

PENJADWALAN PRODUKSI ROKOK UNTUK MEMINIMALKAN *MAXIMUM TARDINESS* MENGGUNAKAN ALGORITMA *SIMULATED ANNEALING*
(Studi Kasus di PR. Adi Bungsu Malang)

CIGARETTE PRODUCTION SCHEDULING TO MINIMIZE *MAXIMUM TARDINESS*
USING *SIMULATED ANNEALING* ALGORITHM
(Case Study in PR. Adi Bungsu Malang)

Muhammad Hamdani Azmi¹⁾, Sugiono²⁾, Ceria Farela Mada Tantrika³⁾

Jurusan Teknik Industri, Universitas Brawijaya

Jl. Mayjen Haryono 167, Malang 65145, Indonesia

E-mail: hamdaniarema87@gmail.com¹⁾, sugiono_ub@ub.ac.id²⁾, ceria_fmt@ub.ac.id³⁾

Abstrak

PR. Adi Bungsu (PR. AB) adalah perusahaan rokok yang memproduksi rokok Filter 16 yang telah tersebar di beberapa daerah di Indonesia. Pentingnya kepuasan konsumen bagi perusahaan mengharuskan PR. AB menyelesaikan order konsumen tepat waktu. Selama ini, PR. Adi Bungsu menerapkan aturan jadwal produksi First Come First Served (FCFS), dimana PR. AB beberapa kali mengalami keterlambatan penyelesaian order Filter 16 hingga melewati batas due date seperti yang terjadi pada bulan April hingga Juni 2014.. Oleh karena itu, perlu dilakukan penjadwalan produksi dengan pendekatan yang berbeda untuk menyelesaikan masalah keterlambatan penyelesaian order. Dalam penelitian ini, metode pendekatan yang digunakan dalam penjadwalan produksi rokok adalah algoritma Simulated Annealing (SA) yang menggunakan hasil penjadwalan aturan Earliest Due Date (EDD) sebagai jadwal inisiasi dalam meminimasi nilai Max. Tardiness. Berdasarkan hasil perhitungan yang dilakukan dapat diketahui efisiensi hasil jadwal algoritma SA terhadap jadwal aktual pada bulan April sebesar 79%, pada bulan Mei sebesar 52% dan pada bulan Juni sebesar 100%. Hal tersebut menunjukkan bahwa jadwal yang dihasilkan dari algoritma SA lebih baik dari jadwal aktual PR. AB yang menggunakan aturan FCFS dalam fungsinya untuk meminimalkan Max. Tardiness.

Kata kunci: penjadwalan produksi, minimasi max. tardiness, algoritma simulated annealing

1. Pendahuluan

Penjadwalan produksi adalah salah satu usaha untuk memanajemen dan mengatur jalannya produksi untuk mencapai produksi yang efektif dan efisien. Penjadwalan produksi sangat perlu dilakukan oleh perusahaan untuk menyusun suatu urutan prioritas kerja yang sesuai dengan *loading* beban kerja pada seluruh stasiun kerja jika telah dapat dipastikan kebutuhan akan segala sumber telah terpenuhi. Berdasarkan penelitian yang dilakukan oleh Busetti (2007) tentang penjadwalan *Flowshop*, jadwal produksi hanya dapat disusun ketika seluruh sumber telah tersedia antara lain pengadaan bahan baku, kapasitas operator, kapasitas mesin, dan rancangan gambar teknik dari produk yang diproduksi. Jadwal harus disusun untuk mendapatkan total waktu penyelesaian *order* yang minimum.

PR. AB adalah sebuah perusahaan yang bergerak di bidang produksi rokok. Perusahaan ini terletak di jalan Ki Ageng Gribig No. 45, Kedung Kandang, Malang. Penelitian dilakukan

pada sistem produksi rokok Sigaret Kretek Mesin (SKM) yaitu rokok yang proses produksinya dikerjakan oleh mesin. Barang setengah jadi merupakan campuran tembakau dan cengkeh yang disimpan dalam gudang. Kemudian campuran diproses dengan menggunakan mesin mulai dari proses pelintingan, *packaging*, bandrol dan *wrapping* sehingga jumlah mesin yang terlibat dalam proses produksi berjumlah 4 buah mesin.

Jenis rokok di PR. AB dikelompokkan menjadi dua berdasarkan ukuran filter dan kandungan nikotin, yaitu rokok Filter 16 dan rokok Mild. Rokok 257 Filter 16 (F16) dan 257 Gold Filter 16 (GF16) masuk dalam kategori rokok Filter 16 karena memiliki diameter filter yang besar dan kandungan nikotin yang besar, sedangkan rokok Face Mild dan AB Mild masuk dalam kategori rokok Mild karena memiliki diameter filter yang kecil dan kandungan nikotin yang rendah. Lintasan produksi dari pelintingan hingga *wrapping* rokok Filter 16 dan Mild dibedakan karena

diameter filter, ukuran bandrol, ketebalan etiket dan ketebalan plastik laminasi yang berbeda. Pesanan yang diterima oleh perusahaan bersifat fluktuatif tergantung dari permintaan distributor.

Tabel 1. Data *Job* Rokok Filter 16 yang Mengalami *Tardiness* pada Periode April - Mei 2014

Bulan	Job order	Produk	Karton	Customer	Due date	Keterlambatan
APRIL	1	GF16	120	Padang	08-Apr-14	0
	2	F16	150	Sial	05-Apr-14	3
	3	GF16	198	Medan	17-Apr-14	0
	4	F16	250	Sial	14-Apr-14	4
	5	GF16	187	Aceh	22-Apr-14	0
	6	F16	190	Pekabara	30-Apr-14	0
	7	F16	145	Padang	26-Apr-14	0
MEI	1	F16	150	Padang	7-Mei-14	1
	2	F16	250	Medan	18-Mei-14	0
	3	GF16	190	Padang	13-Mei-14	3
	4	GF16	148	Aceh	23-Mei-14	0
	5	GF16	179	Pekabara	17-Mei-14	4
	6	F16	110	Sial	31-Mei-14	0
	7	F16	90	Medan	28-Mei-14	0
	8	F16	110	Pekabara	24-Mei-14	1
JUNI	1	F16	120	Medan	11-Juni-14	0
	2	GF16	195	Medan	9-Juni-14	1
	3	F16	213	Sial	21-Juni-14	0
	4	GF16	216	Sial	14-Juni-14	3
	5	F16	110	Aceh	29-Juni-14	0
	6	GF16	120	Pekabara	24-Juni-14	0

