866 \text{ menit}$$

$$f(B_0) = 5,710 \text{ menit}$$

$$\delta f = f(B_0) - f(A_0)$$

$$\delta f = 5,710 - 5,866$$

$$\delta f = -156$$

Nilai δf lebih kecil dari nol maka solusi sekarang (pada temperatur awal didapat dari solusi jadwal aktif) diperbarui dengan solusi tetangga. Jika nilai δf lebih besar atau sama dengan nol maka solusi tetangga ada kemungkinan untuk diterima jika bilangan *random* yang dibangkitkan lebih kecil dari nol. $f(A_0) = f(B_0) = 5,710$

7.2.9 Membandingkan nilai $f(A_0)$ dengan $f(C_0)$

$$f(A_0) = 5,710 \text{ menit}$$

$$f(C_0) = 5,866 \text{ menit}$$

Solusi terbaik diperbarui karena nilai solusi sekarang lebih kecil dari solusi terbaik yang didapat dari solusi jadwal aktif. $f(C_0) = f(A_0) = 5,710$

7.2.10 Kesimpulan Solusi pada $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $N = 1$

$$f(A_0) = 5,710 \text{ menit (dari } T = 100 \text{ }^\circ\text{C ; } N = 1)$$

$$f(C_0) = 5,710 \text{ menit (dari } T = 100 \text{ }^\circ\text{C ; } N = 1)$$

7.2.11 Menetapkan Replikasi Selanjutnya pada $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$

Karena $N \neq N_{\max}$, maka replikasi selanjutnya pada $T = 100 \text{ }^\circ\text{C}$ adalah replikasi ke-2 ($N=2$). Pencarian solusi dalam satu temperatur yang sama dihentikan jika replikasi yang dilakukan telah mencapai replikasi maksimum yang diijinkan.

7.2.12 Solusi Terbaik yang Pernah Dicapai

Pengolahan data dilanjutkan sesuai dengan parameter yang telah ditetapkan. Solusi terbaik dicapai pada temperatur $66.34 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $N = 1$, yaitu sebesar 5,632 menit.

Tabel 7 Solusi Terbaik pada $T = 66.34 \text{ }^\circ\text{C}$ dan $N = 1$

Mesin	Mesin Ke-	Job	Operasi	Waktu Operasi	Waktu Mulai	Waktu Selesai
Temperatur : 66.34						
N Ke-1						
Makespan : 5632.00						
M1	Mesin Ke-1	J2	O1	156	0	156
M1	Mesin Ke-1	J3	O1	156	156	312
M1	Mesin Ke-1	J1	O1	156	312	468
M2	Mesin Ke-1	J3	O2	156	312	468
M2	Mesin Ke-1	J1	O2	312	468	780
M3	Mesin Ke-1	J2	O2	468	156	624
M3	Mesin Ke-1	J3	O3	312	624	936
M3	Mesin Ke-1	J3	O4	234	936	1,170
M3	Mesin Ke-1	J1	O3	312	1,170	1,482
M4	Mesin Ke-1	J1	O4	156	1,482	1,638
M5	Mesin Ke-1	B-14	O2	32	472	504
M5	Mesin Ke-1	B-14	O3	24	504	528
M5	Mesin Ke-1	B-15	O1	40	528	568
M5	Mesin Ke-1	B-16	O2	192	648	840
M5	Mesin Ke-1	B-16	O3	32	840	872
M5	Mesin Ke-1	B-16	O4	32	872	904
M5	Mesin Ke-1	J1	O5	78	1,638	1,716
M5	Mesin Ke-1	A-13	O2	312	5,242	5,554
M5	Mesin Ke-1	A-13	O3	78	5,554	5,632
M6	Mesin Ke-1	J6	O1	32	0	32
M6	Mesin Ke-1	B-14	O1	96	376	472
M6	Mesin Ke-1	B-16	O1	80	568	648
M6	Mesin Ke-1	J2	O3	468	648	1,116
M6	Mesin Ke-1	J2	O4	312	1,116	1,428
M6	Mesin Ke-1	J1	O6	624	1,716	2,340
M7	Mesin Ke-1	J3	O5	624	1,170	1,794
M7	Mesin Ke-1	J3	O6	312	1,794	2,106
M7	Mesin Ke-1	A-10	O1	468	2,340	2,808
M7	Mesin Ke-1	A-11	O1	468	2,808	3,276
M7	Mesin Ke-1	A-11	O2	468	3,276	3,744
M7	Mesin Ke-1	A-12	O1	624	3,994	4,618
M7	Mesin Ke-1	A-13	O1	624	4,618	5,242
M8	Mesin Ke-1	J9	O1	64	0	64
M8	Mesin Ke-1	J8	O1	120	64	184
M8	Mesin Ke-1	J7	O1	192	184	376
M8	Mesin Ke-1	J5	O1	624	376	1,000
M8	Mesin Ke-1	J4	O1	936	1,000	1,936
M9	Mesin Ke-1	J6	O2	40	32	72
M10	Mesin Ke-1	A-11	O3	30	3,744	3,774
M11	Mesin Ke-1	A-11	O4	20	3,774	3,794
M11	Mesin Ke-1	A-11	O6	40	3,954	3,994
M12	Mesin Ke-1	A-11	O5	160	3,794	3,954

8. Analisis

8.1 Kelemahan Metode Penjadwalan Perusahaan

Metode yang digunakan perusahaan untuk mengerjakan pesanan yaitu dengan menerima pesanan dalam periode satu minggu dan akan dikerjakan sesuai dengan urutan datangnya pesanan. Pengerjaan pesanan akan dimulai jika pesanan untuk periode sebelumnya telah selesai dikerjakan.

