

**PENJADWALAN *JOBS* UNTUK MEMINIMALKAN *MAKESPAN*  
PADA LINGKUNGAN *JOB SHOP* DENGAN  
METODE ALGORITMA GENETIK  
(Studi Kasus pada CV “Agus Jati”, Klaten, Jawa Tengah)**

**TUGAS AKHIR**

**Diajukan Sebagai Salah Satu Syarat  
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Teknik Industri**



Disusun Oleh:

Nama : Bayu Wijanarko

No. Mahasiswa : 07 522 044

**PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI  
UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA  
YOGYAKARTA**

**2011**

## LEMBAR PENGAKUAN

Demi Allah, saya akui karya ini adalah hasil kerja saya sendiri kecuali nukilan dan ringkasan yang setiap satunya telah saya jelaskan sumbernya. Jika dikemudian hari ternyata terbukti pengakuan ini tidak benar dan melanggar peraturan yang sah dalam karya tulis dan hak intelektual, saya bersedia ijazah yang telah saya terima untuk ditarik kembali oleh Universitas Islam Indonesia.



Yogyakarta, November 2011



Bayu Wijanarko

07 522 044

# “ AGUS JATI ”

Gombang, Sajen, Pedan, Telp./Fax. (0272) 897486

## SURAT KETERANGAN

Yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Bapak Kawit  
Jabatan : Bagian Umum CV Agus Jati

Dengan ini menyatakan dengan sebenarnya bahwa saudara:

Nama : Bayu Wijanarko  
Mahasiswa : UII Yogyakarta  
NIM : 07522044  
Jurusan : Teknik Industri  
Fakultas Teknologi Industri  
Universitas Islam Indonesia

Telah melaksanakan penelitian di CV Agus Jati untuk penyusunan laporan Tugas Akhir dari tanggal 03 Agustus 2011 sampai dengan 17 Agustus 2011 dengan hasil baik.

Demikian surat keterangan ini dibuat untuk dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Sajen, 17 Agustus 2011  
Bagian Umum CV Agus Jati

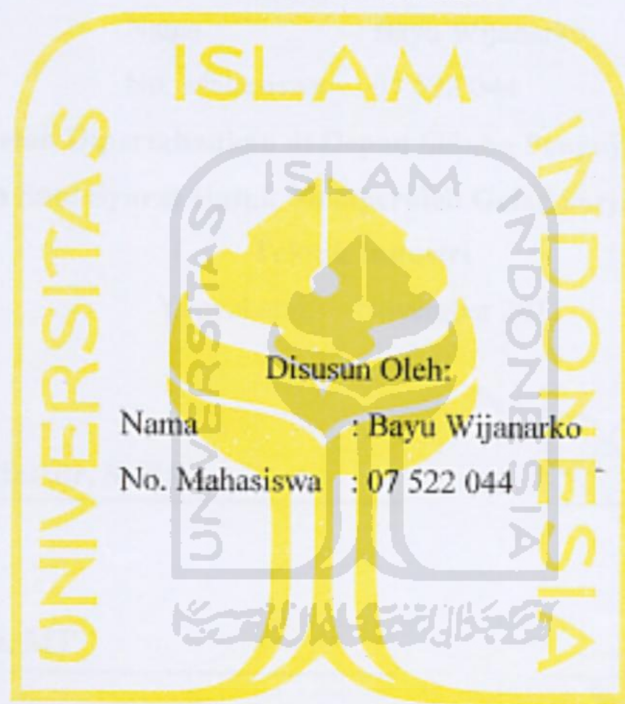


Bapak Kawit

**LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING**

**PENJADWALAN *JOBS* UNTUK MEMINIMALKAN *MAKESPAN*  
PADA LINGKUNGAN *JOB SHOP* DENGAN  
METODE ALGORITMA GENETIK  
(Studi Kasus pada CV “Agus Jati”, Klaten, Jawa Tengah)**

**TUGAS AKHIR**



Disusun Oleh:

Nama : Bayu Wijanarko

No. Mahasiswa : 07 522 044

البرية الإسلامية  
الاستدلال بالافتدو

Yogyakarta, November 2011

Pembimbing,

A handwritten signature in blue ink, appearing to read 'M. Ibnu Mastur', is written over a horizontal line.

Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE

**LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI**

**PENJADWALAN *JOBS* UNTUK MEMINIMALKAN *MAKESPAN*  
PADA LINGKUNGAN *JOB SHOP* DENGAN  
METODE ALGORITMA GENETIK**

**TUGAS AKHIR**

Disusun Oleh:

Nama : Bayu Wijanarko

No. Mahasiswa : 07 522 044

**Telah Dipertahankan di Depan Sidang Penguji Sebagai  
Salah Satu Syarat Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Strata-1  
Teknik Industri  
Yogyakarta, November 2011**

**Tim Penguji**

**Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE**

Ketua

**Ir. Ali Parkhan, MT**

Anggota I

**Yuli Agusti Rochman, ST., M.Eng.**

Anggota II

**Mengetahui,**

Ketua Program Studi Teknik Industri

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

**Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE**

17  
11

2011

## HALAMAN PERSEMBAHAN

*Alhamdulillahirobbilalamin,  
Kupersembahkan karya kecil ini untuk:*

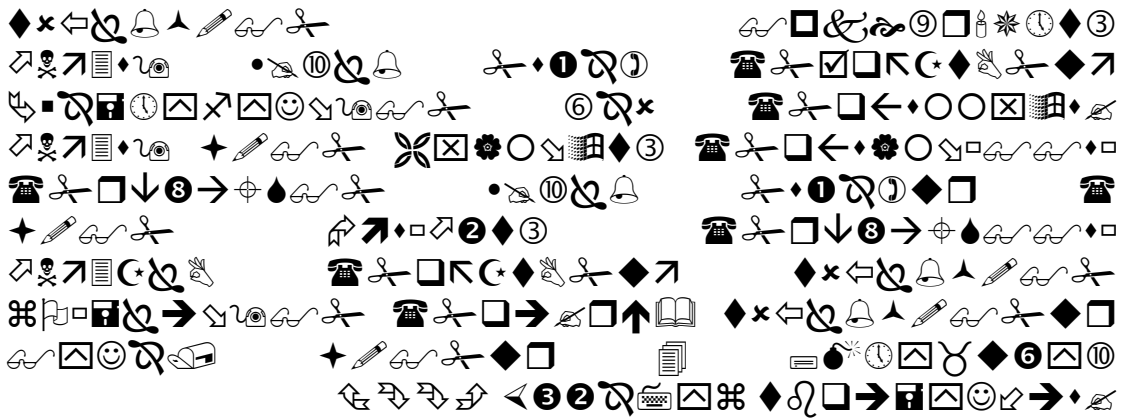
*Orang tua dan keluargaku tercinta.  
Yang selalu memberikan dukungan, semangat, pengorbanan,  
perhatian, kasih sayang, do'a serta nasehatnya selama ini.  
Semoga Allah SWT mencatatnya sebagai amal kebajikan.*

*Sungguh aku mencintai kalian karena Allah SWT.*

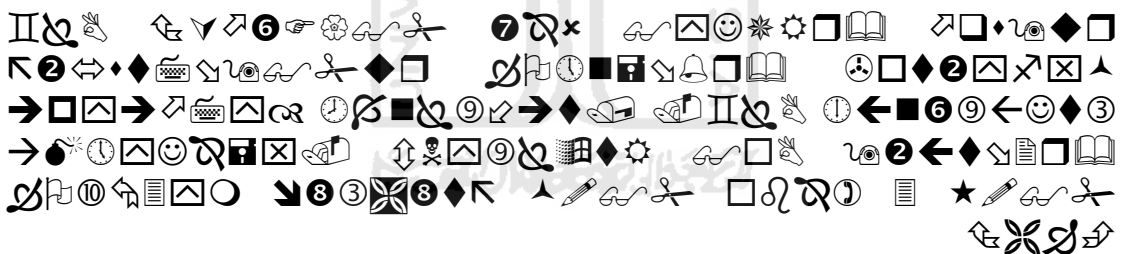
*Jazakumulloh khoiron katsiro.*



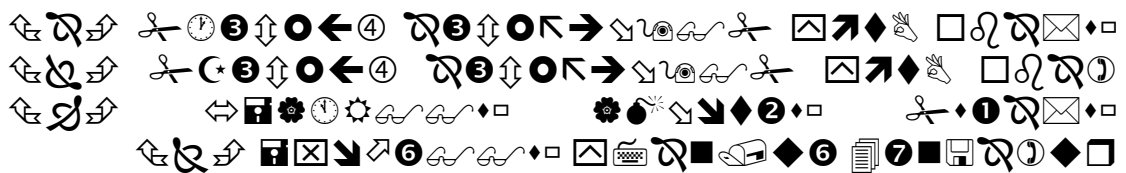
## HALAMAN MOTTO



11. Hai orang-orang beriman apabila kamu dikatakan kepadamu: "Berlapang-lapanglah dalam majlis", Maka lapangkanlah niscaya Allah akan memberi kelapangan untukmu. dan apabila dikatakan: "Berdirilah kamu", Maka berdirilah, niscaya Allah akan meninggikan orang-orang yang beriman di antaramu dan orang-orang yang diberi ilmu pengetahuan beberapa derajat. dan Allah Maha mengetahui apa yang kamu kerjakan (Q.S. Al Mujaadilah : 11).



27. Dan seandainya pohon-pohon di bumi menjadi pena dan laut (menjadi tinta), ditambahkan kepadanya tujuh laut (lagi) sesudah (kering) nya, niscaya tidak akan habis-habisnya (dituliskan) kalimat Allah. Sesungguhnya Allah Maha Perkasa lagi Maha Bijaksana (Q.S. Luqman : 27).



5. Karena Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan, 6. Sesungguhnya sesudah kesulitan itu ada kemudahan. 7. Maka apabila kamu telah selesai (dari sesuatu urusan), kerjakanlah dengan sungguh-sungguh (urusan) yang

lain, 8. Dan hanya kepada Tuhanmulah hendaknya kamu berharap (Q.S. Alam  
Nasyrah : 5-8).





## KATA PENGANTAR



*Assalamu'alaikum Warohmatulloohi Wabarokaatuh*

*Alhamdulillah* dengan segala kerendahan hati, penulis panjatkan puji syukur kehadirat Allah SWT yang telah memberikan limpahan rahmat, hidayah, karunia, kesempatan, dan kemudahan sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan laporan Tugas Akhir ini. Shalawat dan salam semoga selalu tercurahkan kepada junjungan kita, inspirasi akhlak, suri tauladan dan pribadi mulia yaitu Nabi Muhammad SAW, beserta keluarga, sahabat dan semua umatnya yang senantiasa berpegang teguh mengikuti tuntunannya.

Laporan Tugas Akhir yang berjudul **“Penjadwalan Jobs Untuk Meminimalkan Makespan Pada Lingkungan Job Shop Dengan Metode Algoritma Genetik”** ini disusun sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Strata-1 Teknik Industri dan juga sebagai sarana untuk menyalurkan ilmu dan teori yang telah diperoleh selama menjalani masa studi di bangku kuliah untuk dipraktekkan secara langsung di lapangan.

Dalam kesempatan ini, penulis menyampaikan banyak terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penulis selama ini khususnya dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini, diantaranya kepada :

1. Bapak Ir. Gumbolo Hadi Susanto, M.Sc selaku Dekan Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
2. Bapak Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE selaku Ketua Program Studi Teknik Industri, Fakultas Teknologi Industri, Universitas Islam Indonesia.
3. Bapak Drs. M. Ibnu Mastur, MSIE selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan banyak dukungan, pengetahuan, serta bimbingannya dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.
4. Bapak Sugiharto dan Bapak Kawit serta segenap karyawan CV Agus Jati yang telah banyak membantu dalam penyusunan laporan Tugas Akhir ini.

5. Bapak Ibu, kedua orang tua dan anggota keluargaku tercinta yang selalu memberikan dukungan, semangat, pengorbanan, perhatian, kasih sayang, do'a serta nasehat yang tak ada habisnya selama ini.
6. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu persatu, yang telah memberikan banyak bantuan hingga terselesaikannya laporan Tugas Akhir ini.

Semoga segala amal ibadah dan kebaikan yang telah diberikan kepada penulis diridhoi Allah SWT serta mendapatkan balasan yang setimpal dari Allah SWT. Aamiin.

Penulis menyadari sepenuhnya bahwa laporan Tugas Akhir ini masih jauh dari kesempurnaan dan masih memiliki banyak kekurangan. Oleh karena itu penulis sangat mengharapkan kritik dan saran yang membangun demi hasil yang lebih baik di masa yang akan datang. Akhirnya, penulis berharap semoga laporan Tugas Akhir ini bermanfaat bagi kita semua. Aamiin.

*Wassalamu'alaikum Warohmatulloohi Wabarokaatuh*

Yogyakarta, November 2011

Penulis,

Bayu Wijanarko  
(07 522 044)

## DAFTAR ISI

	Halaman
HALAMAN JUDUL .....	i
LEMBAR PENGAKUAN .....	ii
SURAT KETERANGAN DARI PERUSAHAAN .....	iii
LEMBAR PENGESAHAN PEMBIMBING .....	iv
LEMBAR PENGESAHAN PENGUJI .....	v
HALAMAN PERSEMBAHAN .....	vi
HALAMAN MOTTO .....	vii
KATA PENGANTAR .....	viii
DAFTAR ISI .....	x
DAFTAR GAMBAR .....	xv
DAFTAR TABEL .....	xvi
ABSTRAKSI .....	xvii
 <b>BAB I PENDAHULUAN</b>	
1.1 Latar Belakang .....	1
1.2 Rumusan Masalah .....	4
1.3 Batasan Masalah .....	4
1.4 Tujuan Penelitian .....	5
1.5 Manfaat Penelitian .....	6
1.6 Sistematika Penulisan .....	6

## BAB II KAJIAN PUSTAKA

2.1 Sistem Manufaktur .....	7
2.2 Penjadwalan Produksi .....	9
2.2.1 Definisi dan Konsep Dasar Penjadwalan .....	9
2.2.2 Tujuan Penjadwalan .....	10
2.2.3 Model Penjadwalan .....	11
2.2.4 Teknik Penjadwalan .....	15
2.2.5 Kriteria Penjadwalan .....	15
2.2.6 Kriteria Performansi Penjadwalan .....	18
2.2.7 <i>Input</i> Penjadwalan .....	19
2.2.8 <i>Output</i> Penjadwalan .....	20
2.3 Urutan Pekerjaan ( <i>Job Sequencing</i> ) .....	20
2.4 Penjadwalan <i>Job Shop</i> .....	22
2.4.1 Tujuan Perencanaan <i>Job Shop</i> .....	22
2.4.2 Karakteristik <i>Job Shop</i> .....	22
2.4.3 Masalah Dalam Penjadwalan <i>Job Shop</i> .....	23
2.5 Algoritma Genetik ( <i>Genetic Algorithm</i> ) .....	24
2.5.1 Inisialisasi Populasi Awal .....	26
2.5.2 Representasi Individu dan Kromosom .....	26
2.5.3 Evaluasi <i>Fitness</i> .....	27
2.5.4 Seleksi .....	28
2.5.5 <i>Crossover</i> .....	29
2.5.6 Mutasi .....	31
2.5.7 <i>Replacement</i> .....	32
2.5.8 <i>Termination</i> .....	32

2.6 Penjadwalan pada <i>Flow Shop</i> dengan Algoritma Genetika .....	33
2.7 Uji Kecukupan Data dan Keseragaman Data .....	34
2.7.1 Uji Kecukupan Data .....	34
2.7.2 Uji Keseragaman Data .....	35

### **BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

3.1 Obyek Penelitian .....	37
3.2 Metode Pengumpulan Data .....	38
3.2.1 Teknik Pengumpulan Data .....	38
3.2.2 Jenis Data Yang Diperlukan .....	38
3.3 Metode Pengolahan Data .....	39
3.3.1 Uji Kecukupan Data .....	39
3.3.2 Uji Keseragaman Data .....	40
3.3.3 Penjadwalan <i>Job</i> .....	41
3.4 Analisis Data .....	43
3.5 Kesimpulan dan Saran .....	43
3.6 Diagram Alir Penelitian .....	43

### **BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

4.1 Pengumpulan Data .....	45
4.1.1 Data Permintaan .....	46
4.1.2 Data Struktur Produk ( <i>Bill of Material</i> ) .....	47
4.1.3 Mesin Yang Digunakan Dalam Proses Produksi .....	48
4.1.4 Waktu Proses Setiap <i>Job</i> di Setiap Mesin .....	48
4.1.5 <i>Operation Process Chart</i> (OPC) .....	49

4.1.6 <i>Routing</i> Pengerjaan <i>Job</i> .....	49
4.2 Pengolahan Data .....	50
4.2.1 Uji Kecukupan dan Keseragaman Data .....	50
4.2.2 Perhitungan Kondisi Riil Perusahaan (FCFS) .....	51
4.2.3 Penjadwalan dengan Metode SPT .....	53
4.2.4 Penjadwalan dengan Algoritma Genetika (AG) .....	54
1. Inisialisasi Populasi Awal .....	54
2. Penentuan Model Fungsi Evaluasi .....	58
3. Seleksi Individu Induk ( <i>Parents Selection</i> ) .....	59
4. Persilangan ( <i>Crossover</i> ) .....	62
5. Mutasi .....	66
6. <i>Replacement</i> dan <i>Termination</i> .....	69

## **BAB V PEMBAHASAN**

5.1 Analisa Hasil Uji Kecukupan dan Keseragaman Data .....	76
5.1.1 Uji Kecukupan Data .....	76
5.1.2 Uji Keseragaman Data .....	77
5.2 Analisa Penjadwalan Mesin .....	77
5.2.1 Penjadwalan <i>Job</i> Keadaan Awal (FCFS) .....	77
5.2.2 Penjadwalan <i>Job</i> dengan Metode SPT .....	80
5.2.3 Analisa Optimasi Penjadwalan Produksi dengan AG .....	82
5.3 Perbandingan Metode terhadap Nilai Obyektif .....	84

**BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

6.1 Kesimpulan ..... 86

6.2 Saran ..... 86

**DAFTAR PUSTAKA** ..... 87

**LAMPIRAN** .....



## DAFTAR GAMBAR

	Halaman
Gambar 2.1 Ilustrasi Lingkungan <i>General Flow Shop</i> .....	13
Gambar 2.2 Ilustrasi Lingkungan <i>Job Shop</i> .....	13
Gambar 2.3 Ilustrasi dari Kromosom, Individu, Populasi .....	27
Gambar 2.4 Siklus Algoritma Genetika .....	32
Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian .....	44
Gambar 4.1 <i>Routing</i> Pengerjaan <i>Job</i> .....	50
Gambar 4.2 Grafik Performansi Nilai <i>Fitness</i> Setiap Generasi .....	73
Gambar 5.1 <i>Gantt Chart</i> Penjadwalan dengan Metode FCFS .....	78
Gambar 5.2 <i>Gantt Chart</i> Penjadwalan dengan Metode SPT .....	81
Gambar 4.5 <i>Gantt Chart</i> Penjadwalan dengan Metode Algoritma Genetika..	83



## DAFTAR TABEL

	Halaman
Tabel 2.1 Kromosom A dan Hasil Mutasi .....	31
Tabel 4.1 Struktur Produk <i>Coffe Table</i> .....	47
Tabel 4.2 Mesin Produksi .....	48
Tabel 4.3 Data Waktu Proses Setiap <i>Job</i> Di Setiap Mesin .....	49
Tabel 4.4 Uji Kecukupan dan Keseragaman Data .....	50
Tabel 4.5 Perhitungan <i>Makespan</i> dengan Metode FCFS .....	51
Tabel 4.6 Perhitungan <i>Makespan</i> dengan Metode SPT .....	53
Tabel 4.7 Inisialisasi Populasi Awal .....	56
Tabel 4.8 Contoh Perhitungan <i>Makespan</i> Individu V1.....	58
Tabel 4.9 <i>Fitness</i> Relatif dan <i>Fitness</i> Kumulatif .....	61
Tabel 4.10 Pembangkitan Bilangan <i>Random</i> Untuk <i>Crossover</i> .....	63
Tabel 4.11 Individu Hasil Persilangan .....	65
Tabel 4.12 Pembangkitan Bilangan <i>Random</i> Untuk Mutasi .....	66
Tabel 4.13 Individu Hasil Mutasi .....	68
Tabel 4.14 Individu Terbaik Generasi Pertama .....	70
Tabel 4.15 Hasil <i>Fitness</i> Terbaik Setiap Generasi .....	72
Tabel 4.16 Perhitungan <i>Makespan</i> Individu Terbaik .....	74
Tabel 5.1 <i>Makespan</i> Beberapa Metode .....	85

## ABSTRAKSI

*Penjadwalan produksi merupakan salah satu hal yang vital dalam sebuah perusahaan manufaktur. CV Agus Jati merupakan sebuah perusahaan yang memproduksi mebel (furniture manufacture) yang bertipe make to order atau berproduksi jika ada pesanan dari pelanggan. Perusahaan ini memproduksi produk yang memiliki variasi tinggi sehingga dalam penyusunan jadwal produksi, perusahaan mengalami kesulitan dalam menentukan prioritas pengerjaan sehingga order tidak selesai sesuai target penyelesaian. Selama ini, CV Agus Jati melakukan penjadwalan produksinya dengan berdasarkan metode First Come First Serve (FCFS) dan intuisi dari staff yang bertugas. Hal ini berakibat tidak optimalnya penggunaan mesin sehingga menambah biaya produksi.*

*Penelitian ini bertujuan untuk memberikan alternatif solusi terhadap permasalahan penjadwalan di CV Agus Jati sehingga dapat mengurangi waktu penyelesaian order (makespan) dengan cara mengoptimalkan penggunaan mesin. Obyek penelitian ini yaitu penjadwalan pada sistem produksi job shop tetapi pada salah satu jenis mesin (radial) memiliki jumlah mesin lebih dari satu (yaitu 3) yang identik dan disusun secara paralel. Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah Algoritma Genetika (AG). Kombinasi parameter yang digunakan dalam AG ini yaitu  $N_{pop} = 20$ ;  $MaxGen = 20$ ;  $P_c = 0,9$ ;  $P_m = 0,2$ . Selain itu juga dilakukan perhitungan dengan metode penjadwalan konvensional yaitu metode FCFS dan metode SPT.*

*Dari hasil perhitungan dan analisa diperoleh bahwa metode Algoritma Genetika lebih baik dibandingkan dengan metode perusahaan (FCFS) maupun terhadap metode SPT. Metode Algoritma Genetika mampu menurunkan nilai makespan dari 207 menit pada keadaan awal menjadi 190 menit setelah dilakukan optimasi.*

**Kata kunci :** penjadwalan, makespan, job shop, Algoritma Genetika

# BAB I

## PENDAHULUAN

### 1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, konsumen menginginkan produk yang semakin murah, kualitas yang tinggi, serta waktu penyampaian yang semakin cepat. Salah satu faktor yang berpengaruh terhadap semua aspek tersebut adalah perencanaan produksi. Perencanaan produksi merupakan bagian dari sistem produksi yang bertujuan untuk meningkatkan pelayanan kepada pelanggan, meminimalkan investasi pada persediaan, dan meningkatkan efisiensi dalam penggunaan sumber daya. Beberapa kegiatan tersebut meliputi perencanaan dan pengendalian produksi, persediaan, kapasitas, gudang, pergerakan material, dan penjadwalan produksi.

Dalam konteks manufaktur, penjadwalan produksi pada hakikatnya berusaha menentukan kapan dan dengan urutan yang bagaimana operasi-operasi diproses di mesin-mesin sehingga tujuan penjadwalan tertentu dapat dicapai sebaik-baiknya. Salah satu tujuan aktivitas penjadwalan yang didefinisikan oleh Bedworth (1987) adalah meningkatkan penggunaan sumber daya dengan mengurangi waktu tunggu, sehingga total waktu proses (*makespan*) dapat berkurang dan produktivitas dapat ditingkatkan.