(Sumber: PR. Adi Bungsu)

Tabel 1. merupakan jadwal produksi PR. AB pada periode bulan Januari- Mei 2014. Berdasarkan Tabel 1. dari *job order* yang masuk selama bulan April– Juni 2014 terdapat 8 *job* yang mengalami keterlambatan (warna kuning) pemenuhan pesanan pada rokok Filter 16. Perusahaan beberapa kali mengalami keterlambatan penyelesaian order hingga melewati batas *due date* karena banyaknya permintaan dari distributor. Adanya keterlambatan tersebut tentu berdampak pada krisis kepercayaan antara PR. AB dengan distributor, hal tersebut dapat mengguncang pangsa pasar yang selama ini dibangun dan nantinya akan berakibat pada tersendatnya kemajuan usaha PR. AB.

Selama ini, PR. AB menerapkan sistem penjadwalan produksi berdasarkan aturan *First Come First Serve* (FCFS) dimana *job order* yang diterima terlebih dahulu akan dikerjakan di awal penjadwalan. Dalam penerapan penjadwalan FCFS, *order* setiap *job* memiliki *ready time* yang sama dan PR. AB biasanya melakukan penjadwalan dalam dua bulan sekali.

Untuk menyelesaikan masalah keterlambatan produksi maka diperlukan solusi yang memungkinkan untuk dilakukan. Solusi yang dapat dilakukan adalah melakukan

penjadwalan produksi dengan pendekatan yang berbeda untuk menyelesaikan masalah tersebut, tentunya diperlukan data waktu proses tiap *job* untuk melakukannya. Karena masalah yang dialami PR. AB adalah terjadinya keterlambatan produksi, maka solusi penjadwalan yang tepat adalah dengan melakukan penjadwalan menurut aturan *Earliest Due Date* (EDD). Menurut Fogarty, dkk (1991) aturan EDD merupakan aturan penjadwalan dengan cara mengurutkan jadwal mulai dari *due date* yang terkecil hingga yang terbesar. Pada kasus mesin tunggal, EDD terbukti mampu memberikan solusi optimal untuk meminimasi *Tardiness* terbesar. Namun, dalam permasalahan *Flowshop*, belum ada jaminan bahwa solusi yang diberikan adalah solusi optimal. Karena itu, dibutuhkan suatu algoritma yang mampu memberikan solusi yang lebih baik daripada EDD.

Menurut Pinedo (2008), permasalahan yang terjadi pada penjadwalan *Flowshop* pada 2 mesin untuk meminimasi *lateness* maksimum termasuk dalam permasalahan NP *Hard* (*Non-deterministic Polynomial-time hard*). Terdapat 4 buah mesin dan lebih dari 6 *job* yang terlibat dalam permasalahan penjadwalan dalam penelitian ini, sehingga dapat dikatakan permasalahan NP *Hard*. Metode enumerasi hanya dapat menyelesaikan permasalahan kecil, sedangkan permasalahan besar membutuhkan waktu penyelesaian yang lama. Karena itu untuk menyelesaikan masalah penjadwalan pada penelitian ini dilakukan pengembangan algoritma penjadwalan heuristik berbasis *Simulated Annealing* (SA).

Algoritma SA adalah teknik pencarian probabilistik yang banyak digunakan dalam masalah optimasi. Secara filosofis istilah *annealing* dapat dijelaskan sebagai salah satu teknik yang dikenal dalam mempelajari proses pembentukan kristal dalam suatu materi. Agar dapat terbentuk susunan kristal yang sempurna, diperlukan pemanasan sampai suatu tingkat tertentu, kemudian dilanjutkan dengan pendinginan yang perlahan-lahan dan terkendali dari materi tersebut (Laarhoven, 1987).

Sama halnya dengan proses tersebut, maka algoritma SA mengadopsi pendekatan tersebut. Solusi inisial dimunculkan dan dianalogikan sebagai suhu tertinggi. Solusi inisial ini kemudian dimodifikasi dengan cara mengubah urutan jadwal pada solusi inisial, caranya adalah dengan menukar posisi urutan *order*

yang ada. Pertukaran pertama kali dianalogikan sebagai penurunan suhu secara perlahan. Solusi baru ini (hasil pertukaran urutan jadwal) akan dicek kriteria performansinya, dalam hal ini digunakan ukuran *Max. Tardiness*. Jika kriteria performansi yang digunakan lebih baik, maka penurunan suhu terus dilakukan, dan jika kriteria performansi yang didapat lebih buruk dan tidak ditoleransi dari probabilitas tertentu maka solusi terakhir sebelum proses pendinginan dianggap solusi terbaik.

Pemecahan masalah dengan algoritma SA menganalogikan susunan *order* yang ada sebagai susunan kristal dalam suatu materi, susunan kristal yang sempurna merepresentasikan susunan *order* yang memiliki nilai mendekati optimal (dalam hal ini memiliki nilai *Tardiness* terbesar). Sama halnya dengan proses pembentukan susunan kristal yang sempurna, proses pencarian susunan *order* yang optimum pun harus “dipanaskan” dan kemudian “diturunkan” dengan cara menetapkan suhu sebagai parameter kendali.

2. Metode

Pada penelitian ini, untuk mendapatkan penjadwalan produksi yang menghasilkan nilai minimum pada *max. Tardiness* digunakan pendekatan Algoritma SA dengan jadwal inisial urutan jadwal EDD. Untuk mempermudah perhitungan, algoritma SA diaplikasikan pada *software* MATLAB.

