

**ANALISIS DAN PEMODELAN PENJADUALAN PRODUKSI
UNTUK MULTIPRODUCT – MULTISTAGE DENGAN
METODE GENETIC ALGORITHM
DI
PT. HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY INDONESIA**



TESIS

**DEDI RACHADI
0606004331**

**PROGRAM TEKNIK INDUSTRI
FAKULTAS TEKNIK
UNIVERSITAS INDONESIA
SALEMBA
2008**



UNIVERSITAS INDONESIA

**ANALISIS DAN PEMODELAN PENJADUALAN PRODUKSI
UNTUK MULTIPRODUCT – MULTISTAGE DENGAN METODE
GENETIC ALGORITHM
DI
PT. HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY INDONESIA**

TESIS

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Magister Teknik

**DEDI RACHADI
0606004331**

**Kekhususan Teknik Industri
Program Studi Teknik Industri
Fakultas Teknik
Universitas Indonesia
Salemba, 2008**

LEMBAR PENGESAHAN

Tesis ini diajukan oleh

Nama : Dedi Rachadi
NPM : 0606004331
Program Studi : Teknik Industri
Judul Tesis : Analisis dan Pemodelan Penjadwalan Produksi Untuk Multiproduct - Multistage Dengan Metode Genetic Algorithm di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia

Telah berhasil dipertahankan di hadapan Dewan Penguji dan diterima sebagai bagian persyaratan yang diperlukan untuk memperoleh gelar Magister Teknik pada Program Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Amar Rachman, MEIM
Pembimbing : Ir. Fauzia Dianawati, Msi
Penguji : Ir. Boy Nurchayo M., MSIE
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE
Penguji : Ir. Isti Surjandari, MT, MA, Ph.D

Jakarta, 11 Juli 2008

UCAPAN TERIMA KASIH

Puji syukur penulis panjatkan kehadirat Allah s.w.t atas segala berkat dan rahmat-Nya, tesis ini dapat terselesaikan. Penyusunan tesis ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Magister Teknik Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Banyak bantuan yang penulis terima dari berbagai pihak dalam proses penyusunan tesis ini, untuk itu penulis mengucapkan terima kasih kepada;

1. Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM dan Ibu Ir. Fauzia Dianawati, Msi selaku pembimbing yang telah menyediakan waktu dan pikiran dalam mengarahkan penulis menyusun tesis ini.
2. Pihak PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia yang telah membantu menyediakan data yang diperlukan.
3. Istri dan keluarga yang telah memberikan dukungan motivasi untuk menyelesaikan penelitian ini.
4. Teman-teman yang senantiasa menyemangati penulis dalam menyelesaikan penyusunan tesis ini.

Akhirnya, penulis berdoa semoga Allah s.w.t membalas segala kebaikan bapak, ibu dan saudara-saudara semua. Dan semoga penelitian ini bermanfaat bagi pengembangan ilmu pengetahuan.

Depok, 7 Juli 2008

Penulis

**LEMBAR PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
KARYA ILMIAH UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS
(Hasil Karya Perorangan)**

Sebagai sivitas akademik Universitas Indonesia, saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : DEDI RACHADI
NPM : 0606004331
Program Studi : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis karya : Tesis

Demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif (*Non-exclusive Royalty-Free Right*)** atas karya ilmiah saya yang berjudul;

Analisis dan Pemodelan Penjadualan Produksi Untuk Multiproduct-Multistage Dengan Metode Genetic Algorithm di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia

Beserta perangkat yang ada (bila diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Non-Eksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelolanya dalam bentuk pangkalan data (database), mendistribusikannya, dan menampilkan/mempublikasikannya di Internet atau media lain untuk kepentingan akademis tanpa perlu meminta ijin dari saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta. Segala bentuk tuntutan hukum yang timbul atas pelanggaran Hak Cipta dalam karya ilmiah ini menjadi tanggung jawab saya pribadi.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Jakarta
Pada tanggal : 7 Juli 2008
Yang menyatakan