CV Agus Jati merupakan perusahaan manufaktur yang memproduksi mebel dengan strategi respon terhadap permintaan pembeli yang digunakan adalah *make to order*, sedangkan sistem produksi yang digunakan adalah sistem produksi *job shop*.

Penjadwalan *job shop* untuk industri mebel adalah suatu penjadwalan yang menggunakan banyak mesin yang fleksibel disertai banyak operasi yang menyertainya. Penjadwalan *order* di CV Agus Jati selama ini menggunakan metode pengurutan FCFS (*First Come First Serve*) dan intuisi dari *staff* pembagi *order*. Dengan model penjadwalan seperti itu sering tidak menguntungkan bagi *order* yang membutuhkan waktu proses yang pendek karena apabila *order* tersebut berada dibelakang antrian akan mengakibatkan waktu menganggur yang lama sebelum diproses dilantai pabrik. Permasalahan yang dihadapi di perusahaan ini adalah adanya penggunaan mesin yang tidak optimum, sebagai akibat dari penjadwalan yang belum optimum yang menyebabkan banyak *job* maupun mesin yang menganggur. Hal ini mengakibatkan kapasitas produksi mesin pada tahap-tahap sebelumnya tidak digunakan secara optimum sehingga waktu menunggu mesin dalam proses produksi membesar dan memperpanjang total waktu proses produksi mesin (*makespan*). Apabila tidak segera dibenahi, maka akan meningkatkan biaya produksi atau dengan kata lain akan menurunkan keuntungan perusahaan.

Permasalahan-permasalahan penjadwalan dapat diselesaikan dengan melakukan perhitungan manual (Morton dan Pentico, 1993), simulasi dengan *software* (Harrell dkk, 2003; Kelton dkk, 2009; dan Banks dkk, 2010), program matematis (Hejazi dan Saghafian, 2005; Pitrasari dkk, 2009), ataupun dengan metode heuristik (Hejazi dan Saghafian, 2005; Vallada dan Ruiz, 2010; Nagano dan Moccellin, 2002; dan Nagano dkk, 2008).

Pada sistem *job shop*, pekerjaan-pekerjaan yang diproses biasanya memiliki rute dan waktu pemrosesan yang berbeda-beda satu sama lain. Akibat dari rute proses dari tiap *job* yang berbeda, maka kemungkinan untuk menghasilkan penjadwalan yang *feasible* dan hasilnya optimal sangatlah sulit dan membutuhkan waktu komputasi yang

relatif lama. Oleh karena itu banyak dikembangkan metode-metode heuristik, dimana metode ini dapat menghasilkan penjadwalan yang *feasible* dengan waktu komputasi yang relatif tidak lama, namun hasilnya belum tentu optimal. Salah satu metode heuristik yang aplikatif untuk menyelesaikan permasalahan adalah dengan *Genetics Algorithm* (GA). GA sudah terbukti unggul untuk menyelesaikan permasalahan-permasalahan kombinatorial seperti pada aplikasi pada model pendukung keputusan finansial (Lam dkk, 2009), pada permasalahan penjadwalan *Sailor Assignment Problem* (Garrett dkk, 2005), ataupun pada permasalahan penjadwalan *Fuzzy Job Shop* (Fayad dan Petrovic, 2005).

Berdasarkan pada permasalahan di atas maka perusahaan sangat membutuhkan suatu metode penjadwalan dengan kriteria minimasi *makespan* yang sangat diperlukan untuk mengoptimalkan penggunaan mesin sehingga waktu menunggu mesin dalam proses produksi dapat dikurangi.

## 1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang di atas, maka dapat dirumuskan permasalahan yaitu

1. Berapakah *makespan* yang dihasilkan oleh metode perusahaan, metode SPT dan Algoritma Genetika pada permasalahan penjadwalan dalam penelitian ini?
2. Bagaimana urutan *jobs* yang tepat untuk meminimalkan *makespan* pada permasalahan penjadwalan dalam penelitian ini?

## 1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian ini dapat lebih terarah, mudah dipahami, serta topik yang dibahas tidak meluas, maka perlu dibuat pembatasan lingkup penelitian. Batasan-batasan masalah yang digunakan dalam penulisan penelitian ini yaitu:

1. Penjadwalan dilakukan pada sistem produksi yang bersifat *job shop* berdasarkan *job order* yaitu produk yang sedang diproduksi saat penelitian dilakukan yaitu produk *Coffe Table* sebanyak 10 buah di CV Agus Jati.
2. Dalam penelitian ini, yang menjadi obyek penelitian adalah waktu proses masing-masing operasi, susunan mesin, jumlah mesin, *routing* proses suatu *job*.
3. Mesin yang digunakan dianggap berjalan dalam keadaan normal dan tidak terjadi kerusakan pada saat mesin beroperasi (*breakdown*).
4. Setiap *job* harus diselesaikan sebelum *job* yang lain dikerjakan dimesin yang sama dan satu mesin hanya mampu memproses satu *job* pada satu waktu tertentu.
5. Seluruh *job* yang akan dikerjakan dalam sebuah mesin tersedia diawal, sehingga tidak ada keterlambatan kedatangan *job*.
6. Seluruh *job* yang akan dikerjakan tidak dibatasi dengan waktu jatuh tempo (*due date*), tetapi perusahaan berusaha mengirimkan produk kepada pelanggan secepatnya.
7. Penelitian ini tidak memperhitungkan unsur biaya, hanya ditinjau dari segi pengurutan *job* yang akan dikerjakan pada setiap proses yang ada.
8. Operator dianggap mampu mengoperasikan mesin sesuai rencana dan kemampuannya dianggap merata.
9. Waktu *setup* termasuk didalam waktu proses dan *travel time* dianggap = 0.

#### **1.4 Tujuan Penelitian**

Tujuan penelitian ini adalah untuk mendapatkan jawaban atas permasalahan yang dikemukakan, yaitu

1. Untuk mengetahui *makespan* yang dihasilkan oleh metode perusahaan, metode SPT dan Algoritma Genetika dalam penelitian ini

2. Untuk mengetahui urutan *jobs* yang tepat untuk meminimalkan *makespan* pada lingkungan *job shop* dengan metode Algoritma Genetika pada permasalahan penjadwalan dalam penelitian ini.

### **1.5 Manfaat Penelitian**

Adapun manfaat yang dapat diperoleh dari hasil penelitian ini diantaranya:

1. Pengembangan khasanah ilmu pengetahuan khususnya pada ruang lingkup sistem produksi dan optimalisasi.
2. Memberikan alternatif penjadwalan produksi yang optimal. Dengan adanya penjadwalan produksi yang baik, perusahaan dapat mengirimkan produk tepat waktu sesuai kesepakatan awal dengan konsumen sehingga kepuasan konsumen dapat terpenuhi yang pada akhirnya dapat meningkatkan keuntungan perusahaan.

### **1.6 Sistematika Penulisan**

Secara garis besar, penelitian ini akan disusun menjadi 6 (enam) bab dengan sistematika sebagai berikut:

#### **BAB I PENDAHULUAN**

Memuat kajian singkat mengenai latar belakang penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian dan sistematika penulisan.

#### **BAB II KAJIAN PUSTAKA**

Bab ini mencakup tinjauan pustaka yang berisi teori-teori pendukung yang digunakan sebagai landasan dan pemecahan masalah. Bab ini juga memuat informasi hasil-hasil penelitian terdahulu yang berhubungan dengan penelitian yang dilakukan.

**BAB III METODOLOGI PENELITIAN**

Mengandung uraian tentang obyek penelitian, pembangunan dan pengembangan model, analisis model, perancangan penelitian dan tahap-tahap penelitian, teknik yang dilakukan, bahan dan alat yang digunakan, tata cara penelitian dan data yang akan dikaji serta analisis yang akan digunakan.

**BAB IV PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Berisi tentang cara pengambilan data, data yang diperoleh selama penelitian dan bagaimana menganalisa data tersebut. Hasil pengolahan data dapat ditampilkan dalam bentuk tabel maupun grafik.

**BAB V PEMBAHASAN**

Berisi informasi tentang pembahasan atau diskusi hasil penelitian, kesesuaian dengan latar belakang masalah, rumusan serta tujuan penelitian yang mengarahkan kepada kesimpulan dari hasil penelitian.

**BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN**

Berisi tentang kesimpulan terhadap analisa yang dibuat dan rekomendasi atau saran-saran atas hasil yang dicapai dan permasalahan yang ditemukan selama penelitian sehingga perlu dilakukan rekomendasi untuk kajian pada penelitian selanjutnya.



## BAB II

### KAJIAN PUSTAKA

#### 2.1 Sistem Manufaktur

Sistem manufaktur didefinisikan sebagai sistem yang melakukan proses transformasi atau konversi bahan mentah menjadi produk jadi sesuai dengan desain produk. Desain produk bisa didasarkan kepada keinginan konsumen ataupun dari pihak produsen. Dalam proses transformasi ini terjadi penambahan nilai yang lebih tinggi dibandingkan dengan nilai bahan mentah. Saat ini *manufakturing* diartikan secara lebih luas dari *production*. *Manufakturing* adalah konversi suatu desain menjadi produk akhir, sedangkan *production* adalah aktifitas fisik dalam pembuatan suatu produk.

Dalam sistem manufaktur terdapat kegiatan-kegiatan yang terkait satu sama lain dalam upaya pemrosesan suatu produk. Kegiatan-kegiatan tersebut diantaranya:

1. Perancangan produk
2. Perancangan/penjadwalan proses produksi
3. Pemilihan material
4. Fabrikasi dan perakitan
5. Pengendalian kualitas
6. Manajemen produksi
7. Pemasaran

Sistem manufaktur dapat dibagi berdasarkan bentuk produksi atau sistem produksinya (Fogarty *et. al.*, 1991), yaitu:

1. *Flow Shop*

Sistem produksi *flow shop* menyusun stasiun-stasiun kerja (*work station*) dalam urutan-urutan operasi pembuatan produk sehingga kadang-kadang disebut *product flow*, karena produk mengalir mengikuti langkah-langkah sekuensial yang sama dalam proses produksi. Sistem produksi ini dibagi lagi menjadi:

1) *Continuous Flow Shop*

Sistem produksi ini biasanya digunakan untuk memproduksi atau memproses material cair, bahan kimia cair dan pengilangan minyak.

2) *Dedicated Repetitive Flow*

Sistem produksi ini memproduksi satu jenis produk tertentu secara terus menerus. Namun masih diijinkan adanya variasi produk, seperti variasi warna yang tidak memerlukan pemuluran waktu *set-up* di bagian *assembly* atau proses manufakturnya.

3) *Mixed Model Repetitive Flow*

Sistem produksi ini digunakan untuk memproduksi dua atau beberapa model produk sekaligus. Namun demikian waktu *set-up* untuk berubah dari satu produk ke produk yang lainnya hampir tidak ada. Karena terjadi untuk beberapa proses produk sekaligus, maka peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang relatif umum dan pekerja yang digunakan mampu mengerjakan beberapa jenis tugas atau pekerjaan.

4) *Batch Flow*

Sistem manufaktur ini pada dasarnya sama dengan model *continuous repetitive flow*, hanya saja pada sistem manufaktur ini dua atau lebih produk diproses

sekaligus, *set-up* mempunyai pengaruh yang cukup besar untuk perubahan dari satu produk ke produk lainnya sehingga perlu ditentukan ukuran *batch* produksi yang menghasilkan waktu proses per unit yang minimum.

## 2. *Job Shop*

Urutan proses yang dialami setiap produk di setiap stasiun kerja berbeda-beda. Oleh karena itu peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang umum. Peralatan disusun berdasarkan proses produksi yang dilakukan sehingga proses produksi ini sering dikenal mempunyai tata letak berdasarkan proses (*process layout*).

## 3. *Fixed Site*

Sistem produksi ini mempunyai karakteristik membawa material, peralatan-peralatan dan personal dibawa ke lokasi tempat produk akan diproduksi karena ukuran produk yang dihasilkan sangat besar.

## 2.2 Penjadwalan Produksi

### 2.2.1 Definisi dan Konsep Dasar Penjadwalan

Ada beberapa definisi penjadwalan yang telah digunakan secara luas, antara lain (1) penjadwalan didefinisikan sebagai rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber daya baik waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan; (2) penjadwalan juga dapat didefinisikan sebagai suatu proses pengalokasian sumber daya untuk melaksanakan aktivitas-aktivitas dari sekumpulan pekerjaan, selama kurun waktu (Baker, 1974); (3) penjadwalan didefinisikan sebagai suatu proses pengurutan secara menyeluruh pada beberapa mesin. Dalam konteks ini, pengurutan diartikan sebagai suatu proses membuat urutan produk pada suatu mesin (Conway *et al.*, 1967).

Penjadwalan produksi merupakan salah satu bagian yang cukup penting dalam suatu proses produksi di suatu industri. Persoalan penjadwalan produksi pada dasarnya adalah pengalokasian sumber daya untuk menyelesaikan sekumpulan pekerjaan agar memenuhi kriteria tertentu. Kriteria tersebut dapat berupa waktu penyelesaian pekerjaan yang minimal, penggunaan sumber daya yang maksimal, meminimasi total biaya yang ditimbulkan dan kriteria-kriteria lainnya. Dengan kata lain bahwa penjadwalan merupakan sebuah fungsi pengambilan keputusan, yaitu dalam menentukan jadwal yang paling baik (Baker, 1974). Ada tiga aspek penting yang akan menentukan pemenuhan kriteria tersebut, yaitu penentuan ukuran *lot* produksi, penentuan urutan pekerjaan dan penentuan kapasitas produksi yang diperlukan (Tagawa, 1996).

### 2.2.2 Tujuan Penjadwalan

Dalam penyusunan perencanaan produksi diperlukan adanya pengaturan dan penjadwalan yang tepat. Beberapa tujuan dari pengaturan dan penjadwalan tersebut adalah sebagai berikut (Gasperz, 1998):

1. Meningkatkan utilitas dari sumber daya yang dimiliki, yaitu penggunaan sumber-sumber secara efektif untuk mengurangi waktu menganggur.
2. Respon yang cepat terhadap permintaan
3. Mengurangi keterlambatan, yaitu berusaha menepati batas waktu yang telah ditetapkan dalam penyelesaian pekerjaan.
4. Mengurangi persediaan barang setengah jadi, yaitu mengurangi rata-rata jumlah tugas yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin terlalu sibuk.
5. Meningkatkan produktivitas mesin, yaitu penyesuaian tugas yang diterima terhadap karakteristik sumber daya yang dimiliki.

### 2.2.3 Model Penjadwalan

Proses penjadwalan timbul jika terdapat keterbatasan sumber daya yang dimiliki sehingga diperlukan adanya pengaturan sumber-sumber daya tersebut secara efisien. Berbagai model penjadwalan telah dikembangkan untuk mengatasi persoalan penjadwalan tersebut. Sistem penjadwalan dipengaruhi oleh situasi tertentu.

Secara umum, penjadwalan produksi dapat dibedakan menjadi dua jenis yaitu: penjadwalan per *job* dan penjadwalan per *batch*. Berdasarkan tahapan proses produksinya penjadwalan per *job* dibedakan menjadi dua yaitu *single stage* dan *multiple stage*. Berdasarkan jumlah mesin yang digunakan dalam proses produksi, penjadwalan *single stage* dibedakan menjadi dua jenis yaitu *single machine* dan *parallel machine* (Pinedo, 2002).

Berdasarkan waktu kedatangan *job*, penjadwalan *job shop* dapat dikelompokkan sebagai *static job shop scheduling* dan *dynamic job shop scheduling*. Pada *static job shop scheduling*, semua *job* diterima pada saat yang sama. Pada *dynamic job shop scheduling*, waktu kedatangan *job* bervariasi tetapi sudah diketahui sebelumnya (*deterministic*) atau waktu kedatangan *job* bervariasi dan tidak dapat diketahui sebelumnya (*non deterministic/stochastic*) (Lin, 1997).

Menurut Baker (1974), model penjadwalan dapat dibedakan menjadi 4 jenis keadaan, yaitu:

1. Berdasarkan mesin yang digunakan

Persoalan penjadwalan dilihat dari faktor jumlah mesin yang digunakan dalam proses produksi dibagi menjadi:

- a. Penjadwalan pada mesin tunggal (*single machine*)

Yaitu penjadwalan dimana fasilitas produksi yang digunakan hanya terdiri dari satu mesin dan semua pekerjaan harus diproses pada mesin ini, sedangkan jika

ada pekerjaan yang lebih dari satu maka permasalahan dalam penjadwalan ini adalah penentuan prioritas pekerjaan mana yang didahulukan.

b. Penjadwalan pada mesin ganda

Merupakan penjadwalan yang terdiri dari dua mesin dan semua pekerjaan harus melewati dua jenis mesin yang berbeda.

c. Penjadwalan pada banyak mesin (*multi machine*)

Pada penjadwalan ini juga harus memperhitungkan aturan *dispatching* yang akan dipakai pada mesin yang heterogen, juga mempertimbangkan aturan *routing* yang dipakai untuk menunjukkan arah proses mesin yang digunakan.

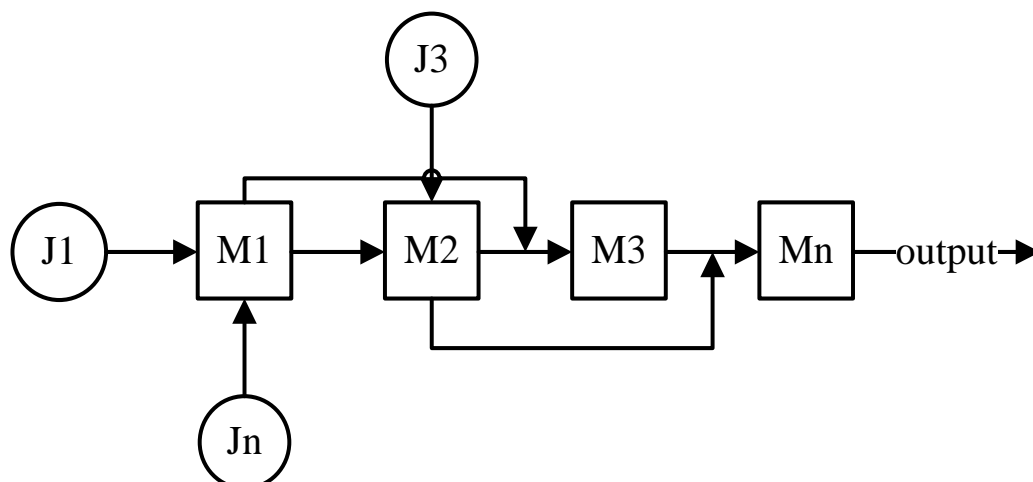
Susunan mesin yang digunakan bisa berupa susunan seri maupun paralel.

Mesin-mesin paralel didefinisikan bahwa semua mesin yang ada mempunyai konfigurasi/bentuk dan fitur yang sama/serupa.

2. Berdasarkan pola aliran prosesnya

a. *Flow Shop*

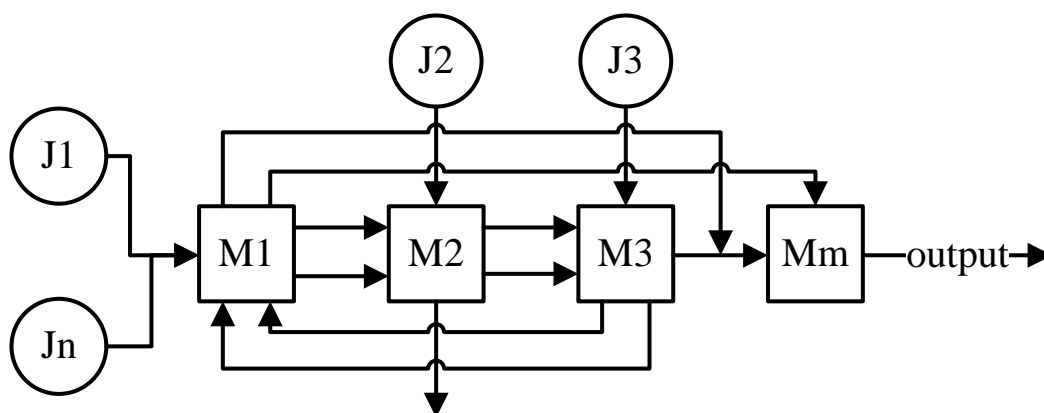
Sistem produksi *flow shop* menyusun stasiun-stasiun kerja (*work station*) dalam urutan-urutan operasi pembuatan produk sehingga kadang-kadang disebut *product flow*, karena produk mengalir mengikuti langkah-langkah sekuensial yang sama dalam proses produksi. *Flow shop* terbagi lagi menjadi *pure flow shop* dan *general flow shop*. Pada *pure flow shop*, berbagai pekerjaan akan mengalir pada lini produksi yang sama dan tidak dimungkinkan adanya variasi. Pada *general flow shop* dimungkinkan adanya variasi antara pekerjaan yang satu dengan yang lain atau pekerjaan yang datang tidak harus dikerjakan di semua mesin.



Gambar 2.1 Ilustrasi Lingkungan *General Flow Shop*

b. *Job Shop*

Pada *job shop*, setiap pekerjaan memiliki pola aliran kerja yang berbeda. Aliran proses yang tidak searah ini mengakibatkan pekerjaan yang dikerjakan di suatu mesin dapat berupa pekerjaan baru atau pekerjaan yang sedang dikerjakan (*work in process*) atau pekerjaan yang akan menjadi produk jadi (*finished goods*) telah diproses di mesin tersebut. Oleh karena itu peralatan yang digunakan mempunyai fungsi yang umum. Peralatan disusun berdasarkan proses produksi yang dilakukan sehingga proses produksi ini sering dikenal mempunyai tata letak berdasarkan proses (*process layout*).



Gambar 2.2 Ilustrasi Lingkungan *Job Shop*

3. Berdasarkan sifat informasi

a. Penjadwalan Deterministik

Yaitu penjadwalan dimana informasi dapat diketahui dengan pasti.

b. Penjadwalan Stokastik

Yaitu penjadwalan dimana informasi tidak dapat diketahui dengan tidak pasti. Informasi yang dimaksud disini antara lain berupa waktu kedatangan bahan baku, saat siap (*ready time*), jumlah pekerjaan, batas waktu penyelesaian produk (*due date*), bobot kepentingan masing-masing pekerjaan, jumlah operasi, susunan mesin (*routing*), waktu proses, waktu *set-up*, jumlah mesin, kapasitas mesin, kemampuan dan kecocokan tiap mesin terhadap tugas yang diberikan dan lain-lain.

4. Berdasarkan pola kedatangan pekerjaan

Dilihat dari sifat kedatangan pekerjaan yang akan diproduksi atau diproses dalam penjadwalan dapat digolongkan menjadi dua kelompok yaitu:

a. Statis

Yaitu apabila sejumlah  $n$  pekerjaan datang secara serentak (bersamaan pada waktu nol) dan siap dikerjakan oleh mesin-mesin yang tidak bekerja atau dengan kata lain kedatangan pekerjaan bisa tidak bersamaan tetapi saat kedatangan telah diketahui sejak waktu nol.

b. Dinamis

Yaitu apabila sejumlah  $n$  pekerjaan mempunyai sifat kedatangan pekerjaan yang tidak menentu, artinya terdapat variabel waktu sebagai faktor yang berpengaruh.



### 2.2.4 Teknik Penjadwalan

Pada dasarnya terdapat dua metode atau teknik penjadwalan (Gasperz, 1998), yaitu meliputi:

#### 1. Penjadwalan Mundur

Penjadwalan mundur (*backward scheduling*) merupakan penjadwalan dimana waktu akan dihitung mulai dari waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan pekerjaan yang ditetapkan dengan MRP (*Material Requirement Planning*), kemudian dihitung secara mundur untuk mengetahui waktu yang tepat mengeluarkan pesanan. Penjadwalan ini meliputi waktu *set up* mesin, dan *allowance* pada saat perpindahan ke mesin selanjutnya.

#### 2. Penjadwalan Maju

Penjadwalan maju (*forward scheduling*) dimulai dari *start date* pada operasi pertama, kemudian menghitung *schedule date* ke depan (*forward*) untuk setiap operasi (sampai operasi terakhir) guna menentukan *completion time*.