Tahapan-tahapan yang akan dilakukan adalah sebagai berikut:

1. Tahap Awal

Merupakan tahap awal dari penelitian yang terdiri atas:

a. Studi Pustaka

Studi pustaka adalah kegiatan mencari informasi yang didapat dari jurnal, skripsi, internet, buku – buku referensi ataupun sumber lain yang berhubungan dengan permasalahan yang digunakan sebagai referensi dalam pemecahan masalah dalam penjadwalan produksi.

b. Studi Lapangan

Studi lapangan dimaksudkan untuk mengetahui kondisi perusahaan yang diteliti, sehingga dapat diketahui permasalahan yang terdapat pada perusahaan.

c. Identifikasi Masalah

Identifikasi masalah adalah tahapan penelitian dalam memahami permasalahan

yang timbul dalam sistem penjadwalan produksi PR. Adi Bungsu

d. Perumusan Masalah

Setelah masalah diidentifikasi, kemudian diperinci agar memudahkan dalam penyelesaian masalah tersebut.

e. Penentuan Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ditetapkan berdasarkan masalah yang telah dirumuskan sebelumnya. Tujuan penelitian ditentukan agar penelitian dapat terarah dalam penyelesaian masalah yang ada.

2. Tahap Pengumpulan Data

Pada tahap ini yang dilakukan adalah mengumpulkan data yang diperlukan selama penelitian berlangsung. Data yang dikumpulkan akan digunakan sebagai input pada pengolahan data untuk menyelesaikan permasalahan yang diangkat. Data – data yang dikumpulkan tersebut terdiri dari:

a. Data umum perusahaan

b. Data job order bulan April – Juni 2014.

c. Mesin yang terlibat proses produksi

d. Kapasitas mesin

e. Waktu setup mesin

3. Tahap Pengolahan Data

Langkah-langkah dalam pengolahan data adalah sebagai berikut:

a. Mencari rata-rata waktu *setup* mesin.

b. Mencari waktu proses permesinan seluruh *job order*.

c. Mencari *Max. Tardiness* yang dihasilkan dengan penjadwalan berdasarkan jadwal aktual (FCFS).

d. Mencari *Max. Tardiness* yang dihasilkan dengan penjadwalan berdasarkan aturan EDD.

e. Pembuatan program perhitungan penjadwalan produksi dengan algoritma SA dengan hasil urutan jadwal EDD sebagai jadwal inisiasi,

f. Mencari *Max. Tardiness* yang dihasilkan dengan urutan jadwal yang dihasilkan algoritma SA.

2.1 Earliest Due Date (EDD)

Proses pengerjaan *job* pada EDD dilakukan dengan mengerjakan *job* dengan *due date* yang paling awal (kecil) dijadwalkan pada urutan yang pertama. Adapun langkah penjadwalannya adalah:

1. Urutkan pekerjaan berdasarkan EDD atau batas waktu terawal/pendek.

2. Terapkan hasil EDD pada masing-masing prosesor secara berurutan.

2.2 Algoritma *Simulated Annealing* (SA)

Simulated annealing adalah suatu metode optimasi yang berdasarkan pada proses pendinginan yang digunakan dalam Metalurgi. Secara umum, pada saat suatu zat melewati proses pendinginan, pertama-tama akan dipanaskan dulu sampai mencapai titik lebur untuk pencairannya, kemudian didinginkan secara perlahan-lahan dengan cara mengontrol proses pendinginannya hingga zat tersebut padat kembali. Sifat-sifat terakhir dari zat ini sangat bergantung pada jadwal pendinginan yang diterapkan, jika suhu pendinginan diturunkan secara cepat maka zat yang dihasilkan akan dengan mudah rusak karena struktur yang tidak sempurna, sebaliknya jika suhu pendinginan diturunkan secara perlahan maka struktur yang dihasilkan tersusun dengan baik dan kuat (Kirkpatrick, 1983).

Ketika menyelesaikan masalah optimasi menggunakan *Simulated Annealing*, struktur dari sebuah zat akan mewakili penyusunan solusi dari sebuah masalah, dan suhu digunakan untuk menentukan bagaimana dan kapan solusi baru dapat diperbaharui dan diterima. Algoritma ini pada dasarnya adalah proses tiga langkah, yakni:

1. Memperbaharui solusi.
2. Mengevaluasi kualitas dari solusi, dan
3. Menerima solusi jika solusi tersebut lebih baik daripada yang sebelumnya.

Simulated Annealing merupakan salah satu metode pencarian acak yang sangat baik. Algoritma dari *Simulated Annealing* berdasarkan pada algoritma metropolis yang digunakan untuk mendapatkan konfigurasi ekuilibrium dari koleksi atom pada temperatur yang diberikan. Hubungan antara algoritma itu dan minimalisasi secara matematis pertama kali dituliskan oleh Pincus. Namun, Kirkpatrick mengembangkannya sebagai teknik optimalisasi untuk permasalahan kombinatorial.

Kelebihan *simulated annealing* dibandingkan dengan metode lainnya adalah kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal. Algoritmanya merupakan algoritma pencarian acak, tetapi tidak hanya menerima nilai obyektif yang selalu turun, melainkan terkadang menerima nilai obyektif yang naik juga. Dalam algoritma *simulated annealing* itu, suatu *state* (kombinasi dari satu solusi) dapat diterima dengan kemungkinan:

$$P(E) = e^{\Delta E / kT} \quad (\text{pers.1})$$

Dengan ketentuan ΔE adalah selisih energi saat ini dan energi sebelumnya, k adalah konstanta Boltzmann, dan T adalah temperatur. Dalam minimasi fungsi, misalkan solusi yang sekarang adalah x dan nilai fungsinya $f(x)$, mirip dengan status energi pada sistem termodinamika, energi E_i pada sttus x_i adalah:

$$E_i = f_i = f(x_i) \quad (\text{pers.2})$$

E dalam permasalahan penjadwalan pekerjaan pada penelitian ini adalah *tardiness*. Menurut kriteria Metropolis, probabilitas titik solusi berikutnya adalah x_{i+1} bergantung pada perbedaan status energi atau fungsi tujuan dua titik (status) yang diberikan oleh:

$$P[E_{i+1}] = \min \left\{ 1, e^{\frac{\Delta E}{kT}} \right\} \quad (\text{pers.3})$$