(Dedi Rachadi)

ABSTRAK

Nama :DEDI RACHADI
Program Studi :Teknik Industri
Judul :Analisis dan Pemodelan Penjadualan Produksi Untuk *Multiproduct-Multistage* Dengan Metode *Genetic Algorithm* di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia

Penelitian ini mengenai pemodelan untuk penjadualan produksi *mini boom* dan *mini arm* di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia. Proses produksi untuk kedua produk ini memiliki tipikal *flexible flow shop* dengan variasi type barang mencapai 12 jenis. Setiap type barang harus melalui tiga tahapan proses yang harus dilakukan secara berurut. Adanya limitasi fleksibilitas proses pada dua buah tahapan menyebabkan masalah penjadualan menjadi kompleks.

Pendekatan yang dilakukan untuk memecahkan masalah penjadualan ini adalah dengan menerapkan dua metode *dispatching rule*, yaitu SPT (*shortest processing time*) dan EFT (*earliest finish time*). Metode lain yang digunakan adalah pengelompokan unit pesanan ke dalam sebuah *family* untuk meminimalkan kendala limitasi fleksibilitas proses pada dua buah tahapan. Kombinasi ketiga metode ini dituangkan ke dalam suatu algoritma *multiproduct-multistage* dan diaplikasikan pada inisialisasi solusi. Dari inisialisasi solusi ini dihasilkan penjadualan awal untuk masing-masing tahapan.

Optimasi dilakukan terhadap inisialisasi solusi dengan menggunakan *Genetic Algorithm*. *Genetic Algorithm* akan mencari solusi terbaik yang mendekati optimal melalui serangkaian proses seleksi terhadap sekumpulan alternatif solusi yang ada.

Kata kunci:

Penjadualan, *flexible flow shop*, *multi-product*, *multistage*, *dispatching rule*, *Genetic Algorithm*

ABSTRACT

Name :DEDI RACHADI
Study Program :Industrial Engineering
Title :Analysis and Modeling of Multiproduct-Multistage Scheduling
Using *Genetic Algorithm* in PT. Hitachi Construction Machinery
Indonesia

The study concerns in modeling the production schedule of mini boom and mini arm in PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia. The process of both products is categorized as flexible flow shop with 12 different types of product. Each product is processed through three stages with fixed sequence. There is a limitation of process flexibility among two of three stages that also causes the scheduling become difficult to arrange.

Some dispatching rule is applied to solve the schedule problem. SPT (*shortest processing time*) and EFT (*earliest finish time*) is the two of dispatching rule which used for this kinds of problem. The other method that also carried out with those two dispatching rule is job families approaching. Job families approaching will minimize the effect of limited process flexibility. Those combined methods will be developed to be an algorithm called multiproduct-multistage algorithm and applied to the initial solution. The initial solution consists of the schedule of each stage.

Initial solution is optimized by using Genetic Algorithm. Genetic Algorithm is search process of the best solutions among possible solutions by simulating the natural evolutionary process.

Keywords:

Scheduling, *flexible flow shop*, *multi-product*, *multistage*, *dispatching rule*, *Genetic Algorithm*