### 2.2.5 Kriteria Penjadwalan

Terdapat beberapa istilah umum yang biasa digunakan dalam penjadwalan produksi untuk mengevaluasi hasil penjadwalan (Bedworth, 1987), yaitu:

#### 1. *Processing time* (waktu proses)

Merupakan waktu proses yang diperlukan untuk menyelesaikan dari suatu pekerjaan ke-*j*. Simbol yang digunakan yaitu  $t_j$ .

#### 2. *Makespan*

Merupakan waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan semua pekerjaan (*job*) yang ada di *shop*, yang terdiri dari waktu *set-up* antar *job* ( $s_{(j-1),j}$ ) dan waktu

proses per *job* ( $t_j$ ). *Makespan* disimbolkan dengan  $M$ . Untuk  $n$  buah *job* diperoleh *makespan* :

$$M = \sum_{j=1}^{n+1} S_{(j-1),(j)} + \sum_{j=1}^n t_j \dots\dots\dots (2.1)$$

3. *Ready time*

Merupakan waktu pekerjaan ke- $j$  siap untuk dikerjakan. Disimbolkan dengan  $r_j$ .

4. *Waiting time* (waktu tunggu)

Merupakan waktu tunggu untuk pekerjaan ke- $j$  setelah pekerjaan sebelumnya selesai. Disimbolkan dengan  $W_j$ .

5. *Flow time* (waktu alir)

Merupakan selang waktu sejak pekerjaan ke- $j$  siap untuk diproses sampai pekerjaan selesai dikerjakan. Dalam *flow time* termasuk didalamnya adalah waktu menganggur. Jadi *flow time* sama dengan *processing time* dijumlahkan dengan waktu ketika tugas menunggu sebelum diproses. Disimbolkan dengan  $F_j$ .

$$F_j = t_j + W_j \dots\dots\dots (2.2)$$

6. *Mean flow time* (rata-rata waktu alir)

Merupakan rata-rata waktu yang dihabiskan oleh setiap *job* di lantai pabrik. Disimbolkan dengan  $\bar{F}$ .

$$\bar{F} = \frac{1}{n} \sum_{j=1}^n F_j \dots\dots\dots (2.3)$$

7. *Completion time* (waktu penyelesaian)

Merupakan rentang waktu antara saat pekerjaan dimulai ( $t=0$ ) sampai dengan pekerjaan itu selesai dilaksanakan. Disimbolkan dengan  $C_j$ .

$$C_j = F_j + r_j \text{ atau } F_j = C_j - r_j \dots\dots\dots (2.4)$$

$$C_j = W_j + r_j + \sum_{j=1}^n t_j \dots\dots\dots (2.5)$$

8. *Due date* (batas waktu)

Merupakan batas akhir dari suatu pekerjaan ke- $j$  yang harus diselesaikan. Kelebihan waktu dari waktu yang telah ditetapkan merupakan suatu kelambatan. Batas waktu ini disimbolkan dengan  $d_j$ .

9. *Lateness* (kelambatan)

Merupakan penyimpangan antara *completion time* dengan *due date* suatu pekerjaan. Suatu pekerjaan akan mempunyai nilai *lateness* positif (*tardiness*) apabila pekerjaan tersebut selesai setelah *due date* dan akan bernilai negatif (*earliness*) bila selesai sebelum *due date*. Ukuran ini disimbolkan dengan  $L_j$ .

$$L_j = |C_j - d_j| \quad \dots\dots\dots (2.6)$$

10. *Tardiness*

Merupakan pengukuran dari *lateness* yang positif. Jika pekerjaan mempunyai *lateness* positif maka *tardiness*-nya bernilai nol, tetapi jika nilai *lateness*-nya negatif maka *tardiness*-nya sama dengan nilai *lateness*-nya. *Tardiness* disimbolkan dengan  $T_j$ .

$$T_j = C_j - d_j \text{ untuk } C_j > d_j \quad \dots\dots\dots (2.7)$$

11. *Earliness*

Merupakan waktu selesai pekerjaan  $i$  sebelum target. Dilambangkan dengan  $E_j$ .

$$E_j = C_j - d_j \text{ untuk } C_j < d_j \quad \dots\dots\dots (2.8)$$

12. *Slack time* (kelonggaran)

*Slack time* didefinisikan sebagai selisih antara batas waktu penyelesaian pekerjaan dengan waktu proses pekerjaan (*processing time*) tersebut. *Slack time* menggambarkan kelonggaran yang dimiliki oleh pekerjaan yang bersangkutan. *Slack time* disimbolkan dengan  $S_j$ .

$$S_j = d_j - t_j \quad \dots\dots\dots (2.9)$$

### 13. *Heuristic*

Prosedur penyelesaian suatu masalah yang ditunjukkan untuk memproduksi hasil yang baik tetapi tidak menjamin hasil yang optimal.

#### 2.2.6 Kriteria Performansi Penjadwalan

Sehubungan dengan masalah penjadwalan ada beberapa tujuan (sasaran) utama yang ingin dicapai, yaitu:

1. *Due Date*, yaitu ingin menghindari keterlambatan penyelesaian pekerjaan yang merupakan upaya untuk memaksimalkan layanan kepada konsumen (*customer service*).
2. *Flow Time*, yaitu ingin meminimasi waktu pekerjaan berada dalam sistem. Sasaran ini berkaitan dengan upaya meminimasi persediaan (*work in process*).
3. Utilisasi sumber daya, yaitu ingin memanfaatkan sepenuhnya kapasitas peralatan dan sumber daya manusia yang mahal sehingga jumlah sumber daya (mesin) yang menganggur dapat diminimalkan.
4. *Makespan*, yaitu total waktu proses yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu kumpulan pekerjaan. Meminimasi *makespan* yaitu mencari utilisasi yang tinggi dari peralatan dan sumber daya dengan cara menyelesaikan seluruh pekerjaan secepatnya.
5. Jumlah *lateness*. Minimasi *lateness* dimaksudkan untuk memperkecil biaya persediaan barang jadi dan biaya pinalti. Kriteria keberhasilan pelaksanaan penjadwalan dilandasi keinginan untuk memuaskan konsumen dan efisiensi biaya *internal* perusahaan.

### 2.2.7 Input Penjadwalan

Pekerjaan-pekerjaan yang berupa alokasi kapasitas untuk order-order, penugasan prioritas *job*, dan pengendalian jadwal produksi membutuhkan informasi terperinci, dimana informasi-informasi tersebut akan menyatakan *input* dari sistem penjadwalan.

Pada bagian ini, ditentukan kebutuhan-kebutuhan kapasitas dari order-order yang dijadwalkan dalam hal macam dan jumlah sumber daya yang digunakan. Untuk produk-produk tertentu, informasi ini bisa diperoleh dari lembar kerja operasi (berisi keterampilan dan peralatan yang dibutuhkan, waktu standar dll) dan *Bill of Material* (BOM) yang berisi kebutuhan-kebutuhan akan komponen, sub komponen serta bahan pendukung. Kualitas dari keputusan-keputusan penjadwalan sangat dipengaruhi oleh ketepatan estimasi *input-input* di atas. Oleh karena itu, pemeliharaan catatan terbaru tentang status tenaga kerja dan peralatan yang tersedia, dan perubahan kebutuhan kapasitas yang diakibatkan perubahan desain produk ataupun proses yang menjadi hal yang sangat penting untuk diperhatikan.

Suatu cara dimana komponen-komponen itu bergabung ke dalam suatu produk selama proses manufaktur disebut dengan *Bill of Material* (BOM) (Gaspersz, 1998). Sedangkan Elsayed *et al.* (1994) mendefinisikannya sebagai daftar komponen utama, *part* yang akan dibeli dan yang akan dirakit yang dibutuhkan untuk memproduksi barang jadi. Dalam proses manufaktur, komponen-komponen akan saling bergabung membentuk *sub assembly* yang akan membentuk produk jadi. BOM mempunyai peranan penting dalam proses penjadwalan, yaitu pada proses pengendalian persediaan terutama ketersediaan komponen penyusun suatu barang produksi.

### 2.2.8 Output Penjadwalan

Untuk memastikan bahwa suatu aliran kerja yang lancar akan melalui tahapan produksi, maka sistem penjadwalan harus membentuk aktivitas-aktivitas *output* sebagai berikut:

1. Pembebanan (*loading*)

Pembebanan melibatkan penyesuaian kebutuhan kapasitas untuk *order-order* yang diterima/diperkirakan dengan kapasitas yang tersedia. Pembebanan dilakukan dengan menugaskan *order-order* pada fasilitas-fasilitas, operator-operator, dan peralatan tertentu.

2. Pengurutan (*sequencing*)

Pengurutan merupakan penugasan tentang *order-order* mana yang diprioritaskan untuk diproses terlebih dahulu bila suatu fasilitas harus memproses banyak *job*.

3. Prioritas *job* (*dispatching*)

*Dispatching* merupakan prioritas kerja tentang *job-job* mana yang diseleksi dan diprioritaskan untuk diproses.

4. Pengendalian kinerja penjadwalan

Pengendalian kinerja penjadwalan dilakukan dengan:

- a. Meninjau kembali status *order-order* pada saat melalui sistem tertentu.
- b. Mengatur kembali urutan-urutan, misalnya *expediting order-order* yang jauh di belakang atau mempunyai prioritas utama.

### 2.3 Urutan Pekerjaan (*Job Sequencing*)

Beberapa metode yang biasa digunakan untuk menetapkan prioritas urutan pekerjaan antara lain (Narashiman *et al.*, 1995) :

1. *Short Processing Time* (SPT)

Pada metode ini, pesanan-pesanan yang memiliki waktu proses terpendek memiliki prioritas lebih tinggi untuk dikerjakan terlebih dahulu. Tujuannya adalah untuk meminimumkan rata-rata waktu proses dan rata-rata waktu keterlambatan.

2. *First Come First Serve* (FCFS)

Pada metode ini, pekerjaan yang pertama datang ke pusat kerja diproses terlebih dahulu. Metode ini seyogyanya digunakan hanya apabila waktu kerja yang tersisa untuk *competing order* relatif sama. Metode ini cocok untuk *flow process* karena mempunyai *work remaining* yang serupa.

3. *Earliest Due Date* (EDD)

Pekerjaan yang memiliki due date paling awal dipilih pertama kali. Aturan EDD akan meminimumkan *maximum lateness* dan *maximum tardiness* pada sebuah mesin tetapi tidak menjamin tugas-tugas tersebut dapat diselesaikan tepat waktu.

4. *Longest Processing Time* (LPT)

Pada metode ini, pesanan-pesanan yang memiliki waktu proses terpanjang memiliki prioritas lebih tinggi untuk dikerjakan terlebih dahulu.

5. *Least Slack Time* (LST)

Aturan *slack time* terkecil ini digunakan untuk mengurangi *tardiness* pada  $m$  mesin paralel. *Slack time* tugas  $j$  didefinisikan sebagai waktu tersisa antara waktu proses tugas  $i$  dengan *due date*-nya. Jika penjadwalan dimulai pada saat  $t=0,0$  dan *due date* dinyatakan sebagai unit-unit waktu, maka *slack time* adalah *due date* dikurangi dengan waktu proses.

6. *Random Selection* (RS)

Yaitu pekerjaan yang diproses terlebih dahulu yang urutannya dipilih secara acak.

## 2.4 Penjadwalan *Job Shop*

Masalah penjadwalan *job shop* merupakan persoalan pengurutan sejumlah operasi yang diproses pada mesin-mesin tertentu (Dimiyati, 1999). Masalah penjadwalan *job shop* adalah bagaimana menyusun semua operasi dari semua *job* pada tiap mesin dalam rangka meminimasi fungsi obyektif. Fungsi obyektif yang dimaksud dapat berupa waktu pengerjaan total, rata-rata waktu pengerjaan, rata-rata waktu keterlambatan penyelesaian *job*, atau lainnya (Husbands, 2000).

### 2.4.1 Tujuan Perencanaan *Job Shop*

Beberapa tujuan dari perencanaan *job shop*, yaitu sebagai berikut:

1. Memproduksi *prototype* suatu produk baru.
2. Membuat produk dalam jumlah kecil untuk menguji permintaan pasar.
3. Memproduksi produk dalam jumlah kecil.
4. Memelihara kualitas yang diinginkan sesuai dengan spesifikasi.
5. Memberi kesempatan tenaga kerja memproduksi berbagai produk. Spesialisasi tenaga kerja adalah efisien, tetapi dalam hal tertentu tidak efisien karena kejenuhan tenaga kerja.

### 2.4.2 Karakteristik *Job Shop*

Beberapa karakteristik dalam proses *job shop* adalah sebagai berikut:

- a. Peralatan penanganan material dan peralatan produksi multi guna dapat diatur dan dimodifikasi untuk menangani berbagai produk yang berbeda dan beragam.
- b. Produk-produk diproses dalam *lot-lot* atau *batch*.
- c. Pemrosesan *order* membutuhkan pengendalian dan perencanaan yang terperinci sehubungan dengan variasi pola-pola aliran dan pemisahan stasiun kerja.



- d. Pengendalian membutuhkan informasi tentang *job* dan *shop floor* yang terperinci meliputi urutan proses, prioritas *order*, waktu yang dibutuhkan oleh setiap *job*, kapasitas stasiun kerja dan lain-lain.
- e. Beban-beban pada setiap stasiun kerja berbeda, masing-masing memiliki prosentase utilitas yang berbeda-beda.
- f. Ketersediaan sumber-sumber meliputi: bahan baku, tenaga kerja dan peralatan harus dikoordinasikan melalui perencanaan pemesanan (*order planning*).
- g. Sejumlah produk setengah jadi (*work in process*) cenderung meningkat. Hal ini dapat menyebabkan antrian proses dan produk *work in process* yang panjang,
- h. Waktu terbesar produksi adalah waktu menunggu material untuk diproses pada mesin tertentu.
- i. Para pekerja langsung biasanya memiliki skill lebih tinggi dan lebih terlatih daripada para pekerja untuk operasi *flow shop*.

#### 2.4.3 Masalah Dalam Penjadwalan *Job Shop*

Masalah dalam penjadwalan *job shop* yaitu sebagai berikut:

1. *Job Shop Loading*

Yaitu memutuskan pusat-pusat kerja yang mana suatu *job* harus ditugaskan dengan menggunakan *Gantt Chart* dan Metode Penugasan. Sebagai alat bantu yang digunakan dalam menyelesaikan masalah penjadwalan dikenal satu model yang sederhana dan umum digunakan secara luas yakni peta *Gantt Chart*. *Gantt Chart* merupakan grafik hubungan antara alokasi sumber daya (pada sumbu vertikal) dengan waktu (sumbu horizontal). *Loading* dengan *Gantt Chart* merupakan cara yang paling sederhana, paling tua dan paling banyak digunakan untuk bermacam-macam aktivitas penjadwalan. Meskipun sederhana dan

tervisualisasikan, *Gantt Chart* sangat lemah dalam mengevaluasi rencana-rencana alternatif untuk *loading*. Pengguna harus memakai cara *trial error* dalam improvisasi jadwal. Bila jumlah *job* meningkat, proses ini menjadi cukup sulit dan tidak layak. *Loading* dengan metode penugasan merupakan cara pembebanan pekerja-pekerja untuk *job-job* yang tersedia dengan tujuan meminimasi total waktu kerja atau total biaya kerja.

## 2. *Job Shop Sequencing*

Sekali beberapa *job* telah ditugaskan (*loading*) pada pusat kerja tertentu, maka langkah berikutnya adalah menentukan urutan-urutan memprosesnya. Pemrosesan order merupakan hal yang penting karena mempengaruhi lamanya suatu *job* akan diproses dalam sistem. Lamanya *job* dalam proses ini akan mempengaruhi batas waktu janji pengiriman kepada konsumen. Pemilihan prioritas *sequencing* mempertimbangkan efisiensi penggunaan fasilitas dengan kriteria antara lain: biaya *set-up*, biaya persediaan *work in process*, waktu menganggur stasiun kerja, persentase waktu menganggur, rata-rata jumlah *job* yang menunggu dan sebagainya. Beberapa aturan umum *sequencing* yang umum yaitu *Short Processing Time*, *First Come First Serve*, *Earliest Due Date*, *Longest Processing Time*, *Least Slack Time* dll.

## 2.5 Algoritma Genetik (*Genetic Algorithm*)

Salah satu metode penyelesaian permasalahan *np-hard* yang cukup efektif adalah metode algoritma heuristik (*Heuristic Algorithm*), yaitu suatu jenis algoritma yang termasuk ke dalam jenis algoritma sub-optimal. Meskipun algoritma heuristik termasuk ke dalam jenis algoritma sub-optimal yang tidak dapat menjamin tercapainya suatu solusi yang optimal (*best solution*), namun algoritma heuristik akan

dapat secara efektif mengatasi permasalahan *combinatorial optimization* yang cukup sulit dan berskala besar dengan cara mencari *good solution* yang dapat memuaskan semua kriteria dengan waktu komputasi yang relatif kecil. Salah satu metode algoritma heuristik yang cukup populer adalah *neighborhood search methods*, dimana didalamnya terdapat tiga macam metode, yaitu : *Genetic Algorithm*, *Simulated Annealing* dan *Tabu Search*.

Algoritma Genetika (AG) adalah algoritma heuristik adaptif yang memiliki dasar pemikiran atau gagasan evolusioner untuk proses seleksi alami dan genetika. Pelopor pertama penggunaan metode algoritma genetika adalah John Holland pada tahun 60-an. Algoritma genetika menggunakan analogi seleksi alam yang bekerja dari suatu populasi yang terdiri dari berbagai individu (*gen*), yang masing-masing individu mempresentasikan suatu solusi yang mungkin muncul dari persoalan yang dihadapi. Dalam hal ini, individu yang terpilih dilambangkan dengan sebuah nilai *kesesuaian* yang digunakan untuk mencari solusi terbaik dari persoalan yang ada.

Kemampuan individu yang tinggi memiliki kesempatan untuk dapat melakukan reproduksi melalui kawin silang (*crossover*) dengan individu yang lain pada populasi yang sama. Individu baru yang terbentuk atau dihasilkan membawa sifat-sifat dari induknya. Sedangkan individu didalam populasi yang telah melalui proses seleksi namun tidak terpilih akan mati dengan sendirinya. Beberapa generasi baru yang terbentuk dan memiliki ketahanan hidup yang kuat akan bermunculan didalam populasi tersebut, yang kemudian dari proses seleksi, kawin silang, dan mutasi yang berkelanjutan menghasilkan generasi dengan kemampuan bertahan hidup yang bagus.

Algoritma ini berbeda dari algoritma tradisional pada beberapa hal (Goldberg, 1989) yaitu:

1. AG berkeja dalam bentuk kode sekumpulan parameter, bukan parameter itu sendiri.
2. AG mencari solusi dari sekumpulan populasi, bukan dari satu titik solusi.
3. AG langsung menggunakan informasi berupa fungsi tujuan dan bukan turunannya.
4. AG menggunakan aturan probabilitas, bukan aturan deterministik.

Penerapan metode Algoritma Genetika melibatkan delapan langkah utama (Chairul Saleh, 2002) :

- a. Inisialisasi populasi
- b. Representasi individu dan kromosom
- c. Evaluasi *fitness*
- d. Seleksi
- e. *Crossover*
- f. Mutasi
- g. *Replacement*
- h. *Termination*



### 2.5.1 Inisialisasi Populasi Awal

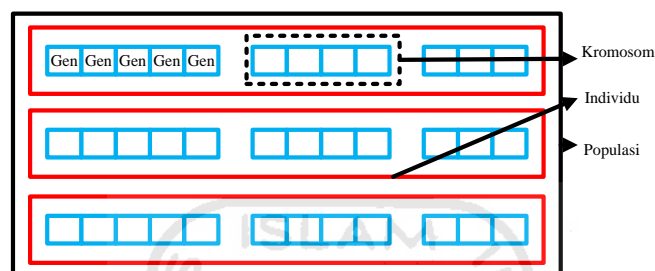
Ada dua cara untuk menentukan inisialisasi populasi awal, yaitu secara *random* dan secara *heuristic* (Gen dan Cheng, 2000). Dalam penelitian ini inisialisasi populasi dibangkitkan secara *random*.

### 2.5.2 Representasi Individu dan Kromosom

Representasi memberikan pengaruh yang kuat terhadap performansi Algoritma Genetika. Representasi individu bergantung pada masalah yang akan diselesaikan.

Tipe pengkodean yang umumnya dipakai antara lain *binary encoding*, *permutation encoding*, dan *value encoding* (Koza, 2001).

Individu menyatakan salah satu solusi yang mungkin. Setiap individu merupakan kumpulan kromosom sedangkan kromosom merupakan kumpulan dari gen. Sedangkan populasi merupakan kumpulan dari beberapa individu. Pada gambar 2.3 diilustrasikan perbedaan istilah-istilah tersebut.



Gambar 2.3 Ilustrasi dari Kromosom, Individu, Populasi

Pada penjadwalan ini akan dipergunakan *permutation encoding*. Individu dalam penelitian ini merupakan permutasi *job sequencing* yang dikerjakan mesin dari mesin-1 sampai mesin-6. Setiap individu terdiri dari 6 kromosom. Di dalam kromosom terdiri dari beberapa gen yang menunjukkan urutan *job* yang dibebankan pada mesin tersebut. Sebagai contoh, misalkan ada 2 mesin dan jumlah *job* yang melalui mesin satu yaitu *job* 1, 2, 3 dan *job* yang melalui mesin 2 yaitu *job* 2, *job* 3 maka representasi yaitu (1-2-3)-(2-3)

### 2.5.3 Evaluasi *Fitness*

Fungsi *fitness* digunakan untuk mengevaluasi individu dalam populasi. *Fitness* adalah sebuah perhitungan nilai yang harus dimaksimalkan, diminimalkan atau disesuaikan dengan nilai terdekat paling mungkin yang diberikan. Pada penjadwalan, waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan semua pekerjaan yang ada di *shop (makespan)* harus diminimalkan. Pada penelitian ini, *fitness (obyektif)* yang

dicari yaitu *makespan*. Obyektif *makespan* adalah total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* yang ada atau dapat juga dikatakan sebagai waktu saat selesainya *job* terakhir. Obyektif *makespan* ini dapat dinyatakan dengan persamaan matematis seperti pada persamaan 2.14 :

$$\text{Makespan} = \max [C_1, C_2, \dots, C_{12}] \dots\dots\dots (2.10)$$

Individu yang mempunyai nilai fungsi *fitness* terkecil adalah individu terbaik yang akan mendekati optimal. Tujuan penjadwalan pada penelitian adalah minimasi fungsi *fitness*  $F$  supaya didapatkan nilai *makespan* yang minimal. Dengan nilai *makespan* yang kecil maka diharapkan akan mengurangi keterlambatan dalam penyelesaian pembuatan produk.

#### 2.5.4 Seleksi

Prosedur seleksi pada intinya mengarahkan pencarian pada Algoritma Genetik ke daerah yang lebih menjanjikan pada ruang pencarian. Terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan dalam fase seleksi, meliputi ruang *sampling*, mekanisme *sampling* dan peluang *sampling* (Gen and Cheng, 2000). Ada dua metode seleksi, yaitu proporsional dan ranking. Dalam penelitian ini akan digunakan metode proporsional yang sering disebut sebagai seleksi Roda *Roulette*. Metode Roda *Roulette* bertujuan untuk memilih individu-individu yang akan dilakukan proses persilangan (Saputro, 2003). Langkah-langkah dalam proses seleksi dengan menggunakan metode Roda *Roulette* yaitu:

- 1) Hitung nilai *fitness* setiap individu ( $F_i$ ) pada populasi awal:

$$F_i = M_i = \text{makespan dari seluruh job yang dijadwalkan} \dots\dots\dots (2.11)$$

- 2) Hitung total nilai *fitness* satu populasi/generasi (TF):

$$TF = \sum_{i=1}^{\text{pop\_size}} F_i \dots\dots\dots (2.12)$$

3) Hitung *fitness* relatif setiap individu ( $P_i$ )

$$P_i = \frac{F_i}{TF} \dots\dots\dots (2.13)$$

4) Hitung *fitness* kumulatif setiap individu ( $Q_i$ )

$$Q_0 = 0 \text{ dan } Q_1 = P_1$$

$$Q_i = Q_{i-1} + P_i \dots\dots\dots (2.14)$$

5) Pilih induk yang akan menjadi kandidat untuk disilangkan dengan cara:

- a. Bangkitkan bilangan *random*  $R_i$  sebanyak *pop\_size*
- b. Jika  $Q_i \leq R_i$  dan  $Q_{i+1} > R_i$ , maka pilih individu ke  $(i+1)$  sebagai kandidat induk yang terseleksi.