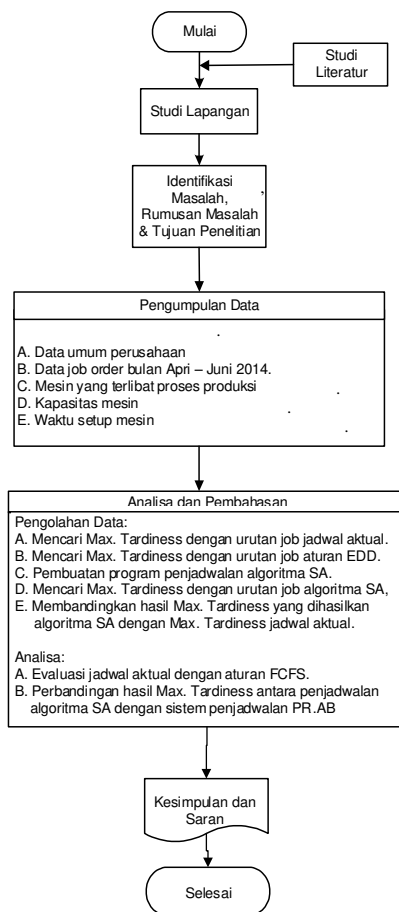
Keterangan,

$$\Delta E = E_{i+1} - E_i = \Delta f = f_{i+1} - f_i = f(x_{i+1}) - f(x_i)$$

Jika f_{i+1} lebih kecil dari f_i (dengan nilai Δf negatif), terima titik f_{i+1} sebagai titik solusi baru. Sebaliknya jika titik Δf positif, probabilitas menerima x_{i+1} sebagai solusi baru adalah $e^{-\Delta f / kT}$. Untuk menerima atau tidak, perlu dicari pembandingan dengan membangkitkan bilangan *random* antara (0,1). Jika nilai *random* yang dibangkitkan lebih kecil dari nilai $e^{-\Delta f / kT}$, terima titik x_{i+1} ; sebaliknya, tolak x_{i+1} . Jika titik x_{i+1} ditolak, maka lanjutkan proses pembangkitan nilai baru x_{i+1} secara *random* dalam area yang berdekatan dengan titik sekarang x_i dalam batas – batas tertentu, lalu mengevaluasi nilai fungsi tujuan f_{i+1} , dan memutuskan untuk menerima x_{i+1} sebagai titik baru, berdasarkan kriteria Metropolis seperti pada Pers.5. Untuk mensimulasikan pencapaian equilibrium thermal pada setiap temperatur, sebanyak n titik baru x_{i+1} dievaluasi pada setiap titik temperatur tertentu T . Jika jumlah titik x_{i+1} yang diuji pada sembarang temperatur T melebihi nilai n , temperatur T dikurangi dengan proporsi tertentu yaitu $c(0 < c < 1)$ dan seluruh proses diulang lagi. Prosedur ini diasumsikan akan mengalami konvergensi ketika nilai temperatur T yang dicapai cukup kecil atau jika perubahan nilai fungsi tujuan (Δf) sudah sangat

kecil. Gambar 1. menunjukkan langkah – langkah dari algoritma SA.

Dalam algoritma SA, terdapat langkah khusus untuk keluar dari solusi lokal optimum. Langkah tersebut yaitu penerimaan suatu titik x_{i+1} dengan peluang $e^{-\Delta f/kT}$ walaupun nilai fungsi pada titik ini tidak lebih baik dari titik sebelumnya x_i . Ini dilakukan dengan harapan pada langkah selanjutnya akan dicapai suatu titik dengan nilai fungsi yang lebih baik lagi. Langkah khusus ini merupakan pembeda SA dengan teknik optimasi konvensional yang biasanya tidak bisa keluar dari jebakan lokal optimum (*local search trap*). *Flowchart* algoritma SA dapat dilihat di Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Simulated Annealing
(Sumber: Santosa dan Willy, 2011)

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Pengumpulan Data

Data pesanan produk yang dikumpulkan dalam penelitian ini diambil dari *masterplan* pada bulan April 2014. Produk yang dipilih rokok F16 dan GF16 karena dalam produksinya banyak mendapatkan permintaan dan mengalami keterlambatan pemenuhan. Data

permintaan produk yang digunakan adalah pada periode bulan April - Juni 2014 seperti pada Tabel 1.

3.1.2 Data Waktu Setup Mesin

Waktu *setup* mesin adalah waktu yang digunakan untuk melakukan penyetelan mesin sebelum dilakukan proses produksi. Seluruh mesin dilakukan *setup* serentak pada waktu yang sama. Waktu *setup* didapatkan dari pengamatan langsung dengan menggunakan *stopwatch*. Dibawah ini merupakan Tabel 2. yang menunjukkan waktu *setup* mesin.

Tabel 2. Data Waktu Pengamatan Setup Mesin

Mesin	Pengamatan (menit)										Rata-rata (Membulatkan)
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	
Maker	15,33	17,58	22,75	16,40	20,93	20,13	21,45	19,78	20,57	21,19	20
Verpak	15,68	19,26	15,78	16,47	15,53	15,57	16,00	16,45	15,98	15,35	16
Bandrol	18,58	15,68	16,58	15,08	15,17	15,78	16,15	16,94	15,23	15,47	16
Wrapper	8,92	8,77	8,88	8,88	8,20	8,48	8,32	7,19	8,36	8,20	8

3.1.3 Kapasitas Mesin dan Waktu Proses Tiap Job

Pada sub bab ini dijelaskan mengenai kapasitas mesin *maker*, *verpak*, *bandrol* dan *wrapper*. Serta akan dijelaskan waktu proses yang dihasilkan tiap *job* berdasarkan data kapasitas mesin. Pada Tabel 3. dijelaskan kapasitas tiap mesin, namun untuk dapat menghitung waktu *job* kita juga harus mengetahui satuan rokok pada PR Adi Bungsu.