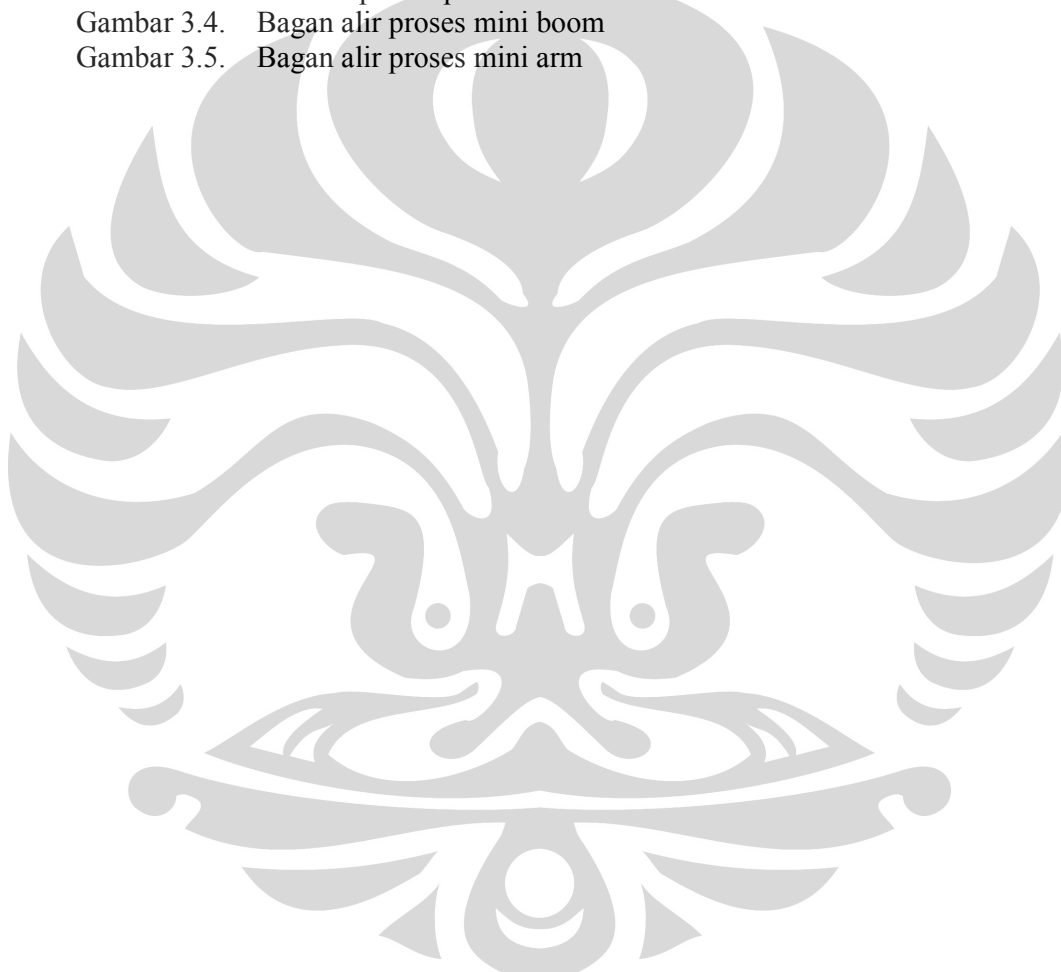
DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
LEMBAR PENGESAHAN	ii
UCAPAN TERIMA KASIH	iii
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH	iv
ABSTRAK	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR GAMBAR	ix
DAFTAR LAMPIRAN	x
1. PENDAHULUAN	
1.1. Latar Belakang Masalah.....	2
1.2. Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
1.3. Perumusan Permasalahan.....	4
1.4. Tujuan Penelitian.....	4
1.5. Manfaat Penelitian.....	4
1.6. Ruang Lingkup Penelitian.....	4
1.7. Metodologi Penelitian.....	5
1.8. Sistematika Penulisan.....	7
2. DASAR TEORI	
2.1. Penjadualan	9
2.1.1. Faktor Utama Penjadualan.....	11
2.1.2. Penjadualan <i>Flexible Flow Shop</i>	12
2.2. Genetic Algorithm.....	14
2.2.1. Struktur Umum <i>Genetic Algorithm</i>	15
2.2.2. Komponen-komponen Utama dalam <i>Genetic Algorithm</i>	16
2.2.2.1. Teknik Penyandian.....	16
2.2.2.2. Penentuan Parameter.....	17
2.2.2.3. Prosedur Inisialaisasi.....	17
2.2.2.4. Fungsi Evaluasi.....	17
2.2.2.5. Seleksi.....	17
2.2.2.6. Operator Genetika.....	18
2.2.2.7. Penggantian Populasi.....	18
3. PENGUMPULAN DATA	
3.1. Profil Perusahaan.....	20
3.2. Struktur Organisasi.....	21
3.3. Kegiatan Perusahaan.....	21
3.4. Kegiatan Produksi Komponen <i>Boom</i> dan <i>Arm</i> untuk <i>Mini Shovel</i>	22
3.4.1. Proses Produksi <i>Boom</i> dan <i>Arm</i>	23
3.4.2. Kapasitas Waktu Produksi.....	26
3.4.3. Waktu Baku Pengerjaan Produk.....	28
3.4.4. Kegiatan Perencanaan Produksi.....	28
3.4.5. Data Pemesanan.....	29