Dengan:

$F_i$  = *makespan* dari seluruh *job* = nilai *fitness* (obyektif) dari setiap individu  $i$

$TF$  = jumlah total nilai *fitness* pada satu populasi/generasi

$P_i$  = nilai *fitness* relatif individu  $i$

$Q_i$  = nilai *fitness* kumulatif individu  $i$

$i$  = indeks individu ( $i = 1, 2, \dots, pop\_size$ )

$R_i$  = bilangan *random* untuk individu  $i$

*pop\_size* = jumlah individu pada satu generasi/populasi

### 2.5.5 Crossover

*Crossover* digunakan untuk membentuk dua individu baru yang disebut dengan *child* (*offspring*). Dua individu baru tersebut dibentuk oleh dua individu induk dalam populasi melalui proses seleksi sebelumnya. Dalam proses persilangan, perlu ditentukan probabilitas persilangan (*Crossover Probability*) yang menunjukkan kemungkinan *crossover* terjadi antara 2 individu dan disimbolkan dengan  $P_c$ . Jika

tidak terjadi *crossover*, maka keturunannya akan sama persis dengan individu orangtua, tetapi tidak berarti generasi yang baru akan sama persis dengan generasi yang lama. Jika probabilitas *crossover* 100% maka semua keturunannya dihasilkan dari *crossover*. *Crossover* dilakukan dengan harapan bahwa individu yang baru akan lebih baik. Disarankan probabilitas *crossover* berkisar 80%-95%.

Salah satu teknik persilangan yaitu *Precedence Preservative Crossover* (PPX) (Bierwirth dan Mattfield 1999). Pada PPX, bilangan acak dibangkitkan antara 0 sampai nilai probabilitas persilangan sebanyak jumlah populasi. Bilangan *random* yang bernilai lebih kecil dari nilai probabilitas persilangan akan disilangkan. Pada PPX, individu baru disusun secara acak dari *gen* individu-individu yang akan disilangkan. Proses persilangan hanya dilakukan pada kromosom yang pertama dari individu sedangkan susunan *gen* pada kromosom berikutnya mengikuti hasil persilangan tersebut hanya dikurangi *job* yang memang tidak ditugaskan ke mesin tersebut. Angka acak 1 atau 2 sebanyak *gen* pada kromosom pertama dipakai untuk memilih induk. Jika 1 diturunkan *gen* paling kiri dari kromosom pertama induk pertama, jika 2 diturunkan *gen* paling kiri dari kromosom pertama induk kedua. Selanjutnya *gen* yang terpilih tadi dihapus dari kedua kromosom induk. Proses dilakukan sampai karakter di kedua kromosom pertama dari individu induk habis. Sebagai contoh 2 induk :

(6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(3-2-5-1-4-7-8-9)-(12-2-1)-(3-1-7-8-9) dan (1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-39-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8), dan angka acak 1-1-1-2-2-1-2-1-2-2-1-1 maka, akan menghasilkan individu baru (6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(3-2-1-5-7-9-4-8)-(2-1-12)-(3-1-7-9-8).



### 2.5.6 Mutasi

Mutasi adalah sebuah proses dari perubahan *gen* dalam kondisi *random* untuk membentuk *gen* baru dalam kelompok *gen*. Dalam Algoritma Genetika, mutasi memberikan aturan untuk menempatkan kembali *gen* yang hilang dari populasi selama proses seleksi sehingga dapat memberikan *gen* yang tidak ada pada populasi sebelumnya. Mutasi digunakan untuk mencegah generasi premature dalam operasi *crossover*.

Pada proses mutasi, diperlukan adanya probabilitas mutasi ( $P_c$ ). Probabilitas Mutasi (*Mutation Probability*) menunjukkan kemungkinan mutasi terjadi pada *gen-gen* yang menyusun sebuah individu. Jika tidak terjadi mutasi maka keturunan yang dihasilkan setelah *crossover* tidak berubah. Jika terjadi mutasi bagian individu akan berubah. Jika probabilitas 100%, semua individu dimutasi. Jika probabilitasnya 0%, tidak ada yang mengalami mutasi. Probabilitas mutasi kecil berkisar 0.5%-1%.

Salah satu operator mutasi bernilai real yaitu *swap mutation* (Manderick, 1991). Pada *swap mutation*, dibangkitkan bilangan 2 bilangan *random* antara 1 sampai dengan banyak *gen* dalam kromosom pertama. Kemudian posisi *gen* ditukar sesuai dengan bilangan *random* yang dihasilkan. Tabel 2.1 menunjukkan proses mutasi pada *gen* ketiga dan ketujuh.

Tabel 2.1 Kromosom A dan Hasil Mutasi

A	Job 7	Job 6	Job 4	Job 5	Job 3	Job 2	Job 1
---	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

Hasil	Job 7	Job 6	Job 1	Job 5	Job 3	Job 2	Job 4
-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------	-------

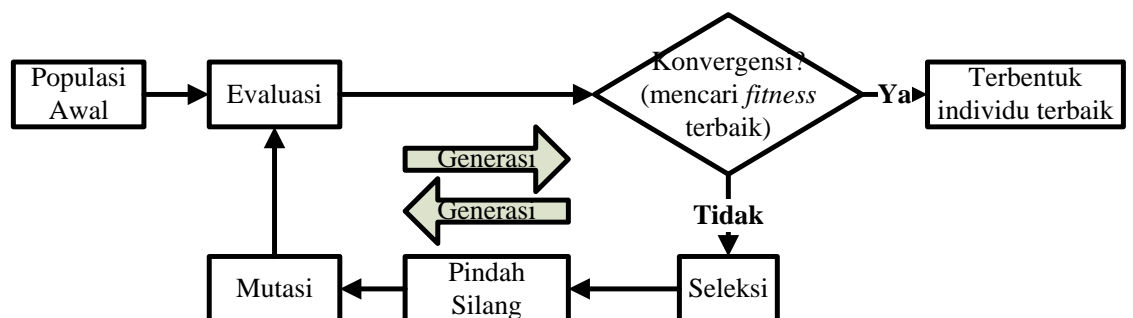
### 2.5.7 Replacement

Berdasarkan pada pendekatan pembentukan generasi, semua populasi ditempatkan kembali dalam masing-masing generasi (Goldberg, 1989). Dalam penelitian ini menggunakan generator Algoritma Genetika. Dalam generator ini, jumlah dari  $n$  populasi terbaik dalam generasi terakhir akan digunakan untuk menempatkan kembali populasi yang terburuk dari generasi sebelumnya. Metode *elitism* membuat sejumlah individu terbaik tiap generasi akan otomatis diturunkan ke generasi berikutnya (Koza, 2001).

### 2.5.8 Termination

*Crossover*, mutasi, seleksi dan penempatan kembali dilakukan secara berulang dengan hasil bahwa tujuan yang ditentukan telah tercapai. Jumlah generasi (jumlah iterasi digunakan sebagai batas akhir proses seleksi, persilangan dan mutasi. Jumlah generasi besar berarti semakin banyak iterasi yang dilakukan, dan semakin besar domain solusi yang akan dieksplorasi tetapi Algoritma Genetik akan berjalan lambat. Penelitian menunjukkan ukuran populasi besar tidak mempercepat proses pencarian solusi. Disarankan ukuran populasi berkisar antara 20-30.

Jika diilustrasikan, maka proses Algoritma Genetika yang dilakukan dapat terlihat seperti di bawah ini :



Gambar 2.4 Siklus Algoritma Genetika

## 2.6 Penjadwalan pada *Job Shop* dengan Algoritma Genetika

Pemodelan penjadwalan yang dimaksud adalah proses penyusunan jadwal dari individu (prosedur usulan). Langkah penugasan *job* ke dalam mesin yang diusulkan (prosedur heuristik) dilakukan dengan cara:

1. Ambil salah satu individu dari populasi
2. Saat pertama kali, buat jadwal dengan cara pilih *job* dari kromosom pertama untuk dikerjakan pada mesin pertama sesuai dengan urutan yang ada sampai semua *job* habis.
3. Ambil kromosom berikutnya (kedua) dan masukkan *job* dalam kromosom tersebut ke dalam jadwal sesuai dengan urutan dengan memperhatikan waktu selesai *job* yang sama di mesin sebelumnya.
4. Lakukan langkah 3 di atas sampai semua kromosom dalam 1 individu sudah ditugaskan ke mesin-mesin yang ada.

Secara rinci, langkah-langkah penjadwalan dengan Algoritma Genetika berdasar prosedur heuristik yaitu:

- a. Tetapkan: ukuran populasi/*pop\_size* (20), jumlah generasi maksimal/*MaxGen* (20), peluang *crossover* (90%) dan peluang mutasi (20%).
- b. Bentuk populasi awal secara acak sebanyak *pop\_size* individu.
- c. Susun jadwal setiap individu dengan prosedur heuristik di atas dan hitung nilai fungsi obyektif (*makespan*) setiap individu.
- d. Bentuk populasi berikutnya dengan langkah:
  1. Seleksi individu yang akan mengalami proses genetika.
  2. Lakukan persilangan (*crossover*) dan mutasi pada kromosom pertama pada individu yang terpilih.

3. Susun jadwal setiap individu baru dengan prosedur heuristik dan hitung nilai *fitness* individu keturunan yang dihasilkan.
  4. Pilih individu induk yang mempunyai nilai *fitness* terburuk untuk digantikan dengan keturunan yang mempunyai nilai *fitness* yang lebih baik supaya didapatkan individu terbaik sebanyak *pop\_size*.
- e. Ulangi langkah 4 diatas sampai *MaxGen* tercapai.
  - f. Tampilkan jadwal akhir dari individu terbaik.

## 2.7 Uji Kecukupan Data dan Keseragaman Data

### 2.7.1 Uji Kecukupan Data

Untuk mendapatkan jumlah observasi yang seharusnya dibuat ( $N'$ ) maka terlebih dahulu diputuskan beberapa tingkat keyakinan dan derajat ketelitian ( $s$ ) serta jumlah pengamatan untuk elemen kerja yang diukur pada pengukuran ini.

Pada aktivitas pengukuran kerja biasanya akan diambil 95% tingkat keyakinan (*confidence level*) dan 5% derajat ketelitian (*degree of accuracy*).

Tingkat keyakinan 68%, harga  $k = 1$

Tingkat keyakinan 95%, harga  $k = 2$

Tingkat keyakinan 99%, harga  $k = 3$

Uji kecukupan data dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan sudah cukup atau belum. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$N' = \left( \frac{k/s \sqrt{N \left( \sum Xi^2 \right) - \left( \sum Xi \right)^2}}{\sum Xi} \right)^2$$

Dimana:

$N'$  : Jumlah kecukupan data

- $N$  : Jumlah data pengamatan yang dilakukan
- $s$  : Derajat ketelitian
- $k$  : Konstanta
- $X_i$  : Waktu proses suatu *job* dari data pengamatan

Dari perhitungan harga  $N'$  dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Apabila  $N' \leq N$ , maka data dianggap cukup sehingga tidak perlu dilakukan pengambilan data kembali. Apabila  $N' \geq N$ , maka data belum cukup sehingga perlu dilakukan pengambilan data kembali.

Dalam uji kecukupan data ini tingkat keyakinan yang digunakan adalah 95% sehingga harga  $s$  adalah 0.05 dan tingkat keyakinan ( $k$ ) bernilai 2.

### 2.7.2 Uji Keseragaman Data

Dalam penelitian ini, selain kecukupan data, data yang digunakan harus seragam. Uji keseragaman data secara visual dilakukan dengan mengaplikasikan peta kontrol. Disini kita melihat data yang terkumpul dan mengidentifikasi data yang ekstrim atau data yang menyimpang terlalu besar atau terlalu kecil dari tren rata-ratanya. Data yang menyimpang ini dibuang dan tidak diikuti dalam perhitungan selanjutnya.

Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung rata-rata waktu proses *job* ( $\bar{x}$ )

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

- b. Menentukan standar deviasi ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

c. Menentukan batas kontrol

$$\text{BKA} = \bar{x} + k \sigma$$

$$\text{BKB} = \bar{x} - k \sigma$$

Dimana:

$\bar{x}$  = Rata-rata waktu proses dari data pengamatan

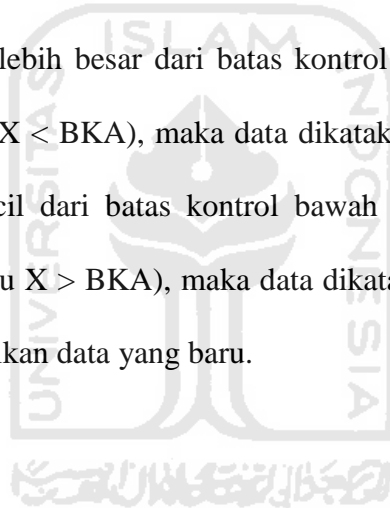
N = Jumlah pengamatan yang dilakukan

$\sigma$  = Standar deviasi

BKA = Batas kontrol atas

BKB = Batas kontrol bawah

Jika data pengamatan lebih besar dari batas kontrol bawah dan lebih kecil dari batas kontrol atas ( $\text{BKB} < X < \text{BKA}$ ), maka data dikatakan seragam. Sedangkan jika data pengamatan lebih kecil dari batas kontrol bawah atau lebih besar dari batas kontrol atas ( $X < \text{BKB}$  atau  $X > \text{BKA}$ ), maka data dikatakan tidak seragam dan data harus dibuang untuk digantikan data yang baru.



## BAB III

### METODOLOGI PENELITIAN

#### 3.1 Obyek Penelitian

Penelitian ini dilakukan di CV Agus Jati yang terletak di Dusun Sajen, Kelurahan Sajen, Kecamatan Trucuk, Kabupaten Klaten, Provinsi Jawa Tengah. Perusahaan ini mempunyai lingkungan manufaktur *make to order* dan mempunyai tipe sistem produksi *job shop*. Perusahaan ini tidak hanya memproduksi meja tetapi juga memproduksi kursi. Setiap meja dan kursi dibagi menjadi beberapa jenis lagi tergantung ukuran dan model. Sebuah meja terdiri dari beberapa *part-part* penyusun yang dirangkai menjadi sebuah produk.

Penelitian ini akan dilakukan pada departemen produksi meja. Proses produksi meja ini melibatkan beberapa mesin diantaranya mesin potong, penghalus, bor dll. Setiap jenis mesin ada yang hanya berjumlah satu tetapi ada juga yang mempunyai jumlah lebih dari satu. Penelitian ini bertujuan untuk menentukan pekerjaan apa saja yang akan diproses pada setiap mesin supaya diperoleh nilai *makespan* yang minimal.

*Makespan* adalah total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* yang ada atau dapat juga dikatakan sebagai waktu saat selesainya *job* terakhir. Dengan *makespan* yang minimum maka perusahaan akan dapat menyelesaikan produk pesanan dari pelanggan secara tepat waktu.

## 3.2 Metode Pengumpulan Data

### 3.2.1 Teknik Pengumpulan Data

Teknik yang digunakan dalam pengambilan data pada penelitian ini yaitu:

#### 1. Metode Observasi

Adalah metode yang dilakukan dengan cara mengambil data secara langsung pada obyek yang diteliti di perusahaan tersebut.

#### 2. Metode Wawancara

Yaitu metode yang dilakukan dengan cara melakukan tanya jawab pada pekerja yang terkait pada permasalahan yang diteliti di perusahaan tersebut.

#### 3. Studi Pustaka

Data-data yang diperoleh dari buku-buku atau laporan yang tersedia di perusahaan dan juga berdasarkan literatur-literatur dan referensi lain yang berada di luar perusahaan tersebut.

### 3.2.2 Jenis Data Yang Diperlukan

Data yang diperlukan dalam penelitian ini terdiri dari:

#### a. Data Primer

Data primer merupakan data yang diperoleh secara langsung dari obyek penelitian dengan cara mengamati dan menganalisis data dari perusahaan yang bersangkutan. Data primer yang dibutuhkan adalah:

1. *Bill of Material* (BOM)
2. *Operation Process Chart* (OPC)
3. Waktu proses operasi setiap *job*
4. Jumlah *job*
5. Jumlah mesin



6. Jenis produksi

7. *Routing* pengerjaan *job*

b. Data Sekunder

Data sekunder merupakan data yang diperoleh dari beberapa literatur, referensi dan jurnal yang berisi tentang tinjauan hasil sebelumnya yang relevan dengan permasalahan yang diteliti.

### 3.3 Metode Pengolahan Data

#### 3.3.1 Uji Kecukupan Data

Uji kecukupan data dilakukan untuk mengetahui apakah data yang digunakan sudah cukup atau belum. Adapun rumus yang digunakan adalah:

$$N' = \left( \frac{k/s \sqrt{N \left( \sum Xi^2 - \frac{(\sum Xi)^2}{N} \right)}}{\sum Xi} \right)^2$$

Dimana:

$N'$  : Jumlah kecukupan data

$N$  : Jumlah data pengamatan yang dilakukan

$s$  : Derajat ketelitian

$k$  : Konstanta

$Xi$  : Waktu proses suatu *job* dari data pengamatan

Dari perhitungan harga  $N'$  dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

Apabila  $N' \leq N$ , maka data dianggap cukup sehingga tidak perlu dilakukan pengambilan data kembali. Apabila  $N' \geq N$ , maka data belum cukup sehingga perlu dilakukan pengambilan data kembali. Dalam uji kecukupan data ini tingkat ketelitian

yang digunakan adalah 95% sehingga harga  $s$  adalah 0,05 dan tingkat keyakinan ( $k$ ) bernilai 2.

### 3.3.2 Uji Keseragaman Data

Dalam penelitian ini, selain kecukupan data, data yang digunakan harus seragam. Uji keseragaman data secara visual dilakukan dengan mengaplikasikan peta kontrol. Disini kita melihat data yang terkumpul dan mengidentifikasi data yang ekstrim atau data yang menyimpang terlalu besar atau terlalu kecil dari tren rata-ratanya. Data yang menyimpang ini dibuang dan tidak diikuti dalam perhitungan selanjutnya. Adapun rumus yang digunakan adalah sebagai berikut:

- a. Menghitung rata-rata ( $\bar{x}$ )

$$\bar{x} = \frac{\sum x}{N}$$

- b. Menentukan standar deviasi ( $\sigma$ )

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (x_i - \bar{x})^2}{N - 1}}$$

- c. Menentukan batas kontrol

$$\text{BKA} = \bar{x} + k \sigma$$

$$\text{BKB} = \bar{x} - k \sigma$$

Dimana:

$\bar{x}$  = Rata-rata waktu proses dari data pengamatan

$N$  = Jumlah pengamatan yang dilakukan

$\sigma$  = Standar deviasi

BKA = Batas kontrol atas

BKB = Batas kontrol bawah

Jika data pengamatan lebih besar dari batas kontrol bawah dan lebih kecil dari batas kontrol atas ( $BKB < xX < BKA$ ), maka data dikatakan seragam. Sedangkan jika data pengamatan lebih kecil dari batas kontrol bawah atau lebih besar dari batas kontrol atas ( $X < BKB$  atau  $X > BKA$ ), maka data dikatakan tidak seragam dan data harus dibuang untuk digantikan data yang baru.

### 3.3.3 Penjadwalan *Job*

Data-data yang sudah terkumpul kemudian diolah menggunakan metode perusahaan/*First Come First Serve*, *Shortest Processing Time*, dan Algoritma Genetika.

- a. Penjadwalan dengan aturan FCFS (*First Come First Serve*)

Langkah penjadwalannya adalah sebagai berikut:

1. Buat aliran pekerjaan sesuai urutan proses yang ada.
2. Tugaskan pekerjaan ke pada masing-masing mesin dengan berurutan.

- b. Penjadwalan dengan aturan SPT (*Shortest Processing Time*)

Langkah penjadwalannya adalah sebagai berikut:

1. Buat aliran pekerjaan dengan SPT.
2. Terapkan hasil SPT pada masing-masing mesin, dengan berurutan.

- c. Penjadwalan dengan Algoritma Genetik dengan Prosedur Heuristik

Langkah penugasan *job* ke dalam mesin yang diusulkan (prosedur heuristik) dilakukan dengan cara:

1. Ambil salah satu individu dari populasi
2. Saat pertama kali, buat jadwal dengan cara pilih *job* dari kromosom pertama untuk dikerjakan pada mesin pertama sesuai dengan urutan yang ada sampai semua *job* habis.

3. Ambil kromosom berikutnya (kedua) dan masukkan *job* dalam kromosom tersebut ke dalam jadwal sesuai dengan urutan dengan memperhatikan waktu selesai *job* yang sama di mesin sebelumnya.
4. Lakukan langkah 3 di atas sampai semua kromosom dalam 1 individu sudah ditugaskan ke mesin-mesin yang ada.

Secara rinci, langkah-langkah penjadwalan dengan Algoritma Genetika berdasar prosedur heuristik yaitu:

- a. Tetapkan: ukuran populasi/*pop\_size* (20), jumlah generasi maksimal/*MaxGen* (20), peluang *crossover* (90%) dan peluang mutasi (20%).
- b. Bentuk populasi awal secara acak sebanyak *pop\_size* individu.
- c. Susun jadwal setiap individu dengan prosedur heuristik di atas dan hitung nilai fungsi obyektif (*makespan*) setiap individu.
- d. Bentuk populasi berikutnya dengan langkah:
  1. Seleksi individu yang akan mengalami proses genetika.
  2. Lakukan persilangan (*crossover*) dan mutasi pada kromosom pertama pada individu yang terpilih.
  3. Susun jadwal setiap individu baru dengan prosedur heuristik dan hitung nilai *fitness* individu keturunan yang dihasilkan.
  4. Pilih individu induk yang mempunyai nilai *fitness* terburuk untuk digantikan dengan keturunan yang mempunyai nilai *fitness* yang lebih baik supaya didapatkan individu terbaik sebanyak *pop\_size*.
  5. Ulangi langkah 4 di atas sampai *MaxGen* tercapai.
  6. Tampilkan jadwal akhir dari individu terbaik.