Pada PR Adi Bungsu satuan rokok adalah 1 karton = 600 *pack* = 9600 batang rokok. Setelah mengetahui satuan rokok, kapasitas mesin dan waktu *setup*, maka kita dapat melakukan perhitungan tiap *job*. Berikut merupakan contoh perhitungan waktu proses tiap *job*, *job* yang diambil adalah *job* 1 April 2014 dengan jumlah karton sebesar 120 karton.

Tabel 3. Kapasitas Mesin

NO	MESIN	KAPASITAS
1	Maker	1500 batang/menit
2	Verpak	120 <i>pack</i> /menit
3	Bandrol	166 <i>pack</i> /menit
4	Wrapper	300 <i>pack</i> /menit

Tabel 4. Contoh Perhitungan Waktu Proses

NO	MESIN	PERHITUNGAN	HASIL
1	Maker	$((120 \times 9600)/1500) + 20$	788 menit
2	Verpak	$((120 \times 600)/120) + 16$	616 menit
3	Bandrol	$((120 \times 600)/166) + 16$	450 menit
4	Wrapper	$((120 \times 600)/300) + 6$	246 menit
TOTAL			2.100 menit

Pada Tabel 4. dapat diketahui lama waktu proses *job* 1 April 2014 dengan jumlah karton

sebesar 120 karton telah menghasilkan waktu proses sebesar 2100 menit atau sama dengan 35 jam. Berikut ini akan dijelaskan waktu proses seluruh *job*, namun akan terlalu panjang jika dijabarkan seluruh perhitungan, maka hasil waktu proses saja yang akan ditampilkan. Waktu proses seluruh *job* akan ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Hasil Perhitungan Waktu Proses (Menit)

Bulan	Jid	Produk	Karton	Makir	Ukapal	Bandrol	Whapper
APRIL	1	GF15	120	788	616	450	246
	2	F16	150	980	768	558	306
	3	GF15	186	1.210	946	688	378
	4	F16	250	1.620	1.266	920	506
	5	GF15	187	1.217	951	692	380
	6	F16	150	980	758	558	306
	7	F16	145	948	741	540	296
MEI	1	F16	150	980	768	558	306
	2	F16	250	1.620	1.266	920	506
	3	GF15	190	1.236	966	703	386
	4	GF15	148	967	758	551	302
	5	GF15	179	1.166	911	663	364
	6	F16	115	756	591	432	236
	7	F16	90	596	466	341	186
	8	F16	110	724	568	414	226
JUNI	1	F16	120	788	616	450	246
	2	GF15	155	1.012	791	576	316
	3	F16	213	1.383	1.081	796	432
	4	GF15	215	1.396	1.091	793	436
	5	F16	110	724	568	414	226
	6	GF15	125	788	616	450	246

3.2 Pengolahan Data

Pada sub bab ini akan dijelaskan analisa dari hasil data dari perhitungan manual menggunakan jadwal awal dengan aturan *First Come First Serve*, penjadwalan dengan aturan EDD dan perhitungan penjadwalan dengan program minimasi *Max. Tardiness* menggunakan algoritma SA. Nantinya akan dijelaskan bab demi bab mengenai hasil perhitungan Penjadwalan dengan Jadwal awal, aturan EDD dan algoritma SA. Kemudian ketiga hasil tersebut dibandingkan.

3.2.1 Penjadwalan dengan Jadwal Awal

Penjadwalan dengan jadwal awal adalah dengan melakukan perhitungan *Flowshop* berdasarkan jadwal yang dimasukkan pada awal program. Perhitungan dilakukan berdasarkan perhitungan *flowshop*. Tujuan perhitungan adalah untuk mengetahui *Max. Tardiness* dari jadwal awal yang menggunakan aturan FCFS, sehingga nantinya dapat diketahui efisiensi yang dicapai dari penjadwalan dengan Algoritma *Simulated Annealing*. Berikut akan dijelaskan penjadwalan pada periode bulan April – Juni 2014 pada Tabel 7.

Tabel 6. Hasil Perhitungan Jadwal Awal

	Bulan		
	April 2014	Mei 2014	Juni 2014
Urutan Job Order	1-2-3-4-5-6-7	1-2-3-4-5-6-7-8	1-2-3-4-5-6
Makepan	9.320 menit	9.251 menit	7.573 menit
Max. Tardiness	1.530 menit	1.667 menit	1.139 menit
Keterlambatan	3.18 ≈ 4 hari	3.47 ≈ 4 hari	2.37 ≈ 3 hari

Berdasarkan Tabel 6. dapat diketahui bahwa keterlambatan pada bulan april hingga Juni adalah 4 hari, 4 hari dan 3 hari. Keterlambatan produksi tersebut cukup mempengaruhi kepercayaan distributor kepada PR AB. Jika tidak dilakukan penjadwalan dengan pendekatan yang berbeda maka akan berdampak pada tingkat kepercayaan yang lebih buruk antara PR AB dan distributor, sehingga menyebabkan kehilangan konsumen dan akan berdampak krusial pada pendapatan dan kelangsungan PR AB.

3.2.2 Penjadwalan dengan Aturan EDD

Hasil perhitungan penjadwalan produksi dengan aturan EDD pda periode bulan April – Juni 2014 akan dijelaskan pada Tabel 7. Keterlambatan yang diperoleh dari perhitungan penjadwalan dengan aturan EDD adalah 0 hari. Nilai tersebut tentunya jauh lebih baik dibandingkan keterlambatan pada jadwal awal dengan nilai keterlambatan sebesar 2,4 hari. Hasil dari penjadwalan menggunakan aturan EDD sudah sangat baik, tapi tidak ada salahnya untuk mencari jadwal alternatif lain yang memiliki nilai sama atau lebih baik. Karena itu maka dilakukan penjadwalan lagi dengan metode heuristik untuk mencari urutan jadwal yang paling optimal. Metode heuristik yang digunakan adalah Algoritma SA.