4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS	
4.1. Fungsi Tujuan.....	30
4.2. Inisialisasi Solusi.....	31
4.2.1. Menetapkan Metode Penjadualan.....	32
4.2.1.1. Metode Penjadualan Tahapan 1.....	32
4.2.1.2. Metode Penjadualan Tahapan 2.....	34
4.2.1.3. Metode Penjadualan Tahapan 3.....	35
4.2.2. Menyusun Penjadualan Dengan Algoritma <i>Multistage-Multiproduct</i>	35
4.3. Verifikasi Program.....	42
4.3.1. Penjadualan dan Perhitungan Manual.....	42
4.3.1.1. Penjadualan Tahapan 1.....	42
4.3.1.2. Penjadualan Tahapan 2.....	43
4.3.1.2. Penjadualan Tahapan 3.....	45
4.3.1.3. Menghitung Makespan.....	46
4.4. Penjadualan Dengan <i>Genetic Algorithm</i>	47
4.4.1. Penetapan Parameter <i>Genetic Algorithm</i>	49
4.4.2. Pengkonversian Masalah.....	49
4.4.3. Penentuan Populasi.....	49
4.4.4. Evaluasi Kromoson.....	50
4.4.5. Seleksi.....	50
4.4.6. Kawin Silang (<i>crossover</i>).....	50
4.5. Analisis.....	52
4.5.1. Analisis Metode.....	52
4.5.2. Analisis Hasil.....	55
5. KESIMPULAN DAN SARAN	56
DAFTAR REFERENSI	58