Kelemahan dari metode penjadwalan perusahaan saat ini yaitu hanya mempertimbangkan urutan diterimanya pesanan dalam periode waktu tertentu tanpa mempertimbangkan faktor-faktor yang dapat mempengaruhi suatu penjadwalan, yaitu banyaknya variasi dari waktu proses pengerjaan pesanan dan banyaknya variasi proses dari setiap pesanan yang diterima. Perusahaan pun tidak menggabungkan pengerjaan pesanan.

Metode penjadwalan perusahaan menghasilkan *makespan* yang besar, *delay* mesin yang besar, dan tingkat utilisasi mesin yang rendah.

8.2 Hasil Penjadwalan dengan Data Perusahaan

Algoritma *simulated annealing* memberikan nilai *makespan* yang lebih baik dibandingkan metode perusahaan sehingga dengan waktu proses pengerjaan yang sama, penggunaan sumber daya mesin dapat lebih optimal karena *delay* mesin berkurang.

Tabel 8 *Makespan* Penjadwalan Perusahaan

Metode	Nilai Makespan Untuk Kedua Produk Sampai Dengan Proses Perakitan (Menit)
Metode Perusahaan	6,454
Algoritma <i>Simulated Annealing</i>	5,632
Selisih	822
% Selisih	12.74%

8.3 Manfaat Metode Penjadwalan Usulan

Algoritma *simulated annealing* digunakan sebagai metode penjadwalan usulan. Manfaat yang bisa diperoleh perusahaan adalah penurunan nilai *makespan* sampai dengan 12.74%, penurunan rata-rata *delay* mesin sampai dengan 14.77% dan peningkatan utilisasi mesin sampai dengan 2.01%.

Dengan adanya penurunan nilai *makespan* dan *delay* pada mesin, maka setidaknya akan meminimasi jumlah *job* yang terlambat dan perusahaan dapat memajukan waktu pengerjaan pesanan berikutnya sehingga perusahaan dapat menerima pesanan yang lebih banyak dari sebelumnya yang berdampak pada meningkatnya keuntungan perusahaan.

9. Kesimpulan

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan pada bab sebelumnya, diperoleh beberapa kesimpulan sebagai berikut :

1. Kelemahan dari metode penjadwalan perusahaan :
 - Pengerjaan berdasarkan pesanan yang pertama kali datang terlebih dulu.
 - Pengerjaan pesanan tidak digabungkan.
 - *Makespan* besar (6,454 menit) dan total *delay* mesin yang dihasilkan pun besar (66,784 menit), sehingga tingkat utilisasi mesin rendah (13.77%).

2. Metode penjadwalan *job shop* usulan yang sebaiknya digunakan oleh perusahaan adalah Algoritma *Simulated Annealing* karena :
 - Mampu menghasilkan *makespan* sebesar 5,632 menit
 - Menghasilkan total *delay* mesin sebesar 56920 menit
 - Menghasilkan tingkat utilisasi mesin sebesar 13.77%
3. Manfaat yang diperoleh perusahaan dari metode penjadwalan yang diusulkan antara lain :
 - Terdapat pengurangan *makespan* sampai dengan 12.74 %.
 - Terjadi pengurangan total *delay* pada mesin yang digunakan sebesar 14.77 %.
 - Terjadi peningkatan utilisasi mesin sebesar 2.01 %.
 - Pengerjaan pesanan berikutnya dapat dilakukan lebih awal.

10. Saran

Saran yang diberikan penulis bertujuan agar dapat dijadikan sebagai bahan pertimbangan bagi perusahaan dan untuk penelitian selanjutnya :

1. Untuk meningkatkan utilisasi penggunaan mesin maka perusahaan dapat menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* sebagai jadwal *job shop* usulan karena algoritma ini dapat memberikan *makespan* yang lebih baik dibandingkan dengan metode penjadwalan *job shop* lainnya.
2. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan yang membahas kasus penjadwalan *job shop* dengan mesin paralel (jumlah mesin lebih dari satu buah) menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*.
3. Sebaiknya dilakukan penelitian lanjutan yang membahas kasus penjadwalan *job shop* dengan *job* sisipan menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*.

11. Daftar Pustaka

- [1] Baker, Kenneth R.(1974), *Introduction to Sequencing and Scheduling*, John Wiley and Sons Inc., New York.
- [2] Bedworth, David D. (1987), *Integrated Production Control System 2nd ed*, John Wiley and Sons Inc., Canada.
- [3] Conway, Richard W., et al. (1976), *Theory of Scheduling*, Addison Wesley Publishing Company, Massachusetts.
- [4] Elsayed A. Elsayed. (1985), *Analysis and Control of Production System 2nd ed*, Prentice Hall Internationa, New Jersey.
- [5] Kusuma, Hendra, Ir. (1992), *Perencanaan dan Pengendalian Produksi* , Andi, Yogyakarta.
- [6] Morton, Thomas E. (1993), *Heuristic Scheduling System*, John Wiley and Sons Inc., Canada.
- [7] Panggabean, Henry Pantas (2002), “Penjadwalan Job Shop Statik dengan Algoritma Simulated Annealing”, Bandung : Universitas Katolik Parahyangan, FMIPA, Jurusan Ilmu Komputer.
- [8] Parker R. Gary (1995), *Deterministic Scheduling Theory*, Chapman & Hall, London.
- [9] Pham, D.T. (1952), *Intelegent Optimisation Techniques*, Springer, New York.
- [10] Sतालaksana, IZ., AnggawisastraR.,Tjakraatmadja, J.H. (1979), *Teknik Tata Cara Kerja*, Jurusan Teknik Industri ITB, Bandung.