Tabel 7. Hasil Perhitungan EDD

	Bulan		
	April 2014	Mei 2014	Juni 2014
Urutan Job Order	2-1-4-3-5-7-6	1-3-5-2-4-8-7-6	2-1-4-3-6-5
Makepan	9.373 menit	9.315 menit	7.536 menit
Max. Tardiness	320 menit	974 menit	0 menit
Keterlambatan	0,67 ≈ 1 hari	2,03 ≈ 3 hari	0

3.2.3 Penjadwalan dengan algoritma SA

Sebelum melakukan penjadwalan dengan SA, langkah yang harus dilakukan adalah menentukan parameter awal. Berikut parameter awal yang akan digunakan:

- a. Kriteria pemberhentian algoritma SA. Kriteria pemberhentian algoritma SA adalah ketika $T < 0,1$, karena dengan nilai T yang sudah kurang dari 0,1 nilai fungsi *Max. Tardiness* yang didapatkan sudah tidak lagi mengalami perubahan.

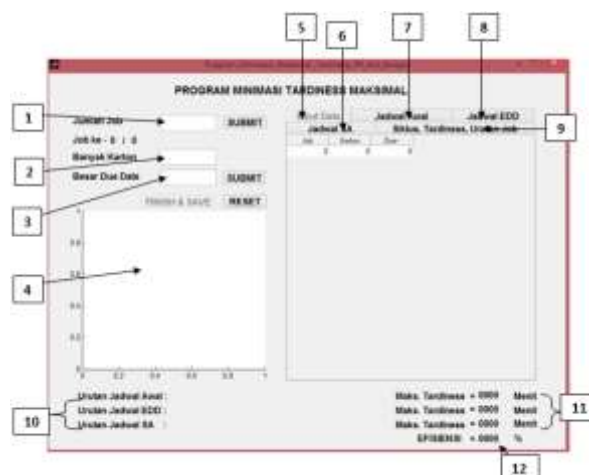
- b. Faktor Pereduksi Suhu (c).
Faktor pereduksi suhu yang ditentukan adalah 0,6. Hal ini berdasarkan acuan penggunaan algoritma SA menurut Santosa dan Willy (2011) bahwa dengan nilai $c = 0,6$ faktor pereduksi nilainya tidak terlalu besar dan tidak terlalu kecil sehingga langkah komputasi untuk mencapai konvergen tidak terlalu besar dan tidak terlalu sedikit.
- c. Suhu (T).
Suhu pada penelitian ini ditetapkan dengan nilai 100° . Karena dengan suhu 100° algoritma SA sudah melakukan 14 siklus penurunan suhu dengan nilai $c = 0,6$. Dengan 14 siklus penurunan suhu, algoritma SA sudah dapat mencapai titik global optimum.
- d. Konstanta Boltzmann (k).
Untuk faktor konstanta Boltzmann pada umumnya nilai k diberi nilai 1.
- e. Iterasi (n).
Iterasi (n) ditetapkan dengan nilai 5, yang berarti pada tiap siklus terdapat 5 iterasi yang menghasilkan 5 solusi jadwal baru.

3.2.4 Program Penjadwalan Produksi

Parameter awal yang telah ditentukan selanjutnya diaplikasikan ke dalam program dengan software untuk mempermudah perhitungan penjadwalan dengan algoritma SA.

1. User Interface Program

User Interface adalah tampilan muka untuk menjalankan program. Berikut merupakan gambar dari User Interface Program Minimasi *Max. Tardiness* yang ditunjukkan oleh Gambar 2.



Gambar 2. User Interface Program

Gambar 2. merupakan gambar tampilan dari GUI (Graphic User Interface) program

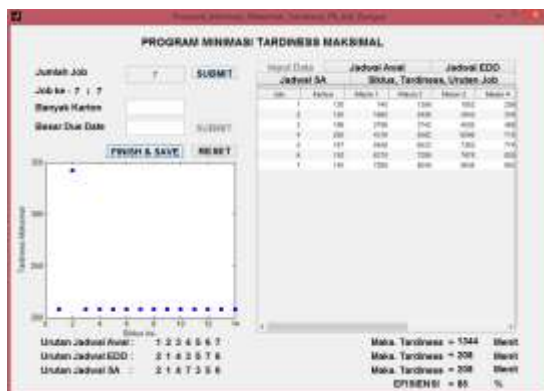
Minimasi *Max. Tardiness*. Berikut penjelasan setiap panel pada GUI program :

- a. Jumlah *Job*, *text box* untuk mengisi jumlah *job* yang akan dijadwalkan.
 - b. Banyak Karton, *text box* untuk mengisi jumlah karton pada tiap-tiap *job*.
 - c. Besar *Due Date*, *text box* untuk mengisi besar *Due Date* pada tiap-tiap *job*. *Due Date* disini diasumsikan sebagai hari. Satu hari diasumsikan 8 jam kerja atau 480 menit.
 - d. Grafik, untuk menampilkan besar *Max. Tardiness* paling terakhir pada tiap siklus penurunan suhu pada perhitungan algoritma SA.
 - e. Tombol *Input Data*, tombol untuk melihat jadwal yang telah dimasukkan di awal sebagai input data yang akan diolah.
 - f. Tombol *Jadwal SA*, tombol untuk melihat hasil perhitungan penjadwalan dengan algoritma SA.
 - g. Tombol *Jadwal Awal*, untuk melihat hasil perhitungan penjadwalan awal.
 - h. Tombol *Jadwal EDD*, tombol untuk melihat hasil perhitungan penjadwalan dengan aturan *Earliest Due Date*.
 - i. Tombol *Siklus, Tardiness, Urutan Job*, tombol untuk melihat hasil *Max. Tardiness* dari tiap siklus disertai dengan urutan *job* yang dihasilkan oleh algoritma SA.
 - j. *Static Text* Urutan Jadwal untuk menampilkan urutan jadwal awal, EDD dan SA.
 - k. *Static Text Max. Tardiness* untuk menampilkan *Max. Tardiness* pada perhitungan jadwal awal, EDD dan SA.
1. *Static Text* Efisiensi, untuk melihat besar efisiensi dari hasil perhitungan penjadwalan SA terhadap perhitungan penjadwalan awal. Efisiensi berdasarkan perbandingan *Max. Tardiness* jadwal SA dan jadwal awal.
 2. Langkah Kerja Program
Berikut akan dijelaskan mengenai langkah-langkah menggunakan program Minimasi *Max. Tardiness* mulai dari *input* data berupa *job*, jumlah karton dan *due date* hingga *output* data berupa urutan Jadwal dan nilai *Max. Tardiness*.
 - a. Masukkan *job* pada kotak *text box*, kemudian klik tombol SUBMIT.
 - b. Masukkan jumlah karton dan besar *due date* tiap *job*, klik tombol SUBMIT untuk mengisi jumlah karton dan besar *due date* pada tabel *Jadwal Input*.