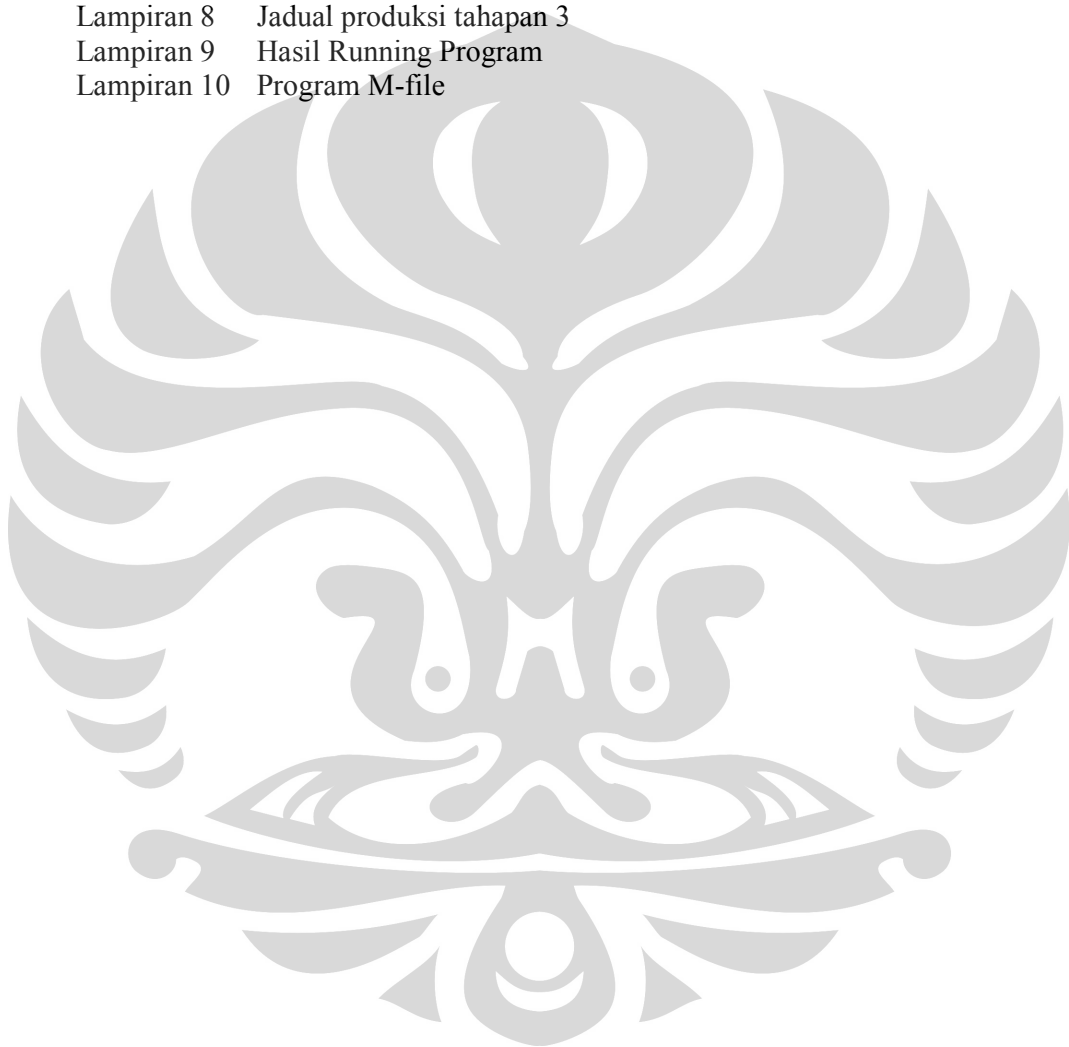
DAFTAR GAMBAR

- Gambar 1.1 Diagram keterkaitan masalah
- Gambar 1.2 Diagram alir metodologi penelitian
- Gambar 2.1 Sistem informasi manufaktur
- Gambar 2.2 Prosedur Genetic Algorithm secara umum
- Gambar 2.3 Contoh kawin silang
- Gambar 2.4 Contoh mutasi
- Gambar 3.1 Kegiatan perusahaan PT. HCMI
- Gambar 3.2 Boom dan Arm pada Mini Shovel
- Gambar 3.3 Kondisi proses produksi boom dan arm
- Gambar 3.4 Bagan alir proses mini boom
- Gambar 3.5 Bagan alir proses mini arm



DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1a	Struktur Organisasi
Lampiran 1	Standard time untuk setiap job pada setiap tahapan
Lampiran 2	Data total waktu proses pada tahapan 1
Lampiran 3	Pemeringkatan job berdasarkan total waktu proses pada tahapan 1
Lampiran 4	Jadual produksi tahapan 1
Lampiran 5	Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 1
Lampiran 6	Jadual produksi tahapan 2 untuk setiap <i>workstation</i>
Lampiran 7	Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 2
Lampiran 8	Jadual produksi tahapan 3
Lampiran 9	Hasil Running Program
Lampiran 10	Program M-file



1. PENDAHULUAN

Kompetisi di dunia usaha, terutama pada industri manufaktur saat ini tidak hanya memperhatikan mutu dan harga tetapi juga pengiriman. Ketiga faktor ini sering diistilahkan sebagai QCD yaitu kependekan dari *quality*, *cost* dan *delivery*, dan saat ini QCD menjadi salah satu kebijakan perusahaan dalam upaya memenangkan persaingan.