### 3.4 Analisis Data

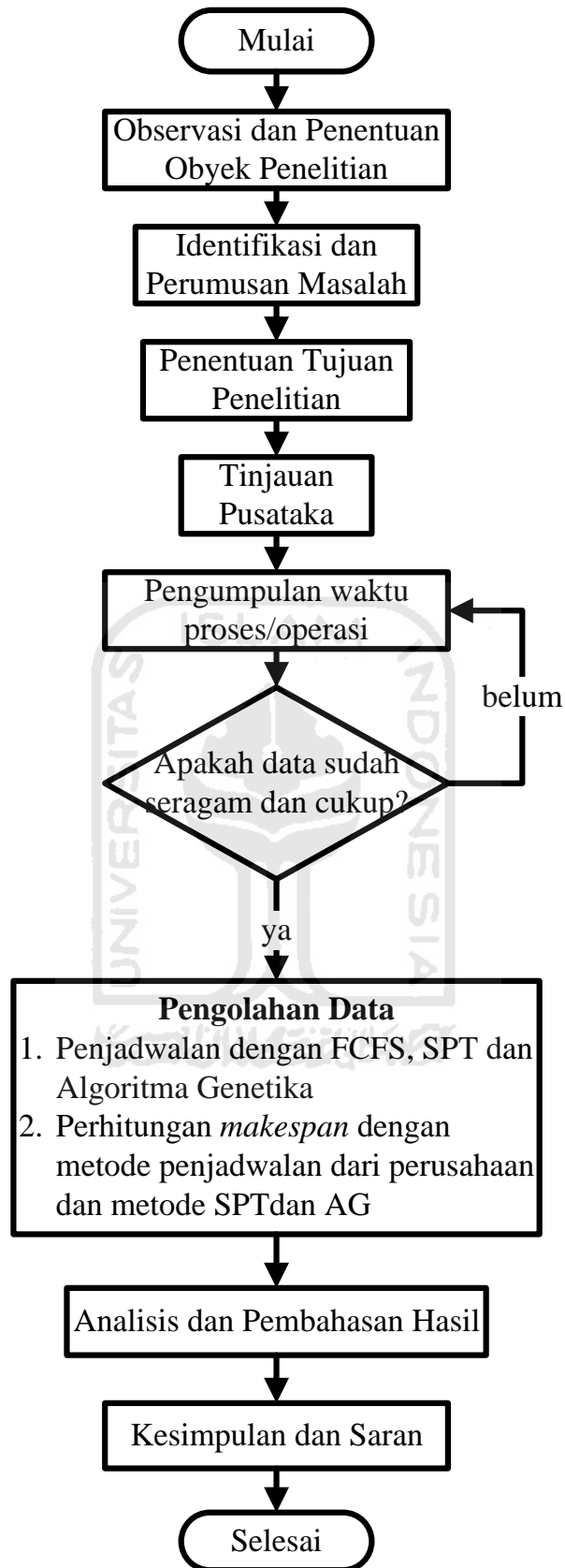
Dari data yang telah diolah menggunakan metode diatas dapat *makespan* yang dihasilkan oleh beberapa metode tersebut. *Makespan* adalah total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* yang ada atau dapat juga dikatakan sebagai waktu saat selesainya *job* terakhir. Yang menjadi pengukuran performansi atau tujuan penjadwalan *job* disini yaitu meminimalkan *makespan* yang ada. Dari beberapa metode tersebut kemudian dipilih yang terbaik dan kemudian dibandingkan dengan metode riil (metode yang diterapkan perusahaan).

### 3.5 Kesimpulan dan Saran

Setelah dilakukan analisa, kemudian disusun beberapa kesimpulan yang berupa jawaban atas pertanyaan pada rumusan masalah sebelumnya. Kemudian juga disusun beberapa saran bagi perusahaan yang bermanfaat untuk menambah keuntungan maupun menurunkan biaya produksi serta disusun saran bagi peneliti yang mempunyai topik yang sejenis untuk mengembangkannya dengan metode lain yang mungkin menghasilkan solusi yang lebih baik.

### 3.6 Diagram Alir Penelitian

Langkah-langkah penelitian perlu disusun secara baik untuk mempermudah penyusunan laporan penelitian. Secara sistematis, penelitian ini dapat digambarkan melalui diagram alir di bawah ini:



Gambar 3.1 Diagram Alir Kerangka Penelitian

## BAB IV

### PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

#### 4.1 Pengumpulan Data

Penelitian ini dilakukan di CV Agus Jati pada departemen produksi. Perusahaan ini memproduksi berbagai macam mebel seperti meja, kursi dan almari. Dari setiap jenis mebel juga masih dibagi lagi berdasarkan model dan ukuran. Strategi respon terhadap permintaan pembeli yang digunakan adalah *make to order*, sedangkan sistem produksi yang digunakan adalah sistem produksi *job shop* dan jumlah mesin setiap jenis mesin yang satu dengan yang lain bisa tidak sama yang biasa disebut dengan *job shop*.

Obyek yang diteliti pada penelitian ini yaitu proses produksi pada produk *Coffe Table* karena pada produk tersebut merupakan produk yang sedang dikerjakan sesuai permintaan dari pelanggan. Penelitian ini bertujuan untuk mendapatkan nilai *makespan* terkecil supaya perusahaan dapat menyelesaikan pesanan dengan waktu yang lebih cepat sesuai dengan permintaan dari pelanggan. Obyektif *makespan* adalah total waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan semua *job* yang ada.

Dalam produksinya, CV Agus Jati ini mempunyai beberapa departemen, yaitu; sebagai berikut:

##### 1. Departemen Pengovenan

Pada departemen ini dilakukan proses pengovenan terhadap kayu-kayu yang akan diproses menjadi suatu produk jadi. Bahan baku yang digunakan adalah kayu jati.

## 2. Departemen Pembahanan

Pada departemen ini dilakukan pemeriksaan ukuran *raw* material komponen yang akan diproses. Kemudian kayu-kayu yang memenuhi syarat kualitas selanjutnya diukur sesuai dengan kebutuhan.

## 3. Departemen Produksi

Pada departemen ini dilakukan proses penghalusan, pemotongan, pelubangan, dan pembuatan lengkungan dengan mesin-mesin yang ada.

## 4. Departemen *Assembly*

Pada departemen ini dilakukan perakitan komponen-komponen yang ada di *buffer* perakitan.

## 5. Departemen *Finishing*

Pada departemen ini, produk mengalami proses penghalusan (amplas), pengolesan dengan bahan kimia (pelitur), dan juga pemeriksaan kualitas (inspeksi).

Adapun data-data yang didapatkan dalam penelitian ini adalah:

1. Struktur produk (*Bill of Material*).
2. Peta Proses Operasi (*Operation Process Chart*).
3. Mesin-mesin yang digunakan dalam proses produksi beserta jumlahnya.
4. Waktu proses setiap *job* di setiap mesin.
5. *Routing* pengerjaan *job*.

### 4.1.1 Data Permintaan

Produk yang akan dibuat oleh perusahaan dan tertuang dalam lembar kontrak dengan pembeli pada saat penelitian ini yaitu produk *Coffe Table* sebanyak 10 buah.



#### 4.1.2 Data Struktur Produk (*Bill of Material*)

Data struktur produk adalah data mengenai komponen-komponen penyusun produk. Data ini diperoleh dari *part* yang dibutuhkan untuk menghasilkan produk tersebut. Komponen-komponen penyusun ini perlu diidentifikasi terlebih dahulu untuk memudahkan penyusunan *Bill of Material*. Bagan *Bill of Material* dapat dilihat di lampiran. Sedangkan data struktur produk untuk produk *Coffe Table* dapat dilihat pada tabel 4.1 di bawah ini:

Tabel 4.1 Struktur Produk *Coffe Table*

Tingkat	Nama Komponen	Ukuran (P X L X T) (cm)	Jumlah (pcs)
0	<i>Coffe Table</i>	130 X 70 X 40	1
1	Top	130 X 17 X 3	1
1	Rangka Depan	118 X 9 X 3	2
1	Rangka Belakang	58 X 9 X 3	2
1	Rangka Tengah	68 X 9 X 3	1
1	Rel Samping	68 X 4 X 3	4
1	Rel Bawah	50 X 1 X 1,8	4
1	Laci Depan	30 X 7 X 3	2
1	Laci Samping	43,5 X 7 X 1,8	4
1	Laci Belakang	30 X 5 X 1,8	2
1	Dasar Laci	29 X 44 X 1	1
1	Siku	15 X 9 X 2,5	4
1	Kaki	37 X 6 X 6	4

### 4.1.3 Mesin Yang Digunakan Dalam Proses Produksi

Mesin-mesin yang digunakan pada pembuatan produk *Coffe Table* pada departemen produksi yaitu dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.2 Mesin Produksi

Kode	Nama Mesin	Jumlah	Fungsi
MA	<i>Planner</i>	1	Menghaluskan, meratakan dan penyeragaman ukuran
MB	<i>Thicknesser</i>	1	Membentuk kayu sesuai dengan ketebalan yang diinginkan
MC	<i>Radial</i>	3	Pemotong pada panjang kayu sekaligus membuat sudut pada ujung kayu
MD	<i>Tenoner</i>	1	Memotong bagian kayu sehingga menghasilkan bentuk menonjol yang akan sesuai jika dipasangkan dengan kayu yang memiliki lubang sesuai dengan bentuknya.
ME	<i>Mortiser</i>	1	Membuat lubang yang sesuai dengan tonjolan yang dibuat dengan mesin tenoner sebelumnya.
MF	<i>Spindle</i>	1	Membuat lengkung dan membuat bentuk sesuai dengan profil yang diinginkan pada penampang melimpang bahan.

### 4.1.4 Waktu Proses Setiap *Job* di Setiap Mesin

Setelah melakukan pengamatan sebanyak 30 kali pada masing-masing mesin, maka didapatkan rata-rata waktu proses setiap *job* sesuai jumlah *part* yang dibutuhkan per produk. Kemudian waktu proses tersebut dikalikan dengan banyak produk yang akan dibuat (10). Total waktu proses masing-masing *job* di setiap mesin dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 4.3 Data Waktu Proses Setiap *Job* Di Setiap Mesin

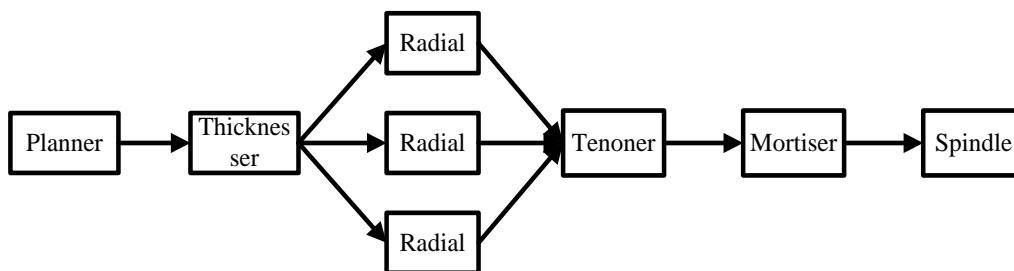
No.	Nama Komponen	Nama <i>Job</i>	Waktu Proses (menit)					
			MA	MB	MC	MD	ME	MF
1.	Top	<i>Job 1</i>	10	10	18	20	25	15
2.	Rangka Depan	<i>Job 2</i>	10	15	25	10	15	-
3.	Rangka Belakang	<i>Job 3</i>	10	15	13	15	-	15
4.	Rangka Tengah	<i>Job 4</i>	10	15	13	20	-	-
5.	Rel Samping	<i>Job 5</i>	15	15	8	15	-	-
6.	Rel Bawah	<i>Job 6</i>	15	15	10	-	-	-
7.	Laci Depan	<i>Job 7</i>	15	15	22	20	-	20
8.	Laci Samping	<i>Job 8</i>	15	15	20	15	-	15
9.	Laci Belakang	<i>Job 9</i>	15	20	13	20	-	20
10.	Dasar Laci	<i>Job 10</i>	15	15	14	-	-	-
11.	Siku	<i>Job 11</i>	20	-	27	-	-	-
12.	Kaki	<i>Job 12</i>	15	15	11	-	15	-

#### 4.1.5 Operation Process Chart (OPC)

OPC ini merupakan gambaran umum tentang urutan proses dalam pengerjaan *job*. OPC untuk pembuatan produk *Coffe Table* dapat dilihat pada lampiran.

#### 4.1.6 Routing Pengerjaan *Job*

Proses pengerjaan *part-part* di CV Agus Jati yaitu sesuai dengan urutan mesin yang ada dimulai dari mesin *planner* – mesin *thicknesser* – mesin *radial* – mesin *tenoner* – mesin *mortiser* dan mesin *spindle*. Pada mesin *radial* yang berjumlah 3, *job* bebas ditempatkan pada salah satu mesin identik yang *available* dengan syarat *job* tersebut sudah selesai dikerjakan pada mesin sebelumnya. *Routing* pengerjaan masing-masing *job* dapat dilihat pada gambar berikut:

Gambar 4.1 *Routing Pengerjaan Job*

## 4.2 Pengolahan Data

Dari data yang telah dikumpulkan, selanjutnya dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan hasil yang diharapkan.

### 4.2.1 Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

Data yang digunakan dalam penelitian ini yaitu data waktu proses. Data diambil sebanyak 30 kali dan dapat dilihat pada lampiran. Dari hasil pengolahan data, hasil waktu proses pada mesin *radial* yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.4 Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

Kode	Nama Part	N	N'	Keterangan	BKA	max	min	BKB	Keterangan
Job 1	Top	30	17,24	data cukup	22,12	22	15	14,41	data seragam
Job 2	Rangka Dpn	30	25,31	data cukup	31,23	30	19	18,50	data seragam
Job 3	Rangka Blkg	30	26,32	data cukup	16,35	16	10	9,58	data seragam
Job 4	Rangka Tngh	30	28,43	data cukup	16,91	16	10	9,69	data seragam
Job 5	Rel Smpg	30	20,19	data cukup	10,16	10	7	6,38	data seragam
Job 6	Rel Bwh	30	23,24	data cukup	12,33	12	8	7,47	data seragam
Job 7	Laci Dpn	30	12,05	data cukup	26,28	26	19	18,39	data seragam
Job 8	Laci Smpg	30	12,69	data cukup	24,14	24	17	16,73	data seragam
Job 9	Laci Blkg	30	16,41	data cukup	15,68	15	11	10,32	data seragam
Job 10	Dasar Laci	30	14,72	data cukup	17,17	17	12	11,56	data seragam
Job 11	Siku	30	21,26	data cukup	33,54	33	22	20,80	data seragam
Job 12	Kaki	30	20,86	data cukup	13,84	13	9	8,62	data seragam



MC2				MC3				MD			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
2	35	25	60					1	38	20	58
8	125	20	145					2	60	10	70
11	150	27	177					3	70	15	85
								4	85	20	105
								5	105	15	120
								7	132	20	152
								8	152	15	167
								9	167	20	187

ME				MF			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
1	58	25	83	1	83	98	15
2	83	15	98	3	98	15	113
12	191	15	206	7	152	20	172
				8	172	15	187
				9	187	20	<b>207</b>

Dari tabel di atas dapat dihitung nilai *makespan* untuk seluruh *job* pada produk *Coffe Table* dengan metode FCFS ini yaitu sebesar 207 menit.



MC2				MC3				MD			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
11	50	27	77					5	88	15	103
8	155	20	175					4	123	20	143
1	200	18	218					3	143	15	158
								2	165	10	175
								8	175	15	190
								9	210	20	230
								7	212	20	232
								1	232	20	10

ME				MF			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
12	106	15	121	3	158	15	173
2	175	15	190	8	190	15	205
1	252	25	277	9	210	20	230
				7	232	20	252
				1	277	15	<b>292</b>

Dari tabel di atas dapat dihitung nilai *makespan* untuk seluruh produk *Coffe Table* dengan metode SPT ini yaitu sebesar 292 menit.

#### 4.2.4 Penjadwalan dengan Algoritma Genetika (AG)

Data yang sudah didapat kemudian diolah dengan menggunakan Algoritma Genetika. Tahapan-tahapan Algoritma Genetika yang digunakan untuk menyelesaikan persoalan penjadwalan dalam penelitian ini adalah:

##### 1. Inisialisasi Populasi Awal

Tahapan ini bertujuan untuk pembangkitan awal individu-individu sebagai kode dari alternatif-alternatif solusi permasalahan yang dihadapi. Adapun dalam penelitian



ini, dasar representasi individu yang digunakan adalah urutan *job*, sehingga individu-individu yang dibangkitkan akan merepresentasikan urutan *job* yang akan dikerjakan. Langkah pertama yang harus dilakukan pada tahap ini adalah menentukan ukuran populasi (*pop\_size*) yang akan digunakan. Ukuran populasi kecil berarti hanya tersedia sedikit pilihan untuk *crossover* dan sebagian kecil dari *domain* solusi saja yang dieksplorasi untuk setiap generasinya. Sedangkan bila terlalu besar, kinerja Algoritma Genetika akan menurun. Disarankan ukuran populasi berkisar antara 20-30 individu (Saputro, 2004).

Dalam penelitian ini digunakan ukuran populasi sebesar 20 (*pop\_size*=20). Dan untuk pembangkitan individu awal, metode yang digunakan yaitu dengan metode pencarian acak (*random search*). Setelah itu dibangkitkan bilangan *random* dari 1 sampai dengan sebanyak jumlah *job* yang melalui mesin pertama, dengan nilai bilangan *random* yang dibangkitkan adalah bilangan bulat (*integer*) yang tidak boleh berulang dalam sebuah kromosomnya. Dalam penelitian ini, jumlah *job* yang dibebankan pada mesin pertama yaitu 12 sehingga setiap satu kromosom pertama pada setiap induk terdiri dari 12 *job* yang berlainan. Kemudian hal yang sama dilakukan untuk *job* yang melalui mesin kedua dan seterusnya. Populasi awal yang dihasilkan dapat dilihat pada tabel di bawah ini:

Tabel 4.7 Inisialisasi Populasi Awal

No	Individu	<i>Fitness</i> ( <i>Makespan</i> ) (menit)
V1	(5-4-8-6-9-2-12-1-11-3-10-7)-(5-4-8-6-9-2-12-1-3-10-7)-(5-4-8-6-9-2-12-1-11-3-10-7)-(5-4-8-9-2-1-3-7)-(12-2-1)-(8-9-3-1-7)	242
V2	(2-3-9-12-4-7-6-11-1-10-8-5)-(2-3-9-12-4-7-6-1-10-8-5)-(2-3-9-12-4-7-11-1-6-10-8-5)-(2-3-9-4-7-1-8-5)-(2-12-1)-(3-9-7-1-8)	223
V3	(5-10-9-2-4-3-1-7-6-8-11-12)-(5-10-9-2-4-3-1-7-6-8-12)-(5-10-9-2-4-3-1-7-6-11-8-12)-(5-9-2-4-3-1-7-8)-(2-1-12)-(9-3-1-7-8)	245
V4	(10-7-2-1-11-8-5-3-4-9-6-12)-(10-7-2-1-8-5-3-4-9-6-12)-(10-7-2-1-11-8-5-3-4-9-6-12)-(7-2-1-8-5-3-4-9)-(2-1-12)-(7-8-1-3-9)	225
V5	(6-11-7-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(6-7-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(6-11-7-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(7-3-2-8-9-4-1-5)-(2-12-1)-(7-3-8-9-1)	273
V6	(9-10-3-11-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-10-3-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-10-3-11-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-3-2-7-4-1-8-5)-(2-12-1)-(9-3-7-8-1)	235
V7	(1-9-6-12-8-3-5-4-10-2-7-11)-(1-9-6-12-8-3-5-4-10-2-7)-(1-9-6-12-8-3-5-4-10-2-7-11)-(1-9-8-3-5-4-2-7)-(1-12-2)-(1-9-8-3-7)	252
V8	(11-1-2-4-5-9-10-6-8-12-7-3)-(1-2-4-5-9-10-6-8-12-7-3)-(11-1-2-4-5-9-10-6-8-12-7-3)-(1-2-4-5-9-8-7-3)-(1-2-12)-(1-9-8-7-3)	257
V9	(2-4-7-9-3-1-11-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-11-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-8-5)-(2-1-12)-(7-9-3-1-8)	210
V10	(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12-11)-(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12)-(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12-11)-(4-1-8-9-2-5-3-7)-(1-2-12)-(1-8-9-3-7)	222
V11	(11-6-1-9-2-7-12-8-4-5-3-10)-(6-1-9-2-7-12-8-4-5-3-10)-(11-6-1-9-2-7-12-8-4-5-3-10)-(1-9-2-7-8-4-5-3)-(1-2-12)-(1-9-7-8-3)	240
V12	(2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-7-9-3-8-5)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)	210
V13	(5-9-4-10-3-7-8-2-12-6-1-11)-(5-9-4-10-3-7-8-2-12-6-1)-(5-9-4-10-3-7-8-2-12-6-1-11)-(5-9-4-3-7-8-2-1)-(12-2-1)-(9-3-7-8-1)	258
V14	(6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(3-2-5-1-4-7-8-9)-(12-2-1)-(3-1-7-8-9)	245
V15	(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-11-2)-(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-2)-(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-11-2)-(7-9-4-3-1-5-8-2)-(12-1-2)-(7-9-3-1-8)	235

V16	(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-11-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-11-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2)-(1-2-12)-(8-3-7-1-9)	217
V17	(1-5-4-6-8-2-10-7-9-11-12-3)-(1-5-4-6-8-2-10-7-9-12-3)-(1-5-4-6-8-2-10-7-9-11-12-3)-(1-5-4-8-2-7-9-3)-(1-2-12)-(1-8-7-9-3)	228
V18	(10-7-9-12-11-1-4-6-2-3-8-5)-(10-7-9-12-1-4-6-2-3-8-5)-(10-7-9-12-11-1-4-6-2-3-8-5)-(7-9-1-4-2-3-8-5)-(12-1-2)-(7-9-1-3-8)	225
V19	(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-39-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8)	230
V20	(12-6-2-10-9-7-1-11-5-3-8-4)-(12-6-2-10-9-7-1-5-3-8-4)-(12-6-2-10-9-7-1-11-5-3-8-4)-(2-9-7-1-5-3-8-4)-(12-2-1)-(9-7-1-3-8)	242
<i>Total Fitness</i>		4714





MC2				MC3				MD			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
6	75	10	85					5	38	15	53
12	126	11	136					4	58	20	78
11	136	27	163					8	80	15	95
								9	108	20	128
								2	135	10	145
								1	153	20	173
								3	173	15	188
								7	202	20	222

ME				MF			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
12	136	15	151	8	95	15	110
2	151	15	166	9	128	20	148
1	173	25	198	3	188	15	20
				1	203	15	218
				7	222	20	<b>242</b>

Maka nilai *fitness* ( $F_i$ ) individu V1 yaitu 242 menit. Dengan cara yang sama, kemudian dihitung nilai *fitness* untuk semua individu. Hasil perhitungan nilai *fitness* untuk semua individu pada populasi awal adalah seperti pada tabel 4.7.

### 3. Seleksi Individu Induk (*Parents Selection*)

Pada tahap ini akan dilakukan seleksi pemilihan individu-individu induk yang akan mengalami operasi-operasi genetik dalam tahap-tahap selanjutnya. Metode pemilihan individu induk yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode pemilihan individu induk dengan seleksi roda *roulette* (*roulette wheel parents selection*).

Metode seleksi pemilihan individu-individu induk dengan roda *roulette* ini adalah metode seleksi dengan memperhatikan tingkat penyesuaian setiap individu dengan lingkungannya yang ditunjukkan oleh besarnya nilai *fitness* setiap individu. Besarnya tingkat penyesuaian setiap individu adalah proporsional dengan besarnya nilai *fitness* yang dimilikinya. Semakin optimal nilai *fitness* yang dimiliki oleh sebuah individu maka semakin besar pula peluang individu tersebut terpilih menjadi individu induk untuk generasi berikutnya.

Konsep pemilihan individu induk dengan seleksi roda *roulette* ini adalah dengan membagi sebuah roda *roulette* ini menjadi beberapa bagian yang besar yang mana setiap bagian tersebut mencerminkan besarnya peluang setiap individu untuk terpilih. Kemudian pemilihan individu dilakukan dengan cara memutar roda *roulette* tersebut, dan individu yang terpilih ditunjukkan oleh bagian yang terpilih oleh sebuah alat pemilih saat putaran roda terakhir.

Sebagai contoh, akan dihitung *fitness* relatif dan *fitness* kumulatif dari individu V1 hasil dari tahap inisialisasi diatas, yaitu sebagai berikut :

Individu V1 :

V1 = (5-4-8-6-9-2-12-1-11-3-10-7)-(5-4-8-6-9-2-12-1-3-10-7)-(5-4-8-6-9-2-12-1-11-3-10-7)-(5-4-8-9-2-1-3-7)-(12-2-1)-(8-9-3-1-7).