Gambar 3. Input Program

- Klik tombol FINSH & SAVE untuk melakukan pengolahan data *input* dan merekam hasil perhitungan dengan *file* berformat *.txt*.
- Untuk menampilkan hasil perhitungan penjadwalan produksi dengan aturan EDD adalah dengan cara meng klik-tombol “Jadwal EDD” di atas tabel.
- Untuk menampilkan hasil perhitungan penjadwalan produksi dengan algoritma SA adalah dengan cara meng-klik tombol “Jadwal SA” di atas tabel.
- Untuk menampilkan seluruh siklus, *Max. Tardiness* tiap siklus dan urutan *job* tiap siklus adalah dengan cara meng-klik tombol “Siklus, *Tardiness*, Urutan” Job di atas tabel.
- Untuk menghapus seluruh data yang telah diinputkan dan akan memulai menjadwalkan program dengan input data yang baru, maka klik tombol “RESET”. Berikut Gambar 4. yang menjelaskan cara pengisian pada program.



Gambar 4. Hasil Program

3.2.5 Hasil Algoritma SA

Pada tahap ini akan dijelaskan hasil dari perhitungan penjadwalan dengan algoritma SA dengan jadwal aturan EDD sebagai jadwal inisiasinya. Jadwal yang dilakukan algoritma SA adalah jadwal produksi pada periode bulan April – Juni 2014.

Sebelum menuju analisa hasil penjadwalan algoritma SA, terlebih dahulu akan dibahas mengenai penurunan suhu yang terjadi pada algoritma SA dimana penurunan suhu merupakan hal yang sangat penting pada algoritma SA untuk mencapai hasil *global optimum* yang digambarkan oleh Gambar 5.



Gambar 5. Grafik Penurunan Suhu pada Algoritma Simulated Annealing

Gambar 5. menunjukkan pola penurunan suhu pada penjadwalan dengan algoritma SA. Suhu awal adalah 100°, faktor pereduksi suhu *c* sebesar 0,6 dan kriteria pemberhentian adalah ketika $T \leq 0,1$ sehingga menghasilkan 14 siklus penurunan suhu. Berikut ini akan dijelaskan hasil dari penjadwalan algoritma SA pada periode bulan April – Juni 2014.

Tabel 8. Hasil Perhitungan SA dengan MATLAB

	Bulan		
	April 2014	Mei 2014	Juni 2014
Urutan Job Order	2-1-4-3-5-7-6	1-3-2-5-4-8-6-7	2-1-4-6-5-3
Makespan	9.373 menit	9.038 menit	8.390 menit
Max. Tardiness	320 menit	809 menit	0 menit
Keterlambatan	0,67 ≈ 1 hari	1,68 ≈ 2 hari	0

3.3 Pembahasan

Pada sub bab ini dijelaskan mengenai pembahasan hasil dari penjadwalan mulai dari penjadwalan jadwal awal dengan aturan FCFS, penjadwalan dengan aturan EDD dan penjadwalan dengan Algoritma SA. Berikut merupakan perbandingan jadwal antara jadwal awal (FCFS), EDD dan SA.

- Bulan April 2014

Tabel 9. Hasil Perbandingan Bulan April 2014

	Jadwal Awal	EDD	SA
Urutan Job Order	1-2-3-4-5-6-7	2-1-4-3-5-6-7	2-1-4-3-6-5-7
Makespan	9.320	9.373	9.323
Total Earliness	10.458	7.900	8.083
Max. Earliness	3.555	2.897	4.770
Total Tardiness	2.528	530	530
Max. Tardiness	1.530	320	320

Pada Tabel 9. terlihat bahwa ada perbedaan pada tiap hasil jadwal. *Makespan* terendah dimiliki oleh jadwal dengan jadwal awal sebesar 9.320 menit, sedangkan *Makespan* yang terbesar dimiliki oleh jadwal EDD sebesar

9.373 menit . Total *Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 7.900 menit, sedangkan Total *Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 10.458 menit. *Max. Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 2.697 menit, sedangkan *Max. Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal SA sebesar 4.707 menit. Total *Tardiness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD dan algoritma SA sebesar 530 menit, sedangkan Total *Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 2.528 menit. *Max. Tardiness* terkecil dimiliki oleh jadwal EDD dan algoritma SA sebesar 320 menit, sedangkan *Max. Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 1.530 menit.

2. Bulan Mei 2014

Tabel 10. Hasil Perbandingan Bulan Mei 2014

	Jadwal Awal	EDD	SA
Urutan Job Order	1-2-3-4-5-6-7	1-3-5-2-4-8-7-6	1-3-2-5-4-8-6-7
Makespan	9.251	9.315	9.038
Total <i>Earliness</i>	8.034	5.914	6.198
<i>Max. Earliness</i>	2.829	1.725	2.302
Total <i>Tardiness</i>	3.129	1.164	1.019
<i>Max. Tardiness</i>	1.667	809	809

Pada Tabel 10. terlihat bahwa ada perbedaan pada tiap hasil jadwal. *Makespan* terendah dimiliki oleh jadwal algoritma SA sebesar 9.038 menit, sedangkan *Makespan* yang terbesar dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 9.315 menit . Total *Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 5.914 menit, sedangkan Total *Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 8.034 menit. *Max. Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 1.725 menit, sedangkan *Max. Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 2.829 menit. Total *Tardiness* terendah dimiliki oleh jadwal algoritma SA sebesar 1.019 menit, sedangkan Total *Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 3.129 menit. *Max. Tardiness* terkecil dimiliki oleh jadwal algoritma SA sebesar 809 menit, sedangkan *Max. Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 1.667 menit.