Delivery (pengiriman) memiliki pengertian sebagai suatu komitmen untuk memenuhi keinginan konsumen terhadap ketersediaan barang pada waktu dan moda pengiriman yang telah ditentukan. Penetapan waktu dan moda pengiriman ditetapkan di awal penerimaan pesanan dan merupakan kesepakatan antara konsumen dan produsen. Dalam sebuah organisasi modern, penetapan waktu pengiriman yang diinginkan oleh konsumen akan dikomunikasikan terlebih dahulu dengan bagian-bagian yang terkait (bagian pemasaran, produksi, *engineering*, *purchasing*, dll). Kegiatan ini disebut *contract review*.

Pada kegiatan *contract review*, bagian produksi harus dapat menghitung kemampuan/kapasitas produksi apabila menerima pesanan tersebut. Penghitungan kemampuan berproduksi harus didasarkan pada kondisi paling aktual yaitu jumlah barang yang harus diproduksi, waktu baku produksi untuk setiap jenis barang, jumlah sumber (*resource*) yang dimiliki dan waktu produksi yang tersedia. Hasil perhitungan tersebut menjadi dasar untuk menerima, menunda atau menolak pesanan konsumen.

Ketika perusahaan memutuskan untuk menerima pesanan dari konsumen, maka organisasi berkewajiban untuk memenuhi komitmennya kepada konsumen untuk membuat dan mengirimkannya sesuai dengan kualitas, harga dan waktu pengiriman yang disepakati. Bagian produksi sebagai salah satu bagian dari organisasi berkewajiban untuk memproduksi barang sesuai dengan tenggat waktu yang ditetapkan. Untuk memastikan bahwa kegiatan produksi tidak akan melewati tenggat waktu yang telah ditetapkan, disusun sebuah skema penjadualan produksi yang menjadi acuan aktifitas berproduksi. Penjadualan produksi juga merupakan dasar pembagian tugas kerja untuk setiap unit kerja. Penjadualan produksi harus menggunakan metode yang tepat sehingga dihasilkan suatu nilai maksimal dari pemakaian sumber (*resource*) yang dimiliki untuk memenuhi tenggat waktu produksi. Pada beberapa perusahaan penjadualan produksi dilakukan oleh *scheduller*

atau bagian PPC, tetapi untuk beberapa perusahaan penjadualan produksi diserahkan sepenuhnya kepada bagian produksi.