Dengan nilai :

*Fitness* individu ( $F_i$ ) = 242 menit (tabel 4.5)

Total nilai *fitness* semua individu generasi awal (TF):

$$TF = \sum_{i=1}^{\text{pop\_size}} F_i = 4714 \text{ menit (tabel 4.5)}$$

*Fitness* relatif individu ( $P_i$ ):

$$P_i = \frac{F_i}{TF} = \frac{242}{4714} = 0,0513$$

*Fitness* kumulatif individu V1 ( $Q_1$ ):

$$Q_i = Q_{i-1} + P_i$$

$$Q_1 = Q_0 + P_1 = 0 + 0,0513 = 0,0513$$

Dengan cara yang sama, kemudian dihitung *fitness* relatif dan *fitness* kumulatif untuk semua individu yang hasilnya dapat dilihat pada tabel dibawah ini :

Tabel 4.9 *Fitness* Relatif dan *Fitness* Kumulatif

Individu	<i>Fitness</i> (menit)	<i>Fitness</i> relatif	<i>Fitness</i> kumulatif	Random number	Individu terseleksi		
V1	242	0,0513	0,0513	0,3630	V1'	=	V8
V2	223	0,0473	0,0986	0,6647	V2'	=	V14
V3	245	0,0520	0,1506	0,9480	V3'	=	V19
V4	225	0,0477	0,1983	0,1886	V4'	=	V4
V5	273	0,0579	0,2563	0,5431	V5'	=	V12
V6	235	0,0499	0,3061	0,9407	V6'	=	V19
V7	252	0,0535	0,3596	0,1429	V7'	=	V3
V8	257	0,0545	0,4141	0,9623	V8'	=	V20
V9	210	0,0445	0,4586	0,9422	V9'	=	V19
V10	222	0,0471	0,5057	0,4421	V10'	=	V9
V11	240	0,0509	0,5566	0,2231	V11'	=	V5
V12	210	0,0445	0,6012	0,9397	V12'	=	V19
V13	258	0,0547	0,6559	0,3138	V13'	=	V7
V14	245	0,0520	0,7079	0,9656	V14'	=	V20
V15	235	0,0499	0,7577	0,0637	V15'	=	V2
V16	217	0,0460	0,8038	0,1411	V16'	=	V3
V17	228	0,0484	0,8521	0,1809	V17'	=	V4
V18	225	0,0477	0,8999	0,9793	V18'	=	V20
V19	230	0,0488	0,9487	0,7707	V19'	=	V16
V20	242	0,0513	1,0000	0,9387	V20'	=	V19
Total <i>Fitness</i>	4714						

Setelah dilakukan penghitungan *fitness* relatif dan *fitness* kumulatif setiap individu, langkah selanjutnya adalah membangkitkan bilangan *random* dari 0 sampai 1 sejumlah *pop\_size* (20) untuk proses pemilihan. Hasilnya adalah seperti pada tabel (4.8) diatas.

Nilai bilangan *random* pertama yang dihasilkan lebih besar dari 0 dan berada diantara *fitness* kumulatif individu 7 dan individu 8, sehingga individu 8 terpilih menjadi individu induk bagi generasi selanjutnya. Hasil pemilihan individu-individu yang akan menjadi induk bagi generasi selanjutnya dapat dilihat pada tabel (4.9) diatas.

#### 4. Persilangan (*Crossover*)

Setelah dilakukan seleksi pemilihan individu-individu induk, tahap berikutnya adalah melakukan operasi persilangan (*crossover*). Dalam operasi persilangan ini, langkah pertama yang diambil adalah menentukan jumlah individu induk yang diharapkan melakukan persilangan.

Cara yang dilakukan adalah dengan menentukan ukuran probabilitas persilangan dari *pop\_size* individu induk. Dalam penelitian ini, probabilitas persilangannya ditentukan sebesar 90% ( $P_c = 0,90$ ). Yang artinya diharapkan sejumlah  $0,90 \times pop\_size$  individu induk akan melakukan persilangan.

Langkah berikutnya adalah membangkitkan bilangan *random* dari 0 sampai dengan 1 sejumlah *pop\_size* (20) untuk memilih individu-individu induk yang akan mengalami persilangan.



Tabel 4.10 Pembangkitan Bilangan *Random* Untuk *Crossover*

Individu terseleksi			<i>Random number</i>
V1'	=	V8	0,9941
V2'	=	V14	<b>0,4088</b>
V3'	=	V19	<b>0,5156</b>
V4'	=	V4	0,9540
V5'	=	V12	<b>0,7777</b>
V6'	=	V19	<b>0,5677</b>
V7'	=	V3	<b>0,4316</b>
V8'	=	V20	<b>0,1930</b>
V9'	=	V19	<b>0,3811</b>
V10'	=	V9	<b>0,1165</b>
V11'	=	V5	<b>0,3963</b>
V12'	=	V19	<b>0,3309</b>
V13'	=	V7	<b>0,4957</b>
V14'	=	V20	<b>0,6346</b>
V15'	=	V2	<b>0,4149</b>
V16'	=	V3	<b>0,7042</b>
V17'	=	V4	<b>0,1893</b>
V18'	=	V20	<b>0,3812</b>
V19'	=	V16	<b>0,2150</b>
V20'	=	V19	<b>0,4598</b>

Jika bilangan *random* yang dihasilkan lebih kecil dari nilai probabilitas persilangan, maka individu tersebut akan disilangkan. Dari tabel di atas, semua bilangan *random* yang dihasilkan lebih kecil dari nilai probabilitas persilangan (0,90) kecuali bilangan *random* ke-1 dan ke-4 sehingga semua individu kecuali individu V1' dan V4' terpilih sebagai individu induk yang siap melakukan persilangan. Kemudian diambil 2 individu dari individu-individu terpilih untuk disilangkan berpasang-

pasangan sehingga dari populasi diatas akan menghasilkan 9 persilangan dan akan didapatkan 9 anak hasil persilangan.

Metode persilangan yang digunakan dalam penelitian adalah *Precedence Preservative Crossover* (PPX). Proses persilangan hanya dilakukan pada kromosom yang pertama dari setiap individu sedangkan susunan gen pada kromosom berikutnya mengikuti urutan sesuai kromosom pertama hasil persilangan tersebut hanya dikurangi dengan *job* yang memang tidak ditugaskan ke mesin tersebut. Langkah yang dilakukan yaitu membangkitkan bilangan *random* antara 1 dan 2 sesuai banyak *gen* dalam 1 kromosom yaitu 12. Bilangan *random* yang dibangkitkan adalah bilangan bulat (*integer*) yang boleh berulang dalam sebuah individunya. Angka acak 1 atau 2 sebanyak *gen* pada kromosom pertama dipakai untuk memilih induk. Jika 1 diturunkan *gen* paling kiri dari kromosom pertama induk pertama, jika 2 diturunkan *gen* paling kiri dari kromosom pertama induk kedua. Selanjutnya *gen* yang terpilih tadi dihapus dari kedua kromosom induk. Proses dilakukan sampai karakter di kedua kromosom pertama dari individu induk habis.

Sebagai contoh akan disilangkan antara V2' (V14) dengan V3' (V19). Hasil pembangkitan bilangan *random* yaitu : 1-1-1-2-2-1-2-1-2-2-1-1

**V2' (V14)** = (6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-5-1-4-7-10-8-9)-(6-3-2-12-11-5-1-4-7-10-8-9)-(3-2-5-1-4-7-8-9)-(12-2-1)-(3-1-7-8-9)

**V3' (V19)** = (1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-3-9-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8)

Maka akan didapatkan anak hasil persilangan V2' dan V3' :

(6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(3-2-1-5-7-9-4-8)-(2-1-12)-(3-1-7-9-8).

Sehingga didapatkan 9 individu anak hasil persilangan, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.11 Individu Hasil Persilangan

Individu	Urutan Job	Makespan (menit)
V14 & V19	(6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-10-9-4-8)-(6-3-2-1-5-12-7-11-10-9-4-8)-(3-2-1-5-7-9-4-8)-(2-1-12)-(3-1-7-9-8)	243
V12 & V19	(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8-11)-(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8)-(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8-11)-(1-5-2-7-3-4-9-8)-(1-2-12)-(1-7-3-9-8)	233
V3 & V20	(12-5-6-10-2-9-4-3-7-1-11-8)-(12-5-6-10-2-9-4-3-7-1-8)-(12-5-6-10-2-9-4-3-7-1-11-8)-(5-2-9-4-3-7-1-8)-(12-2-1)-(9-3-7-1-8)	265
V19 & V9	(2-1-4-5-7-9-12-3-11-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-12-3-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-12-3-11-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-3-8)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)	230
V5 & V19	(6-1-11-7-3-5-12-2-10-8-9-4)-(6-1-7-3-5-12-2-10-8-9-4)-(6-1-11-7-3-5-12-2-10-8-9-4)-(1-7-3-5-2-8-9-4)-(1-12-2)-(1-7-3-8-9)	240
V7 & V20	(12-6-2-1-9-10-7-8-11-5-3-4)-(12-6-2-1-9-10-7-8-5-3-4)-(12-6-2-1-9-10-7-8-11-5-3-4)-(2-1-9-7-8-5-3-4)-(12-2-1)-(1-9-7-8-3)	237
V2 & V3	(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-11-8)-(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-8)-(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-11-8)-(2-3-5-9-4-1-7-8)-(2-1-12)-(3-9-1-7-8)	238
V4 & V20	(12-10-7-2-6-9-1-11-5-8-3-4)-(12-10-7-2-6-9-1-5-8-3-4)-(12-10-7-2-6-9-1-11-5-8-3-4)-(7-2-9-1-5-8-3-4)-(12-2-1)-(7-9-1-8-3)	233
V16 & V19	(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10-11)-(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10)-(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10-11)-(1-5-7-8-2-3-4-9)-(1-12-2)-(1-7-8-3-9)	210

## 5. Mutasi

Seperti pada kasus *crossover*, langkah pertama dalam operasi mutasi adalah menentukan jumlah individu yang akan terkena mutasi. Caranya adalah dengan menentukan nilai probabilitas mutasi yang dalam penelitian ini ditentukan sebesar 20% ( $P_m = 0,2$ ). Yang artinya diharapkan sejumlah  $0,2 \times pop\_size$  individu induk akan mengalami mutasi gen pada kromosom pertamanya karena mutasi pada penelitian ini hanya melibatkan kromosom pertama pada setiap individu. Sedangkan susunan gen pada kromosom berikutnya menyesuaikan kromosom pertama.

Langkah berikutnya adalah membangkitkan bilangan *random* dari 0 sampai sejumlah 1 sejumlah *pop\_size* untuk memilih individu induk yang akan terkena mutasi *gen*. Hasil pembangkitan bilangan *random* adalah seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.12 Pembangkitan Bilangan *Random* Untuk Mutasi

Individu terseleksi			<i>Random number</i>
V1'	=	V8	0,3639
V2'	=	V14	0,8515
V3'	=	V19	0,4160
V4'	=	V4	0,8592
V5'	=	V12	<b>0,1649</b>
V6'	=	V19	0,2867
V7'	=	V3	<b>0,0123</b>
V8'	=	V20	<b>0,1877</b>
V9'	=	V19	0,2511
V10'	=	V9	0,8849
V11'	=	V5	<b>0,0911</b>
V12'	=	V19	0,6000
V13'	=	V7	0,4844
V14'	=	V20	0,7832
V15'	=	V2	0,4305

V16'	=	V3	<b>0,0677</b>
V17'	=	V4	<b>0,1123</b>
V18'	=	V20	0,6159
V19'	=	V16	0,3077
V20'	=	V19	<b>0,0526</b>

Jika bilangan *random* yang dihasilkan lebih kecil dari nilai probabilitas mutasi, maka individu tersebut akan terkena operasi mutasi. Berdasarkan pembangkitan bilangan *random* pada tahap mutasi diatas, maka didapatkan individu V5', V7', V8', V11', V16', V17', V20' memiliki nilai bilangan *random* yang lebih kecil dari nilai probabilitas mutasi sehingga individu-individu tersebut terpilih untuk mengalami operasi mutasi. Metode mutasi yang dipilih adalah *unary operator*, hanya membutuhkan satu individu induk untuk menghasilkan satu individu anak. Dan operator mutasi yang digunakan dalam penelitian ini adalah operator *swap mutation*. Pada *swap mutation*, dibangkitkan 2 bilangan *random* antara 1 sampai dengan banyak *gen* (panjang kromosom) dari setiap kromosom pertama individu. Kemudian posisi *gen* ditukar sesuai dengan bilangan *random* yang dihasilkan. Sebagai contoh akan dilakukan mutasi pada V5' dengan bilangan *random* yang dihasilkan yaitu 2 dan 11.

$$V5' = (2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-7-9-3-8-5)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)$$

Gambar di bawah ini menunjukkan proses mutasi pada kromosom pertama individu V5' pada *gen* ke-2 dan ke-11 pada kromosom pertama :

$$V5'' = (2-12-1-6-7-9-3-8-11-5-4-10)-(2-12-1-6-7-9-3-8-5-4-10)-(2-12-1-6-7-9-3-8-11-5-4-10)-(2-4-1-7-9-3-8-5)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)$$

Dengan cara yang sama untuk semua individu induk yang terkena mutasi, didapat 7 individu anak hasil mutasi, yaitu seperti pada tabel berikut ini :

Tabel 4.13 Individu Hasil Mutasi

Individu	Urutan Job	Makespan (menit)
V5'=V12	(3-4-1-6-7-9-2-8-11-5-12-10)-(3-4-1-6-7-9-2-8-5-12-10)-(3-4-1-6-7-9-2-8-11-5-12-10)-(3-4-1-7-9-2-8-5)-(1-2-12)-(3-1-7-9-8)	194
V7'=V3	(5-10-4-2-9-3-1-7-6-8-11-12)-(5-10-4-2-9-3-1-7-6-8-12)-(5-10-4-2-9-3-1-7-6-11-8-12)-(5-4-2-9-3-1-7-8)-(2-1-12)-(9-3-1-7-8)	240
V8'=V20	(12-6-2-10-9-7-1-11-5-3-8-4)-(12-6-2-10-9-7-1-5-3-8-4)-12-6-2-10-9-7-1-11-5-3-8-4)-(2-9-7-1-5-3-8-4)-(12-2-1)-(9-7-1-3-8)	242
V11'=V5	(6-7-11-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(6-7-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(6-7-11-3-2-10-8-12-9-4-1-5)-(7-3-2-8-9-4-1-5)-(2-12-1)-(7-3-8-9-1)	268
V16'=V3	(5-10-9-2-4-7-1-3-6-8-11-12)-(5-10-9-2-4-7-1-3-6-8-12)-(5-10-9-2-4-7-1-3-6-8-11-12)-(5-9-2-4-7-1-3-8)-(2-1-12)-(9-7-1-3-8)	245
V17'=V4	(10-7-2-1-11-8-5-3-6-9-4-12)-(10-7-2-1-8-5-3-6-9-4-12)-(10-7-2-1-11-8-5-3-6-9-4-12)-(7-2-1-8-5-3-4-9)-(2-1-12)-(7-1-8-3-9)	221
V20'=V19	(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-3-9-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8)	230

## 6. *Replacement dan Termination*

Berdasarkan operasi genetik persilangan dan mutasi didapat 16 individu anak. Karena ruang *sampling* yang dipergunakan adalah ruang *sampling* yang diperluas, maka individu-individu anak yang dihasilkan dibawa kedalam ruang *sampling* yang sebagian sudah ditempati oleh individu-individu induk, yang kemudian akan dilakukan seleksi sebanyak *pop\_size* individu terbaik. Isi dari ruang *sampling* yang tersedia dengan peringkat setiap individunya yang sudah diurutkan dari yang terbesar sampai terkecil. individu dalam ruang *sampling* terdiri dari individu pada populasi awal, individu hasil persilangan serta individu hasil proses mutasi.

Karena dalam penelitian ini ukuran populasinya adalah sebanyak 20 individu, maka langkah selanjutnya adalah mengambil 20 individu terbaik, yang akan menjadi induk bagi generasi berikutnya. Sedangkan individu-individu yang lain dibuang dari populasi (*replacement*). Dalam evolusi alam, individu-individu inilah yang dikatakan sebagai individu-individu yang mati pada saat proses evolusi berlangsung karena kalah bersaing dengan yang lainnya.

Individu-individu terbaik sejumlah 20 hasil dari proses iterasi pertama (Generasi Pertama) dapat dilihat pada tabel 4.14 dibawah ini, yaitu sebagai berikut :

Tabel 4.14 Individu Terbaik Generasi Pertama

Individu	Urutan Job	Fitness (menit)
1	(3-4-1-6-7-9-2-8-11-5-12-10)-(3-4-1-6-7-9-2-8-5-12-10)-(3-4-1-6-7-9-2-8-11-5-12-10)-(3-4-1-7-9-2-8-5)-(1-2-12)-(3-1-7-9-8)	194
2	(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10-11)-(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10)-(1-5-7-12-8-2-3-4-9-6-10-11)-(1-5-7-8-2-3-4-9)-(1-12-2)-(1-7-8-3-9)	210
3	(2-4-7-9-3-1-11-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-11-8-5-12-6-10)-(2-4-7-9-3-1-8-5)-(2-1-12)-(7-9-3-1-8)	210
4	(2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-5-12-10)-(2-4-1-6-7-9-3-8-11-5-12-10)-(2-4-1-7-9-3-8-5)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)	210
5	(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-11-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2-6-10-11-12)-(8-3-5-7-4-1-9-2)-(1-2-12)-(8-3-7-1-9)	217
6	(10-7-2-1-11-8-5-3-6-9-4-12)-(10-7-2-1-8-5-3-6-9-4-12)-(10-7-2-1-11-8-5-3-6-9-4-12)-(7-2-1-8-5-3-4-9)-(2-1-12)-(7-1-8-3-9)	221
7	(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12-11)-(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12)-(4-1-8-10-9-2-5-6-3-7-12-11)-(4-1-8-9-2-5-3-7)-(1-2-12)-(1-8-9-3-7)	222
8	(2-3-9-12-4-7-6-11-1-10-8-5)-(2-3-9-12-4-7-6-1-10-8-5)-(2-3-9-12-4-7-11-1-6-10-8-5)-(2-3-9-4-7-1-8-5)-(2-12-1)-(3-9-7-1-8)	223
9	(10-7-2-1-11-8-5-3-4-9-6-12)-(10-7-2-1-8-5-3-4-9-6-12)-(10-7-2-1-11-8-5-3-4-9-6-12)-(7-2-1-8-5-3-4-9)-(2-1-12)-(7-8-1-3-9)	225
10	(10-7-9-12-11-1-4-6-2-3-8-5)-(10-7-9-12-1-4-6-2-3-8-5)-(10-7-9-12-11-1-4-6-2-3-8-5)-(7-9-1-4-2-3-8-5)-(12-1-2)-(7-9-1-3-8)	225
11	(1-5-4-6-8-2-10-7-9-11-12-3)-(1-5-4-6-8-2-10-7-9-12-3)-(1-5-4-6-8-2-10-7-9-11-12-3)-(1-5-4-8-2-7-9-3)-(1-2-12)-(1-8-7-9-3)	228
12	(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-3-9-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8)	230
13	(2-1-4-5-7-9-12-3-11-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-12-3-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-12-3-11-10-8-6)-(2-1-4-5-7-9-3-8)-(2-1-12)-(1-7-9-3-8)	230
14	(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-9-8-4)-(1-5-7-12-2-3-10-6-11-9-8-4)-(1-5-7-2-3-9-8-4)-(1-12-2)-(1-7-3-9-8)	230
15	(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8-11)-(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8)-(1-5-2-7-12-3-10-4-6-9-8-11)-(1-5-2-7-3-4-9-8)-(1-2-12)-(1-7-3-9-8)	233
16	(12-10-7-2-6-9-1-11-5-8-3-4)-(12-10-7-2-6-9-1-5-8-3-4)-(12-10-7-2-6-9-1-11-5-8-3-4)-(7-2-9-1-5-8-3-4)-(12-2-1)-(7-9-1-8-3)	233



17	(9-10-3-11-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-10-3-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-10-3-11-2-7-4-6-1-12-8-5)-(9-3-2-7-4-1-8-5)-(2-12-1)-(9-3-7-8-1)	235
18	(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-11-2)-(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-2)-(7-9-6-4-3-12-1-5-10-8-11-2)-(7-9-4-3-1-5-8-2)-(12-1-2)-(7-9-3-1-8)	235
19	(12-6-2-1-9-10-7-8-11-5-3-4)-(12-6-2-1-9-10-7-8-5-3-4)-(12-6-2-1-9-10-7-8-11-5-3-4)-(2-1-9-7-8-5-3-4)-(12-2-1)-(1-9-7-8-3)	237
20	(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-11-8)-(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-8)-(2-3-5-10-9-4-1-7-6-12-11-8)-(2-3-5-9-4-1-7-8)-(2-1-12)-(3-9-1-7-8)	238
	Total <i>Fitness</i> Populasi/Generasi Pertama	4486

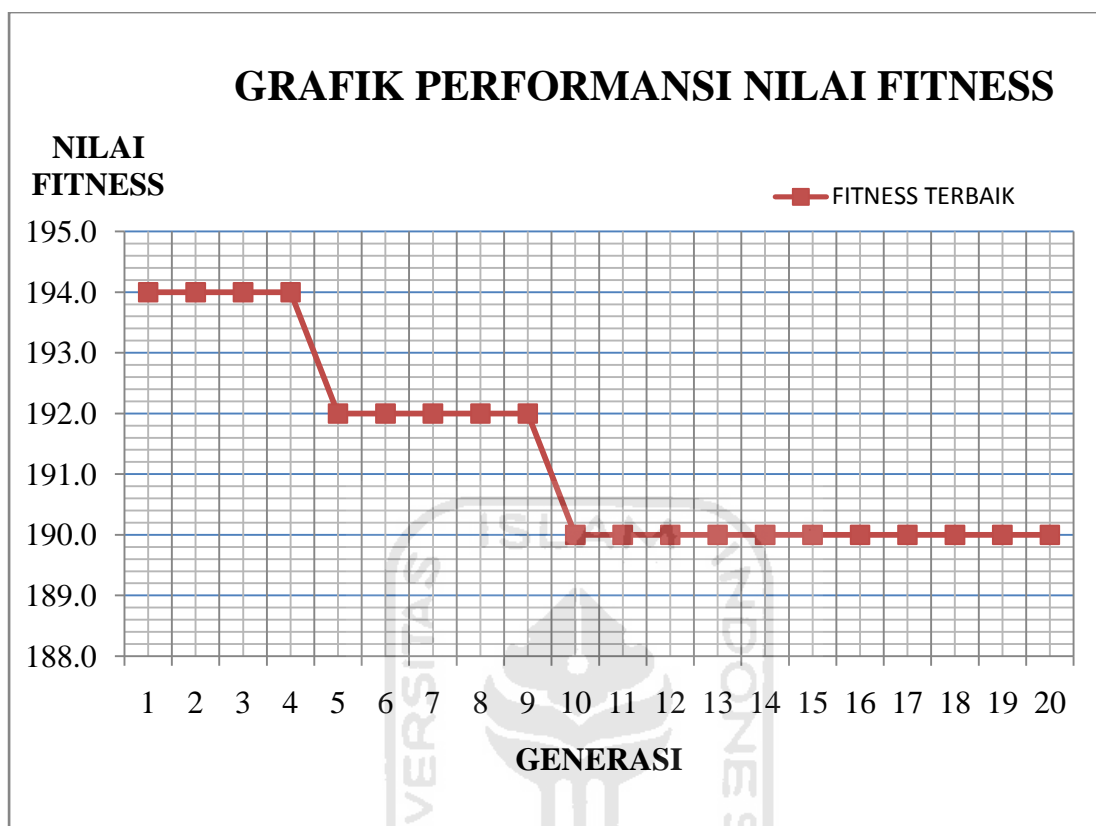


Dari hasil di atas dapat diketahui bahwa individu yang terbaik pada generasi pertama adalah individu V1 dengan nilai *fitness* ( $F_i$ ) sebesar 194 menit yang menunjukkan nilai fungsi *fitness* terkecil. Satu generasi telah terbentuk setelah melewati satu iterasi dalam Algoritma Genetika. Dengan mekanisme algoritma seperti tersebut diatas, algoritma tersebut dijalankan sebanyak 20 kali generasi (*MaxGen*). Setelah dijalankan sebanyak 20 generasi, Algoritma Genetika dihentikan (terminasi) dan memberikan catatan performansi yang dicapai pada setiap generasi, yaitu:

Tabel 4.15 Hasil *Fitness* Terbaik Setiap Generasi

GENERASI	<i>FITNESS</i> TERBAIK
1	194
2	194
3	194
4	194
5	192
6	192
7	192
8	192
9	192
<b>10</b>	<b>190*</b>
11	190
12	190
13	190
14	190
15	190
16	190
17	190
18	190
19	190
20	190

Grafik performansi nilai suaian (*fitness*) terbaik untuk setiap generasinya dapat dilihat pada grafik sebagai berikut :



Gambar 4.2 Grafik Performansi Nilai *Fitness* Setiap Generasi

Maka solusi dari permasalahan pengurutan *job* yang terbaik agar diperoleh *makespan* yang kecil yang dihasilkan oleh Algoritma Genetika yaitu generasi ke-10 karena nilai *fitness* terbaik bernilai tetap sampai jumlah generasi yang maksimal dengan nilai *fitness* terbaik sebesar 190 menit.