3. Bulan Juni 2014

Tabel 11. Hasil Perbandingan Bulan Juni 2014

	Jadwal Awal	EDD	SA
Urutan Job Order	1-2-3-4-5-6	2-1-4-3-6-5	2-1-4-8-5-3
Makespan	7.573	7.536	8.390
Total <i>Earliness</i>	11.800	10.074	11.538
<i>Max. Earliness</i>	4.395	3.984	5.350
Total <i>Tardiness</i>	1.262	0	0
<i>Max. Tardiness</i>	1.139	0	0

Pada Tabel 11. terlihat bahwa ada perbedaan pada tiap hasil jadwal. *Makespan* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 7.536 menit, sedangkan *Makespan* yang terbesar dimiliki oleh jadwal SA sebesar 8.390 menit . Total *Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 10.074 menit, sedangkan Total *Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 11.800 menit. *Max. Earliness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD sebesar 3.984 menit, sedangkan *Max. Earliness* terbesar dimiliki oleh jadwal SA sebesar 5.350 menit. Total *Tardiness* terendah dimiliki oleh jadwal EDD dan algoritma SA sebesar 0 menit, sedangkan Total *Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 1.262 menit. *Max. Tardiness* terkecil dimiliki oleh jadwal EDD dan algoritma SA sebesar 0 menit, sedangkan *Max. Tardiness* terbesar dimiliki oleh jadwal awal sebesar 1.139 menit.

Nilai *Max. Tardiness* jadwal SA pada bulan April dan Juni menghasilkan nilai yang sama dengan *Max. Tardiness* dengan jadwal aturan EDD. Hal tersebut terjadi karena dengan penjadwalan dengan aturan EDD sudah mendapatkan urutan jadwal yang menghasilkan *Max. Tardiness* yang paling minimum. Sedangkan pada bulan Juni *Max. Tardiness* yang dihasilkan jadwal SA lebih kecil dari *Max. Tardiness* yang dihasilkan oleh jadwal dengan aturan EDD.

Untuk mengetahui manfaat dari penjadwalan dengan algoritma SA terhadap jadwal awal maka efisiensi *Max. Tardiness* hasil penjadwalan algoritma SA harus diketahui pada Tabel 12.

Tabel 12. Hasil Efisiensi SA terhadap Jadwal Awal

<i>Max. Tardiness</i>	Bulan		
	April 2014	Mei 2014	Juni 2014
Jadwal SA	320 menit	809 menit	0 menit
Jadwal Awal	1.530 menit	1.667 menit	1.139 menit
Efisiensi	79,1% ≈ 79 %	51,5 % ≈ 52 %	100 %

Setelah dilakukan perhitungan dengan algoritma SA, dilakukan perbandingan hasil antara *Max. Tardiness* algoritma SA dengan *Max. Tardiness* jadwal awal untuk mengetahui seberapa besar efisiensi algoritma SA terhadap jadwal awal. Didapatkan efisiensi algoritma SA terhadap jadwal awal pada bulan April sebesar 79 %, pada bulan Mei sebesar 52 % dan pada bulan Juni sebesar 100 %.

4. Kesimpulan

Berdasarkan analisis dan pembahasan yang telah dilakukan terhadap hasil pengumpulan dan pengolahan data, jadwal hasil algoritma SA dibandingkan dengan jadwal aktual PR. AB. Hasil dari penjadwalan dengan algoritma SA dihasilkan jadwal pada bulan April dengan urutan *job order* produk F16 (Bali 150) – GF16 (Padang 120) – F16 (Bali 250) – GF16 (Medan 186) – F16 (Pekanbaru 150)- GF16 (Aceh 187) – F16 (Padang 145) dengan *Max. Tardiness* sebesar 320 menit. Jadwal pada bulan Mei dengan urutan *job order* F16 (Padang 150) – GF16 (Padang 190) – F16 (Medan 250) - GF16 (Pekanbaru 179) – GF16 (Aceh 148) – F16 (Pekanbaru 110) – F16 (Bali 115) –F16 (Medan 90) dengan *Max. Tardiness* sebesar 809 menit. Sedangkan urutan jadwal *job order* pada bulan Juni adalah GF16 (Medan 155) – F16 (Medan 120) – GF16 (Bali 215) – GF16 (Pekanbaru 120) – F16 (Aceh 110) – F16 (Bali 213) dengan *Max. Tardiness* sebesar 0 menit. Hasil tersebut lebih baik daripada jadwal aktual, hal ini dibuktikan dengan hasil perhitungan efisiensi hasil jadwal algoritma SA terhadap jadwal aktual. Efisiensi pada bulan April sebesar 79 %, pada bulan Mei sebesar 52 % dan pada bulan Juni sebesar 100 %. Hal tersebut menunjukkan bahwa jadwal yang dihasilkan dari algoritma SA lebih baik dari jadwal aktual PR. Adi Bungsu yang menggunakan aturan FCFS dalam fungsinya untuk meminimalkan *Max. Tardiness*.

Daftar Pustaka

- Fogarty, Donald W., John H. Blackstone & Thomas R. Hoffmann, (1991), *Production & Inventory Management*, South-Western Publishing Co., Cincinnati
- Kirpatrick, S, C.D. Gelatt & M.P. Vecchi, (1983), “Optimization by Simulated Annealing”, *Science*, Vol. 220, No. 4598, hlm: 674.
- Pinedo, Michael L, (2008), *Theory, Algorithms and Systems*, 3rd Edition, Springer, New York.
- Santosa, Budi, (2011), *Metoda Metaheuristik Konsep dan Implementasi*, Surabaya, Guna Widya.

Schroeder, Roger, (1993), *Operation Management in the Supply Chain: Decisions and Cases*, Mc Graw Hill/Irwin, New York.

Laarhoven, P. J., (1987), *Simulated Annealing: Theory and Applications*, 1st Edition, Springer, Netherlands.

Busetti, (2007), “A Heuristic Approach to $n \times m$ Flow Shop Scheduling Problem in Which Processing Times Are Associated with Their Respective Probabilities with No-Idle Constraint”, *ISRN Operation Research*, Volume 2007, Article ID 948541, hlm:4.