1.1. Latar Belakang Permasalahan

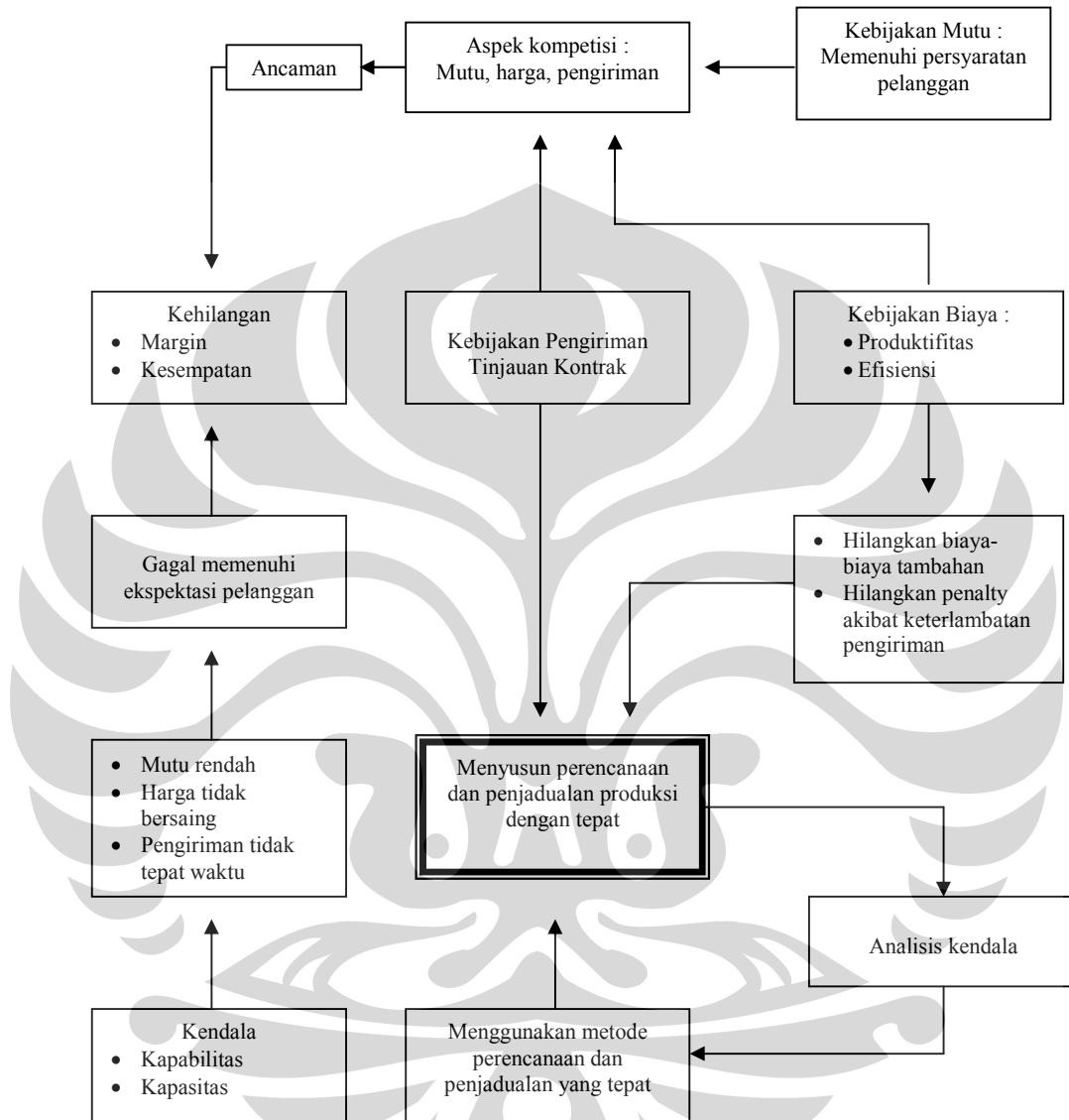
Sebagai salah satu perusahaan manufaktur yang bergerak di bidang produksi alat berat, PT. HCMI yang juga memasok komponen alat-alat berat ke beberapa perusahaan sejenis, memiliki permasalahan dalam penjadualan produksi dalam memenuhi tenggat waktu pengiriman yang diinginkan konsumen. Saat ini, tidak ada metode baku yang dilakukan untuk penjadualan produksi. Bagian Produksi menjadualkan kegiatan produksinya secara trial and error berdasarkan pengalaman. Metode ini menyebabkan kesulitan dalam pembagian tugas dan alokasi sumber karena tidak memperhitungkan kapasitas sumber (*resource*) dengan cermat.

Permasalahan ini muncul karena adanya kompleksitas antara tiga proses yang memiliki karakter proses dan kemampuan berproduksi yang berbeda di dalam satu antrian proses. Proses pertama adalah proses *tack welding* yaitu kegiatan merangkai komponen-komponen menggunakan las titik dengan bantuan jig. Proses selanjutnya adalah proses *welding*, dimana barang yang sudah dirangkai akan diperkuat bagian sambungan komponennya dengan cara pengelasan manual. Hasil dari pekerjaan ini diteruskan ke proses berikutnya yaitu proses *machining*, yaitu proses pembuatan lubang (*boring* dan *drilling*), perataan permukaan (*facing*) dan pembuatan ulir dalam (*tapping*). Ada empat buah mesin NC yang digunakan di proses ini.