Urutan *job* yang terbaik yaitu individu terbaik (*fitness* terkecil) yaitu pada mesin 1 (1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6), mesin 2 (1-7-9-8-2-3-4-12-5-10-6), mesin 3 (1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6), mesin 4 (1-7-9-8-2-3-4-5), mesin 5 (1-2-12), dan mesin 6 (1-7-9-8-3).

Perhitungan *makespan* individu terbaik dari metode Algoritma Genetika dapat dilihat pada tabel:

Tabel 4.16 Perhitungan *Makespan* Individu Terbaik

MA				MB				MC1			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
1	0	10	10	1	10	10	20	1	20	18	38
7	10	15	25	7	25	15	40	7	40	22	62
9	25	15	40	9	40	20	60	8	75	20	95
8	40	15	55	8	60	15	75	3	105	13	118
2	55	10	65	2	75	15	90	4	120	13	133
3	65	10	75	3	90	15	105	5	150	8	158
4	75	10	85	4	105	15	120	10	165	14	179
12	85	15	100	12	120	15	135	6	180	10	<b>190</b>
5	100	15	115	5	135	15	150				
11	115	20	135	10	150	15	165				
10	135	15	150	6	165	15	180				
6	150	15	165								

MC2				MC3				MD			
Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai	Job	Mulai	Durasi	Selesai
9	60	13	73					1	38	20	58
2	90	25	115					7	62	20	82
12	135	146	11					9	82	20	102
11	146	27	173					8	102	15	117
								2	117	10	127
								3	127	15	142
								4	142	20	162
								5	162	15	177

ME				MF			
<i>Job</i>	Mulai	Durasi	Selesai	<i>Job</i>	Mulai	Durasi	Selesai
1	58	25	83	1	83	15	98
2	127	15	142	7	98	20	118
12	146	15	161	9	118	20	138
				8	138	15	153
				3	153	15	168

Dari tabel di atas dapat dihitung nilai *makespan* untuk seluruh *job* pada produk *Coffe Table* dengan metode Algoritma Genetika ini yaitu sebesar 190 menit.



## BAB V

### PEMBAHASAN

Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk menentukan urutan *job* dan penugasan *job* pada mesin untuk meminimalkan *makespan*. Pada bab ini akan difokuskan pada analisa hasil dari uji kecukupan data, uji keseragaman data, perhitungan penjadwalan awal atau kondisi riil di perusahaan yang menggunakan metode FCFS, perhitungan penjadwalan dengan metode SPT serta dengan menggunakan Algoritma Genetika.

Hasil dari metode-metode tersebut akan dibandingkan untuk mencari metode yang menghasilkan *makespan* yang paling kecil (minimal). Berdasarkan hasil analisa data yang disesuaikan dengan rumusan masalah dan tujuan penelitian, maka dilakukan pembahasan sebagai berikut.

#### 5.1 Analisa Hasil Uji Kecukupan dan Keseragaman Data

##### 5.1.1 Uji Kecukupan Data

Dengan menggunakan tingkat keyakinan 95% berarti dari jumlah pengamatan yang telah dilaksanakan sebanyak 30 kali diyakini 95% benar dan derajat kesalahan 5% dari data yang diyakini dihasilkan jumlah pengamatan teoritis ( $N'$ ) lebih kecil dari jumlah pengamatan sebenarnya ( $N$ ). Ini menunjukkan bahwa data yang terkumpul adalah cukup dan mewakili populasinya sehingga data dapat dilanjutkan untuk diuji dengan uji keseragaman data.

### 5.1.2 Uji Keseragaman Data

Data hasil penelitian pada 30 kali pengamatan untuk masing-masing operasi, setelah diplotkan dalam peta kontrol masih dalam wilayah Batas Kontrol Atas (BKA) dan Batas Kontrol Bawah (BKB) sehingga data yang terkumpul adalah seragam dan data tersebut layak digunakan sebagai *input* penjadwalan dalam penelitian ini.

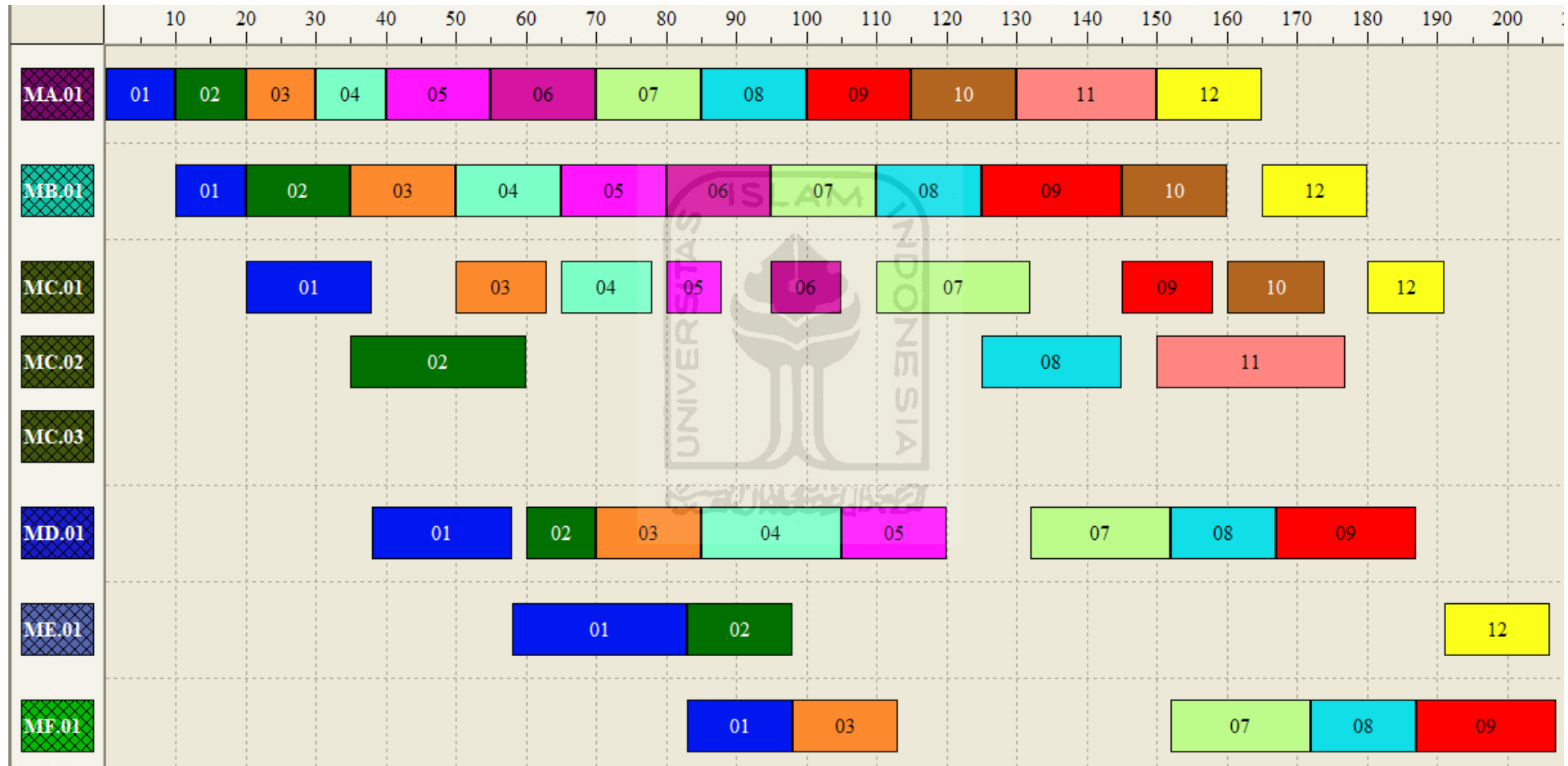
## 5.2 Analisa Penjadwalan Mesin

### 5.2.1 Penjadwalan *Job* Keadaan Awal (FCFS)

Pada departemen produksi CV Agus Jati diperlukan 7 jenis mesin dalam pembuatan produk *Coffe Table*. Pada penjadwalan riil di perusahaan (dengan metode FCFS/*First Come First Serves*), *job* dikerjakan sesuai urutan kedatangan *job* yaitu dimulai dari *job* yang pertama (*part top*) sampai dengan *job* yang terakhir (*part kaki*). Apabila dalam pengerjaan *job* ditemui mesin yang menganggur maka *job* sesudahnya masuk ke mesin yang menganggur sesuai dengan *routing* (urutan/tahapan).

Adapun urutan pengerjaan *job* pada penjadwalan awal (kondisi riil) di perusahaan yaitu (1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12)-(1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-12)-(1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12)-(1-2-3-4-5-7-8-9)-(1-2-12)-(1-3-7-8-9).

Hasil penjadwalan dengan metode dari perusahaan (FCFS) dapat dilihat pada *Gantt Chart* di bawah ini :



Gambar 5.1 *Gantt Chart* Penjadwalan dengan Metode FCFS



Pada mesin MA01 (*planner*), *job* diprosesurut mulai dari *job* 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-11-12 sehingga mesin MA01 beroperasi selama 165 menit mulai dari menit ke 0 sampai menit ke 160 untuk menyelesaikan seluruh *job*. Pada mesin MB01 (*thicknesser*), *job* diprosesurut mulai dari *job* 1-2-3-4-5-6-7-8-9-10-12 sehingga mesin MB01 beroperasi selama 165 menit mulai dari menit ke 10 sampai dengan menit ke 180. Mesin MB01 baru beroperasi mulai dari menit ke 10 karena dengan metode FCFS, mesin MB01 masih menunggu *job* 01 selesai diproses yang masih diproses di mesin sebelumnya (MA01). Kemudian pada menit ke 160 (*job* 10 selesai diproses), mesin MB01 *idle* (tidak ada aktivitas) selama 10 menit sampai dengan menit 165 (*job* 12 mulai diproses). Hal ini dikarenakan mesin MB01 tidak memproses *job* 11 sehingga setelah selesai memproses *job* 10 pada menit ke 160, mesin MB01 baru bisa memproses *job* 12 setelah *job* tersebut selesai di mesin sebelumnya (menit ke 165).

Pada mesin MC yang berjumlah tiga, beban paling banyak dikerjakan oleh MC01 karena MC01 lebih diprioritaskan untuk dipakai. Karena jumlah mesin jenis MC lebih dari satu, maka pekerjaan yang sudah selesai dikerjakan di mesin sebelumnya langsung diproses di mesin yang tidak terpakai (*available*). Pada MB01, *job* 2 selesai diproses pada menit ke 35, tetapi MC01 masih memproses *job* 1 sampai dengan menit ke 38, maka *job* 2 ditugaskan ke mesin MC yang lain yang mengganggu yaitu mesin MC02 dari menit 35 sampai dengan menit ke 60. Hal ini juga dilakukan pada *job* 8 yang baru selesai diproses oleh mesin MB01 pada menit 125 dimana mesin MC01 masih memproses *job* 7 sehingga *job* 8 ditugaskan ke mesin MC yang lain yang mengganggu yaitu mesin MC02 dari menit 125-145.

Kemudian untuk langkah yang sama dilakukan pada *job* 11. *Job* 11 selesai diproses pada mesin 1 pada menit ke 150 tetapi mesin MC01 baru selesai memproses

job 10 pada menit ke 160. Oleh karena itu, *job* 11 ditugaskan ke mesin MC yang lain yang menganggur yaitu mesin MC02 mulai dari menit ke 150 sampai dengan menit 177 dan *job* 12 baru dapat dikerjakan pada menit ke 180 karena menunggu *job* tersebut selesai dikerjakan oleh mesin sebelumnya.

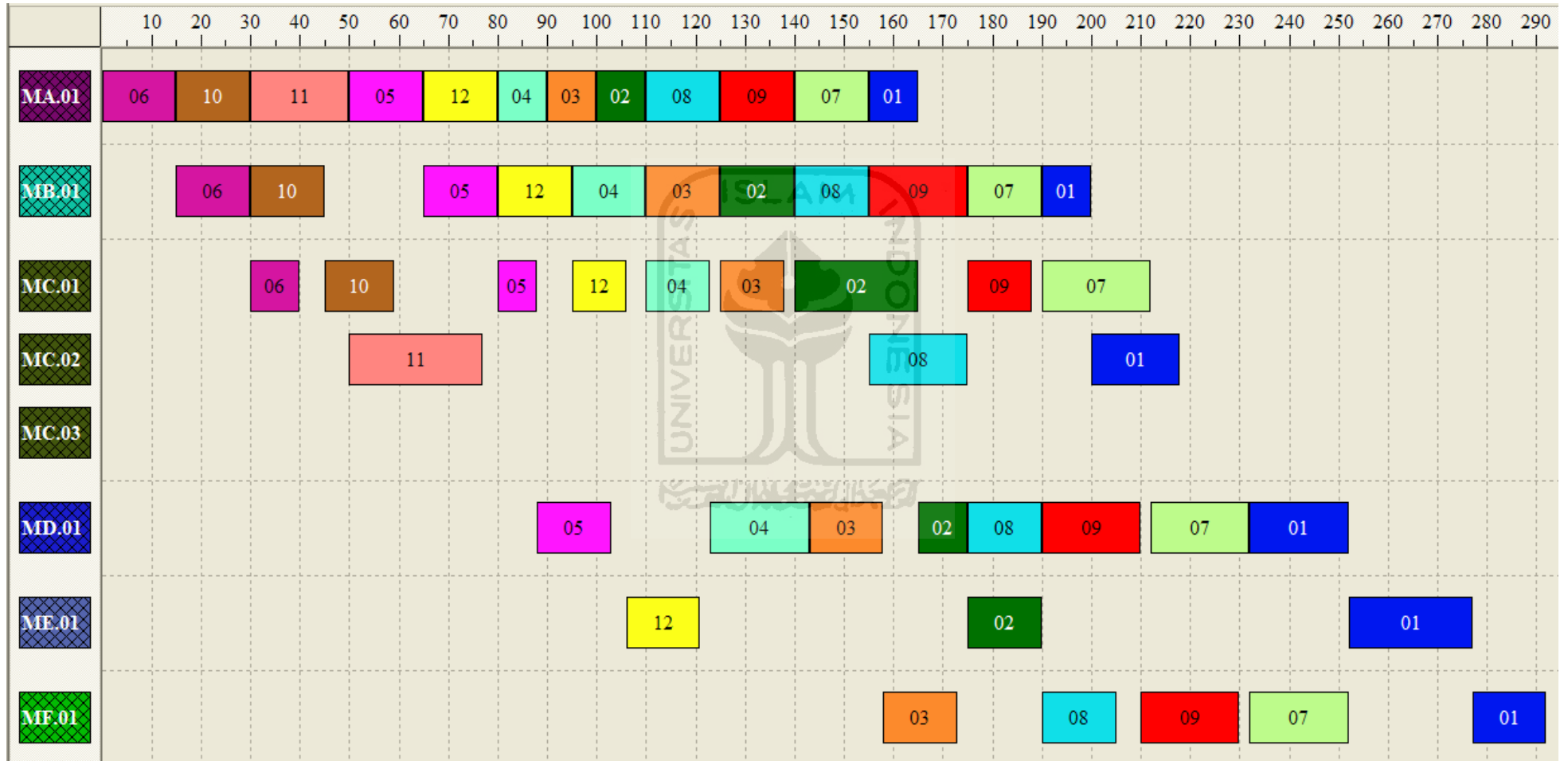
Selanjutnya mesin MD01 mulai beroperasi pada menit ke 38 untuk memproses *job* 1 dan mesin MD01 selesai beroperasi pada menit ke 187 setelah mengerjakan *job* 9. Kemudian mesin ME01 mulai beroperasi pada menit ke 58 untuk memproses *job* 1 dan mesin ME01 selesai beroperasi pada menit ke 206 setelah mengerjakan *job* 9. Kemudian mesin MF01 mulai beroperasi pada menit ke 83 untuk memproses *job* 1 dan mesin MF01 selesai beroperasi pada menit ke 207 setelah mengerjakan *job* 9. Pengerjaan *job* terakhir yaitu terjadi pada *job* 9 di mesin MF01 pada menit ke 207, sehingga *makespan* dengan metode FCFS yaitu 207 menit.

Selain itu terlihat pula bahwa mesin pemotong (*radial*) yang ketiga tidak terbebani oleh *job* (pekerjaan) karena tidak ada *job* yang ditugaskan ke mesin tersebut. Hal ini dikarenakan *job* yang ada sudah mampu dikerjakan dengan dua mesin *radial*. Oleh sebab itu seharusnya mesin *radial* ketiga (MC03) dihilangkan saja.

### 5.2.2 Penjadwalan *Job* dengan Metode *Shortest Processing Time* (SPT)

Perhitungan dengan metode SPT, dimana urutan pengerjaan *job* dimulai dari *job* dengan waktu proses terpendek dilanjutkan sampai dengan waktu proses terpanjang dari *job* 1 sampai *job* 12 sehingga urutan penjadwalan *job* yaitu (6-10-11-5-12-4-3-2-8-9-7-1) - (6-10-5-12-4-3-2-8-9-7-1) - (6-10-11-5-12-4-3-2-8-9-7-1) - (5-4-3-2-8-9-7-1) - (12-2-1) - (3-8-9-7-1). Apabila dalam pengerjaan *job* ditemui mesin yang menganggur maka *job* sesudahnya masuk ke mesin yang menganggur sesuai dengan *routing* (urutan/tahapan).

Hasil penjadwalan dengan metode SPT dapat dilihat pada *Gantt Chart* :



Gambar 5.2 *Gantt Chart* Penjadwalan dengan Metode SPT

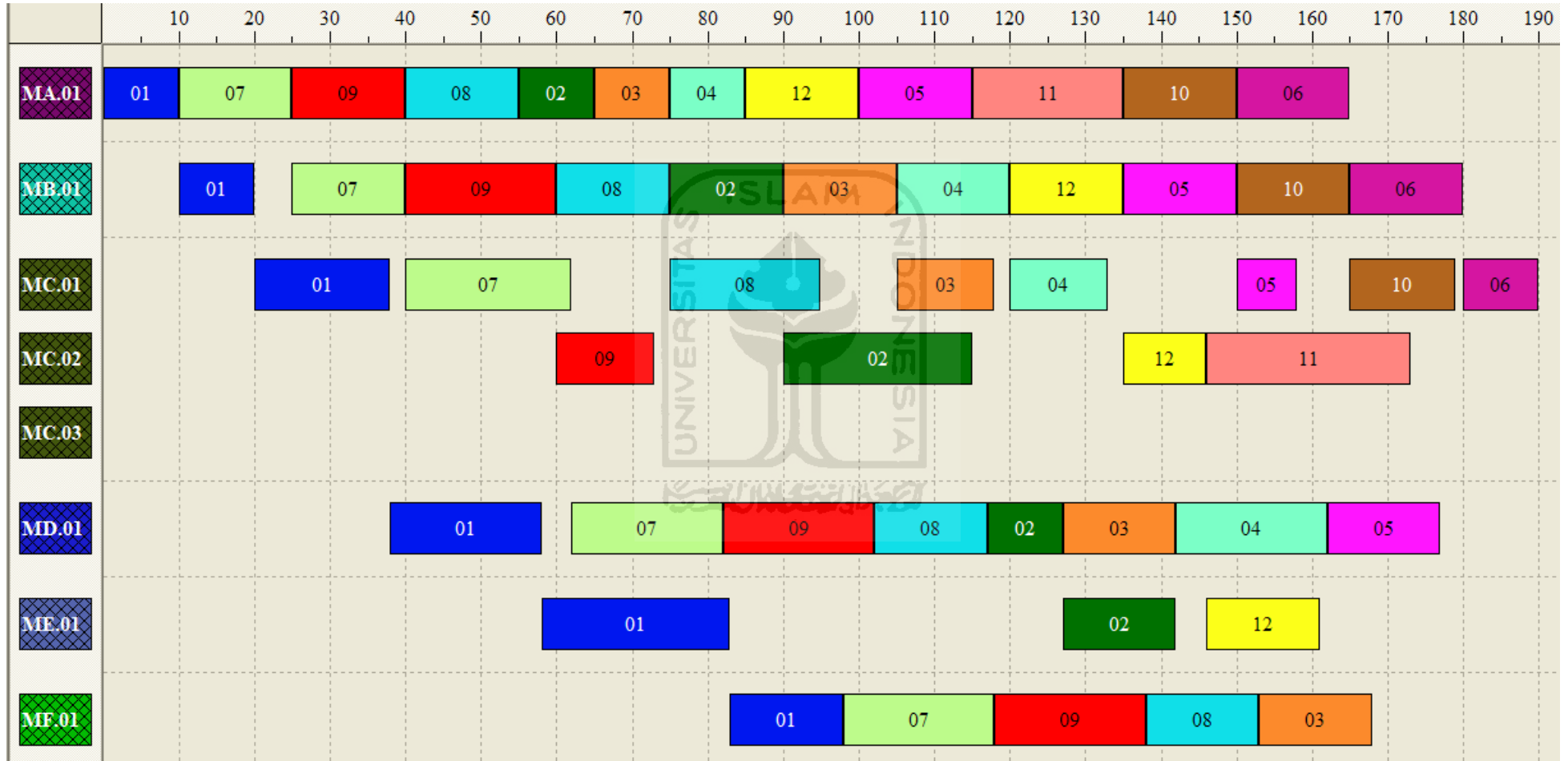
Pada mesin *planner* (MA01), *job-job* yang ada dikerjakan sesuai dengan urutan 6-10-11-5-12-4-3-2-8-9-7-1 mulai dari menit pertama sampai dengan menit ke 165. Kemudian mesin MB01 (*thicknesser*) juga memproses *job* dengan urutan yang sama sesuai dengan mesin MA01 tetapi baru dimulai pada menit ke 15 karena menunggu *job* 6 selesai dulu dikerjakan di mesin MA01. Selain itu, karena mesin MB02 tidak memproses *job* 11, maka setelah *job* 10 selesai (menit 45), mesin MB01 *idle* (tidak beroperasi) selama 20 menit sampai dengan menit ke 65. Hal ini dikarenakan mesin MB02 baru bisa memproses *job* 5 setelah *job* tersebut selesai diproses di mesin sebelumnya yaitu di mesin MA01 pada menit ke 65. Jadi mesin MB01 akan beroperasi sampai dengan menit 200 untuk mengerjakan tugasnya bagi seluruh *job* yang melalui mesin MB01 tersebut.

Pada mesin MC, *job* diproses urut sesuai dengan urutan pada mesin MA01 yaitu 6-10-11-5-12-4-3-2-8-9-7-1. Setelah MC01 selesai mengerjakan *job* 10 (menit 59), *job* 11 tidak harus menunggu mesin MC01 selesai mengerjakan *job* 10 tetapi *job* 11 langsung ditugaskan ke mesin MC yang lain yang sudah menganggur yaitu mesin MC02 setelah *job* 11 selesai dikerjakan oleh mesin MA01 pada menit ke 50. Hal ini juga dilakukan untuk *job* 8 dan *job* 1. Pengerjaan *job* terakhir yaitu pada *job* 1 di mesin MF01 pada menit ke 292, sehingga *makespan* dengan metode SPT yaitu 29 menit.

### 5.2.3 Analisa Optimasi Penjadwalan Produksi dengan AG

Hasil penjadwalan menggunakan Algoritma Genetika dengan *set parameter* ukuran populasi (*pop\_size*) = 20, *MaxGen* = 20, *Pc* = 90%, *Pm* = 20% maka didapatkan urutan *job* yang terbaik yaitu (1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-12-5-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-5)-(1-2-12)-(1-7-9-8-3).

Hasil penjadwalan dengan metode Algoritma Genetika dapat dilihat pada *Gantt Chart* di bawah ini :



Gambar 5.3 *Gantt Chart* Penjadwalan dengan Metode Algoritma Genetika

Dari *Gantt Chart* di atas, urutan *job* pada mesin MA01 yaitu 1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6 yang dimulai pada menit pertama dan selesai pada menit ke 165. Kemudian pada mesin MB01, urutan *job* yaitu 1-7-9-8-2-3-4-12-5-10-6 yang dimulai dari menit ke 10 (setelah *job* 1 selesai di mesin MA01) dan selesai pada menit ke 180.

Pada mesin MC, urutan *job* yang dihasilkan sama dengan pada mesin MA01 hanya saja *job* 9, 2, 12 dan 11 dikerjakan pada mesin MC02. Hal ini dikarenakan *job-job* tersebut sudah lebih dahulu selesai diproses di mesin sebelumnya tetapi mesin MC01 masih memproses *job* sebelumnya. Mesin MD01 mulai beroperasi mengerjakan *job* 1 pada menit ke 38 dan selesai beroperasi pada menit ke 177 (waktu selesai *job* 5 di mesin MC01). Kemudian mesin ME01 mulai mengerkalan *job* 1 pada menit ke 58 dan selesai beroperasi pada menit 160 (waktu selesai *job* 12 di mesin ME01). Selanjutnya mesin MF01 mulai mengerkalan *job* 1 pada menit ke 83 dan selesai beroperasi pada menit 168 (waktu selesai *job* 3 di mesin MF01).

Pengerjaan *job* terakhir yaitu pada *job* 6 di mesin MC01 pada menit ke 190, sehingga *makespan* dengan metode AG yaitu 190 menit. Selain itu terlihat pula bahwa mesin pemotong (*radial*) yang ketiga tidak terbebani oleh *job* (pekerjaan) karena tidak ada *job* yang ditugaskan ke mesin tersebut. Hal ini dikarenakan *job* yang ada sudah mampu dikerjakan dengan dua mesin *radial*. Oleh sebab itu seharusnya mesin *radial* ketiga (MC03) dihilangkan saja.

### 5.3 Perbandingan Metode terhadap Nilai Obyektif

Dari hasil pengolahan data, dapat diketahui bahwa *makespan* yang dihasilkan dari metode yang diusulkan berbeda-beda. Nilai *makespan* pada beberapa metode di atas dapat dilihat pada tabel berikut:

Tabel 5.1 *Makespan* Beberapa Metode

Obyektif	Metode		
	FCFS	SPT	AG
<i>Makespan</i> (menit)	207	292	190

Berdasarkan hasil analisis tersebut, dapat diperbandingkan bahwa Algoritma Genetika memberikan peningkatan performansi yang lebih baik. Dalam hal ini, perbandingan yang dilakukan adalah *makespan* pada kondisi awal dengan kondisi sesudah dilakukan optimasi dengan Algoritma Genetika. Perbandingan dilakukan untuk mengetahui seberapa besar pengaruh Algoritma Genetika pada sistem.

*Makespan* pada kondisi awal diperoleh hasil sebesar 207 menit sedangkan setelah dilakukan optimasi diperoleh hasil sebesar 190 menit. Hal ini membuktikan bahwa optimasi dengan Algoritma Genetika dapat menurunkan *makespan* sebesar 17 menit. Maka metode Algoritma Genetika merupakan solusi terbaik pada permasalahan penjadwalan pada penelitian ini.

## BAB VI

### KESIMPULAN DAN SARAN

#### 6.1 Kesimpulan

Berdasarkan pada pengolahan data dan analisa data yang yang disesuaikan dengan rumusan masalah, maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. *Makespan* pada keadaan awal di perusahaan (metode FCFS) adalah sebesar 207 menit, metode SPT sebesar 292 menit sedangkan pada metode Algoritma Genetika diperoleh *makespan* sebesar 190 menit.
2. Urutan *job* yang optimal yaitu penjadwalan dengan metode Algoritma Genetika dengan urutan (1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-12-5-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-12-5-11-10-6)-(1-7-9-8-2-3-4-5)-(1-2-12)-1-7-9-8-3).

#### 6.2 Saran

Dari kesimpulan yang didapatkan, maka saran yang dapat diberikan yaitu:

1. Sebaiknya perusahaan menggunakan solusi penjadwalan dengan metode Algoritma Genetika di atas yang memberikan hasil yang lebih baik dalam hal menurunkan *makespan* dan perusahaan sebaiknya juga mengurangi jumlah mesin pemotong (radial) yang dari hasil penjadwalan optimal terlihat bahwa mesin radial yang dibutuhkan cukup dengan jumlah 2 buah.
2. Penelitian sebaiknya dikembangkan dengan multi fungsi tujuan (misal *makespan* dan *tardy job*) dengan metode lain seperti *Tabu Search* atau *Simulated Annealing*.



## DAFTAR PUSTAKA

- Baker, K.R., (1974). *Introducing to Sequencing and Scheduling*, John Wiley & Sons, Inc. New York., 3-14, 177-208
- Banks, J., Carson II, J.S., Nelson B.L., dan Nicol D.M. (2010), *Discrete-Event System Simulation*, 5th Edition, Prentice-Hall, New Jersey.
- Bedworth, D.D., (1987). *Integrated Production Control System*, White Mountain.
- Bierwirth, C., D.C. Mattfield, (1999). "Production Scheduling and Rescheduling with Genetic Algorithm", *Evolutionary Computation*, 7 (1), 1999, 1-17.
- Chairul Saleh, Azmi Hassan., Md. Yusoff Jamaluddin., (2002), Optimasi Ukuran Lot Menggunakan Pengulangan Ganda Algoritma Genetika. *Proceeding Seminar Nasional Teknik Industri dan Manajemen Produksi TIMP 2002*, 207-212. 6-7 Agustus, Surabaya.
- Conway, R.W., Maxwell, W.I., and Miller, L.W., (1967). *Theory of Scheduling*, Addison Wesley, Massachusetts., 1-7, 103-124.
- Dimiyati, T.T., dkk, (1999). "Model Optimasi untuk Integrasi Alokasi Produksi dengan Penjadwalan Operasi Job Shop dan Perencanaan Kapasitas", *Jurnal Teknik dan Manajemen Industri*, 19 (1), April 1999, 17-28.
- Elsayed, A., dan Thomas, O., Boucher., (1994). *Analysis and Control of Production System*, Second Edition, PTR Prentice-Hall, Inc.
- Fayad, C. dan Petrovic, S. (2005), "A Genetic Algorithm for The Real-World Fuzzy Job Shop Scheduling", dalam *Innovations in Applied Artificial Intelligence: 18th International Conference on Industrial and Engineering Applications of Artificial Intelligence and Expert Systems IEA/AIE 2005 Bari, Italy, June 2005*, Proceedings, eds. Ali, M. dan Esposito, F., Springer, Berlin, hal. 524-533.

- Fogarty D.W., Blackstone, Jr. J.H., dan Hoffmann, T.R., (1991). *Production & Inventory Management*, Second Edition. South-Western Publishing Co. Ohio.
- Garrett, D., Vannucci, J., Silva, R., Dasgupta, D., dan Simien, J. (2005), "Genetic Algorithms for the Sailor Assignment Problem", *Proceedings of the 2005 Conference on Genetic and Evolutionary Computation, International Society for Genetic and Evolutionary Computation*, Washington DC, hal. 1921-1928.
- Gasperz, Vincent. (1998). *Production Planning and Inventory Control*. Jakarta: PT. Gramedia Pustaka Utama.
- Gen, M. and Cheng, R. (1997), *Genetic Algorithms and Engineering Design*, John Wiley & Sons.
- Goldberg, David E., (1989). *Genetic Algorithms, in Search, Optimization and Machine Learning*, Addison-Wesley Publishing Co. Inc.
- Harrell, C., Ghosh, B.K., dan Boyden, R.O. (2003), *Simulation Using Promodel*, 2nd Edition, McGraw-Hill, New York.
- Hejazi, S.R. dan Saghafian, S. (2005), "Flowshop-scheduling Problems with Makespan Criterion: A Review", *International Journal of Production Research*, Vol. 43, No. 14, hal 2895-2929.
- Husbands, P., (2000). *Genetic Algorithms for Scheduling*, School of Cognitive and Computing Sciences, University of Sussex.
- Kelton, W., Sadowski, R.P., dan Sturrock, D.T. (2009), *Simulation with Arena*, 5<sup>th</sup> Edition, McGraw-Hill, New York.
- Koza, J., (2001). *Genetic Algorithm*, <http://cs.felk.cvut.cz/~xobitko/ga/intro.html>
- Lam K.C., Ning, X., dan Gao, H. (2009), "The Fuzzy GA-based Multi-Objective Financial Decision Support Model for Chinese State-owned Construction Firms", *Automation in Construction*, Vol. 18, No. 4, hal. 402-414.

- Lin, S., Goodman, E., Punch, W., (1997). A Genetic algorithm approach to dynamic job shop scheduling problems, dalam Back, T., editor, *Proceedings of the Seventh International Conference on Genetic Algorithms*, 481 – 489, Morgan Kaufmann.
- Manderick, B., (1991). “Selectionism as a Basis of Categorization and Adaptive Behavior”, *PhD. Dissertation*, Faculty of Sciences, Vrije Universiteit Brussel.
- Morton, T.E. dan Pentico, D.W. (1993), *Heuristics Scheduling Systems: With Applications to Production Systems and Project Management*, John Willey & Sons, New York.
- Nagano, M.S. dan Moccellini, J.V. (2002), “A High Quality Solution Constructive Heuristic for Flow Shop Sequencing”, *Journal of The Operational Research Society*, Vol. 53, No. 12, hal. 1374-1379.
- Nagano, M.S., Ruiz, R., dan Lorena, L.A.N. (2008), “A Constructive Genetic Algorithm for Permutation Flowshop Scheduling”, *Computers and Industrial Engineering*, Vol. 55, No.1, hal. 195-207.
- Narashiman, S. L., McLeavey, D. W., dan Bilington, P. J., (1995). *Production Planning and Inventory Control*, Prentice-Hall International, Inc., New Jersey.
- Pinedo, Michael. (2002). *Scheduling Theory, Algorithm, and Systems*, Second Edition. New Jersey: Prentice Hall Inc.
- Pitrasari, R.O, Wiratno, S.E., dan Suwignjo, P. (2009), *Penjadwalan Dua Mesin Flow Shop Untuk Meminimasi Total Tardiness Dengan Memperhatikan Ketidaktersediaan pada Kedua Mesin*, Tugas Akhir Jurusan Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh November, Surabaya.
- Saputro, N., (2003). “Pengenalan Huruf dengan memakai Algoritma Genetik”, *Jurnal Integral*, Volume 8, no. 2.

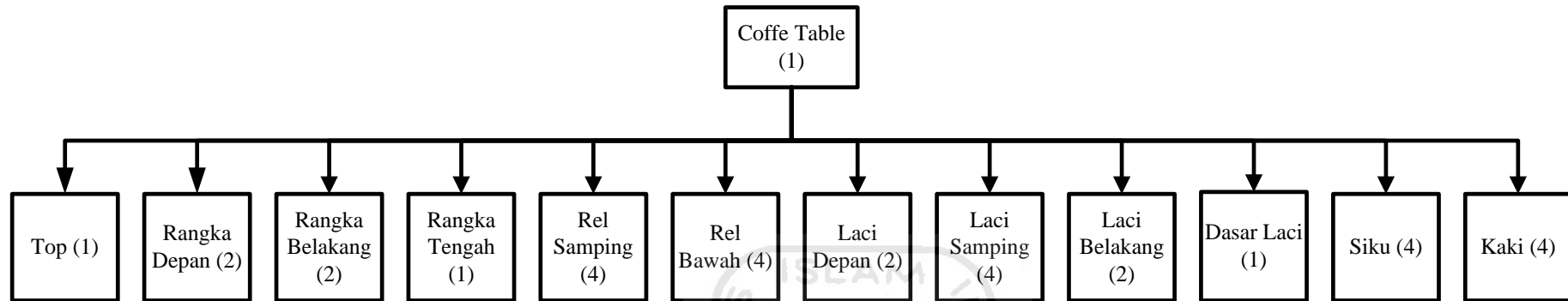
Tagawa, S., (1996). "A New Concept of *Jobshop* Schedulling System Hierarchical Decision Model", *International Journal of Production Economics*, vol. 44, no.12.Wiley & Sons, New York.

Vallada, E. dan Ruiz, R. (2010), "Genetic Algorithms with Path Relinking for The Minimum Tardiness Permutation Flowshop Problem", *OMEGA: The International Journal of Management Science*, Vol. 38, Vol. 1-2, hal. 57-67.





# LAMPIRAN



Bagan Struktur Produk (*Bill of Material*)

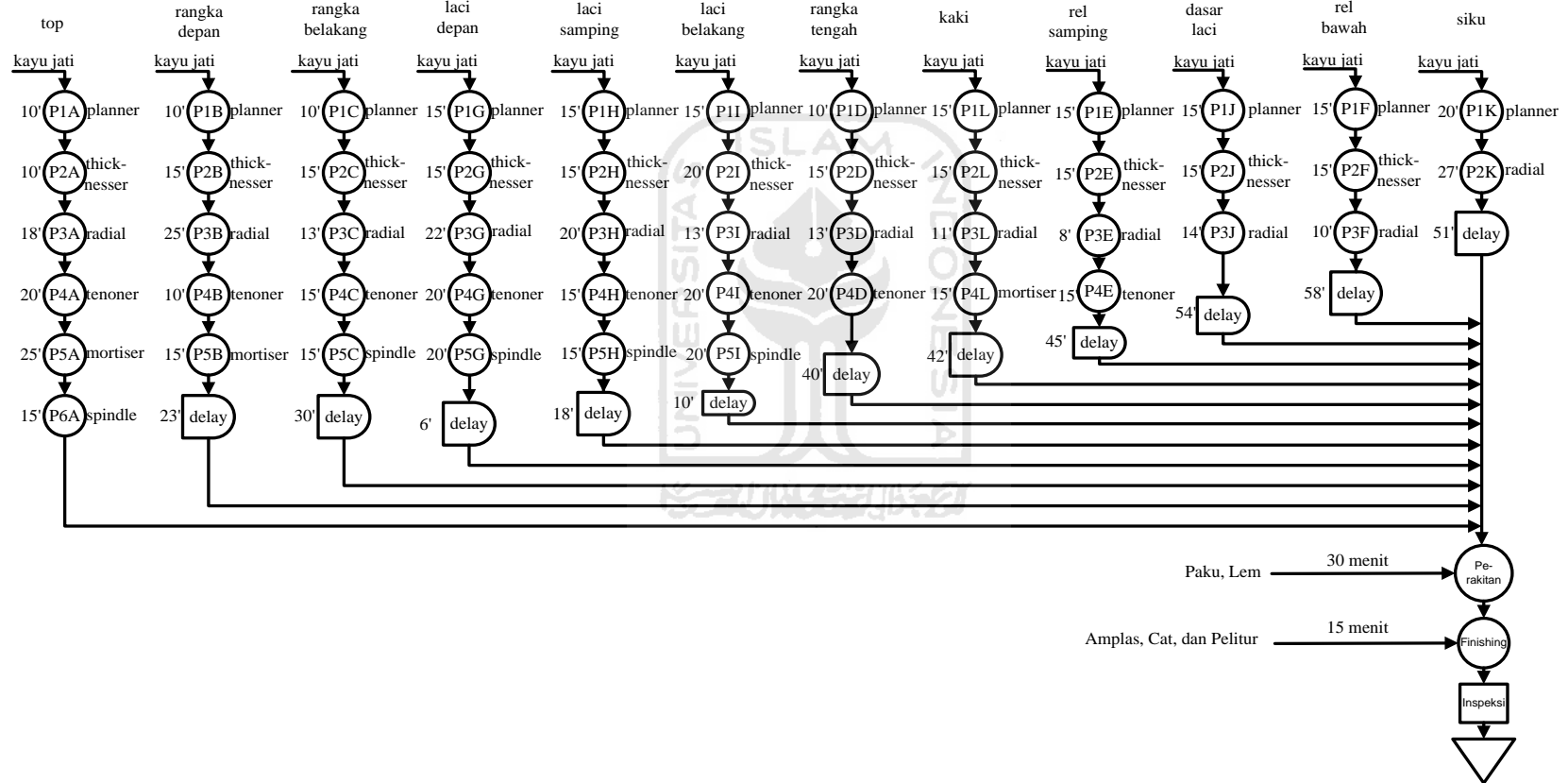


**PETA PROSES OPERASI**

Nama Produk : Indoor Coffe Table 130X70X40 Teak

Dipetakan Oleh : Bayu Wijanarko

Tanggal Dipetakan : 14 September 2011



**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part Top* di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	15	16	20
2	17	17	20
3	19	18	20
4	18	19	15
5	16	20	17
6	21	21	21
7	18	22	20
8	19	23	17
9	18	24	18
10	15	25	16
11	19	26	19
12	16	27	18
13	19	28	20
14	19	29	22
15	16	30	20

$$\bar{X} = 18,27 = 18$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 548$$

$$\sum (X^2) = 10118$$

$$\sum X^2 = 300304$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 17,24$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,93$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 22,12$$

$$\text{max} = 22$$

$$\text{min} = 15$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 14,41$$



**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Rangka Depan di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	27	16	24
2	30	17	29
3	25	18	20
4	24	19	30
5	23	20	24
6	20	21	28
7	24	22	23
8	28	23	21
9	25	24	28
10	27	25	24
11	22	26	19
12	23	27	25
13	28	28	28
14	22	29	30
15	23	30	22

$$\bar{X} = 24,87 = 25$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 746$$

$$\sum (X^2) = 18844$$

$$\sum X^2 = 556516$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 25,31$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 3,18$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 31,23$$

$$\text{max} = 30$$

$$\text{min} = 19$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 18,50$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Rangka Belakang di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	13	16	14
2	12	17	12
3	14	18	13
4	10	19	15
5	14	20	14
6	12	21	14
7	10	22	10
8	16	23	14
9	12	24	15
10	13	25	14
11	15	26	14
12	12	27	13
13	10	28	12
14	14	29	14
15	10	30	14

$$\bar{X} = 12,97 = 13$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 389$$

$$\sum (X^2) = 5127$$

$$\sum X^2 = 151321$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 26,32$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,69$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 16,35$$

$$\text{max} = 16$$

$$\text{min} = 10$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 9,58$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Rangka Tengah di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	15	16	13
2	16	17	15
3	14	18	10
4	13	19	14
5	12	20	13
6	10	21	16
7	13	22	12
8	16	23	11
9	14	24	14
10	13	25	13
11	12	26	10
12	14	27	14
13	15	28	15
14	11	29	16
15	12	30	13

$$\bar{X} = 13,30 = 13$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 399$$

$$\sum (X^2) = 5401$$

$$\sum X^2 = 159201$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 28,43$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,80$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 16,91$$

$$\text{max} = 16$$

$$\text{min} = 10$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 9,96$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Rel Samping di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	9	16	8
2	10	17	9
3	8	18	7
4	8	19	10
5	7	20	8
6	7	21	9
7	8	22	8
8	9	23	7
9	8	24	9
10	9	25	8
11	7	26	10
12	8	27	8
13	9	28	9
14	7	29	9
15	8	30	7

$$\bar{X} = 8,27 = 8$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 248$$

$$\sum (X^2) = 2076$$

$$\sum X^2 = 61504$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 20,19$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 0,94$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 10,16$$

$$\text{max} = 10$$

$$\text{min} = 7$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 6,38$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Rel Bawah di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	8	16	11
2	9	17	11
3	11	18	11
4	10	19	8
5	9	20	9
6	12	21	11
7	10	22	11
8	10	23	9
9	10	24	9
10	8	25	8
11	11	26	10
12	8	27	10
13	10	28	11
14	10	29	12
15	9	30	11

$$\bar{X} = 10 = 10$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 297$$

$$\sum (X^2) = 2983$$

$$\sum X^2 = 88209$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 23,24$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,21$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 12,33$$

$$\text{max} = 12$$

$$\text{min} = 8$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 7,47$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Laci Depan di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	24	16	19
2	23	17	20
3	24	18	22
4	23	19	21
5	22	20	26
6	23	21	21
7	22	22	20
8	25	23	22
9	21	24	25
10	20	25	21
11	23	26	25
12	20	27	25
13	19	28	21
14	24	29	25
15	22	30	22

$$\bar{X} = 22,33 = 22$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 670$$

$$\sum (X^2) = 15076$$

$$\sum X^2 = 448900$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 12,05$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,97$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 26,68$$

$$\text{max} = 26$$

$$\text{min} = 19$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 18,39$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Laci Samping di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	22	16	17
2	21	17	18
3	22	18	20
4	21	19	19
5	20	20	23
6	21	21	19
7	20	22	18
8	23	23	20
9	19	24	20
10	18	25	19
11	22	26	23
12	18	27	23
13	24	28	22
14	22	29	19
15	20	30	20

$$\bar{X} = 20,43 = 20$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 613$$

$$\sum (X^2) = 12625$$

$$\sum X^2 = 375769$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 12,69$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,85$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 24,14$$

$$\text{max} = 24$$

$$\text{min} = 17$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 16,73$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Laci Belakang di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	11	16	11
2	14	17	12
3	15	18	13
4	14	19	12
5	13	20	15
6	14	21	12
7	14	22	11
8	15	23	13
9	13	24	12
10	12	25	13
11	11	26	11
12	12	27	15
13	15	28	14
14	14	29	13
15	13	30	13

$$\bar{X} = 13$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 390$$

$$\sum (X^2) = 5122$$

$$\sum X^2 = 152100$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 16,41$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,34$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 15,68$$

$$\text{max} = 15$$

$$\text{min} = 11$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 10,32$$



**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Dasar Laci di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	16	16	12
2	15	17	13
3	16	18	14
4	15	19	13
5	14	20	16
6	15	21	13
7	13	22	12
8	17	23	14
9	14	24	13
10	13	25	15
11	16	26	13
12	13	27	16
13	17	28	15
14	15	29	14
15	14	30	15

$$\bar{X} = 14,37 = 14$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 431$$

$$\sum (X^2) = 6249$$

$$\sum X^2 = 185761$$

$$N^* = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^* = 14,72$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,40$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 17,17$$

$$\text{max} = 17$$

$$\text{min} = 12$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 11,56$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Siku di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	29	16	26
2	33	17	32
3	27	18	22
4	26	19	32
5	25	20	26
6	22	21	30
7	26	22	25
8	30	23	23
9	27	24	30
10	30	25	26
11	24	26	25
12	25	27	28
13	30	28	31
14	24	29	32
15	25	30	24

$$\bar{X} = 27,17 = 27$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 815$$

$$\sum (X^2) = 22435$$

$$\sum X^2 = 664225$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N(\sum X^2) - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 21,26$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 3,18$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 33,54$$

$$\text{max} = 33$$

$$\text{min} = 22$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 20,80$$

**Data Pengamatan Waktu Proses *Job Part* Kaki di Mesin Radial**

No.	Waktu Proses (menit)	No.	Waktu Proses (menit)
1	12	16	11
2	13	17	13
3	11	18	9
4	12	19	13
5	11	20	11
6	9	21	12
7	11	22	11
8	13	23	10
9	11	24	12
10	12	25	11
11	10	26	9
12	11	27	12
13	12	28	13
14	10	29	13
15	9	30	10

$$\bar{X} = 11,23 = 11$$

$$N = 30$$

$$k = 2$$

$$s = 0,05$$

$$\sum X = 337$$

$$\sum (X^2) = 3835$$

$$\sum X^2 = 113569$$

$$N^2 = \left( \frac{k/s \sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right)^2$$

$$N^2 = 20,86$$

$$\text{standar deviasi } (\sigma) = 1,30$$

$$\text{BKA} = \bar{X} + k\sigma = 13,84$$

$$\text{max} = 13$$

$$\text{min} = 9$$

$$\text{BKB} = \bar{X} - k\sigma = 8,62$$