Kondisi yang dihadapi saat ini adalah keterbatasan fleksibilitas proses produksi. Pada tahapan kesatu, yaitu proses *tack welding*, proses produksi dilakukan dengan bantuan jig. Setiap type barang memiliki jig yang berbeda antara satu type dengan type lainnya. Demikian pula dengan proses di tahapan ketiga, yaitu proses *machining*, yang memiliki kondisi yang sama. Pergantian jig akan mengakibatkan bertambahnya waktu *idle* sehingga berpotensi menimbulkan keterlambatan apabila pengaturan pergantian type barang tidak dilaksanakan. Jumlah pesanan yang bervariasi dan waktu proses yang berbeda antara satu type dengan type yang lain dan perbedaan waktu proses antara tahapan yang satu dengan tahapan yang lain membuat penjadualan sulit untuk dilakukan.

1.2. Diagram Keterkaitan Masalah

Untuk memperlihatkan keterkaitan masalah tersebut secara sistemik maka dibuat sebuah diagram seperti di bawah ini



Gambar 1.1. Diagram keterkaitan masalah

1.3. Perumusan Permasalahan

Berdasarkan latar belakang masalah yang telah dijelaskan sebelumnya dan melihat keterkaitan masalah seperti tersusun dalam diagram di atas, maka pokok masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah melakukan analisis dan membuat model penjadwalan produksi yang tepat dengan kendala-kendala yang ada.

1.4. Tujuan Penelitian

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu penjadualan produksi yang paling tepat dalam hal optimasi penggunaan sumber (*resource*) yang dimiliki sesuai dengan waktu pengiriman yang telah ditetapkan. Perhitungan dan penyusunan jadwal produksi dilakukan dengan menggunakan metode Genetic Algorithm yang diaplikasikan dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB.

1.5. Manfaat Penelitian

Dari hasil penelitian ini diharapkan:

1. Dapat dibuat satu model penjadualan dengan metode yang tepat
2. Dapat dibuat suatu penjadualan produksi yang terintegrasi untuk semua produk dalam semua proses produksi
3. Penjadualn produksi dapat dilakukan dengan cepat.

1.6. Ruang Lingkup Penelitian

Ruang lingkup penelitian ini hanya meliputi:

1. Proses produksi fabrikasi dan *machining* untuk produk *Mini Boom* dan *Mini Arm* di Production 2 Section PT. HCMI
2. Data produksi diambil dari pemesanan bulan Maret 2008
3. Waktu baku produksi diambil dari *motion study* dan *standard time* yang dikeluarkan oleh bagian Engineering PT. HCMI
4. Perhitungan dilakukan dengan asumsi:
 - a. Waktu proses sudah termasuk *waktu set up*
 - b. Kondisi mesin dianggap stabil
 - c. Setiap workstation/mesin hanya mengerjakan satu unit barang pada satu waktu dan tidak dapat diselingi oleh pekerjaan lain (*non preemptive*).
 - d. Tidak ada kendala dalam penyediaan material

1.7. Metodologi Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini, dilakukan langkah-langkah metodologi sebagai berikut:

1. Mengidentifikasi masalah di PT. HCMI

2. Melakukan studi literatur.

Pengumpulan literatur yang berkaitan dengan sistem aliran produksi, metode-metode penjadualan yang berhubungan dengan *multiproduct* dan *multistage* baik berupa buku-buku teori ataupun jurnal hasil penelitian.

3. Merumuskan masalah.

Perumusan masalah ini adalah membuat model penjadualan produksi yang tepat dengan kendala-kendala yang ada dengan menggunakan Genetic Algorithm.

4. Menentukan tujuan penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan suatu penjadualan produksi yang paling tepat dalam hal optimasi penggunaan sumber (*resource*) yang dimiliki sesuai dengan waktu pengiriman yang telah ditetapkan.

5. Mengumpulkan data.

Mengumpulkan data pendukung yang diperlukan yaitu; data pesanan konsumen, data kapabilitas mesin dan *workstation*, waktu baku produksi dan waktu penggantian jig.

6. Membuat model algoritma untuk permasalahan yang diteliti. Pembuatan model ini berdasarkan buku Scheduling – Theory Algorithms and System yang disusun oleh Michael Pinedo (1995).

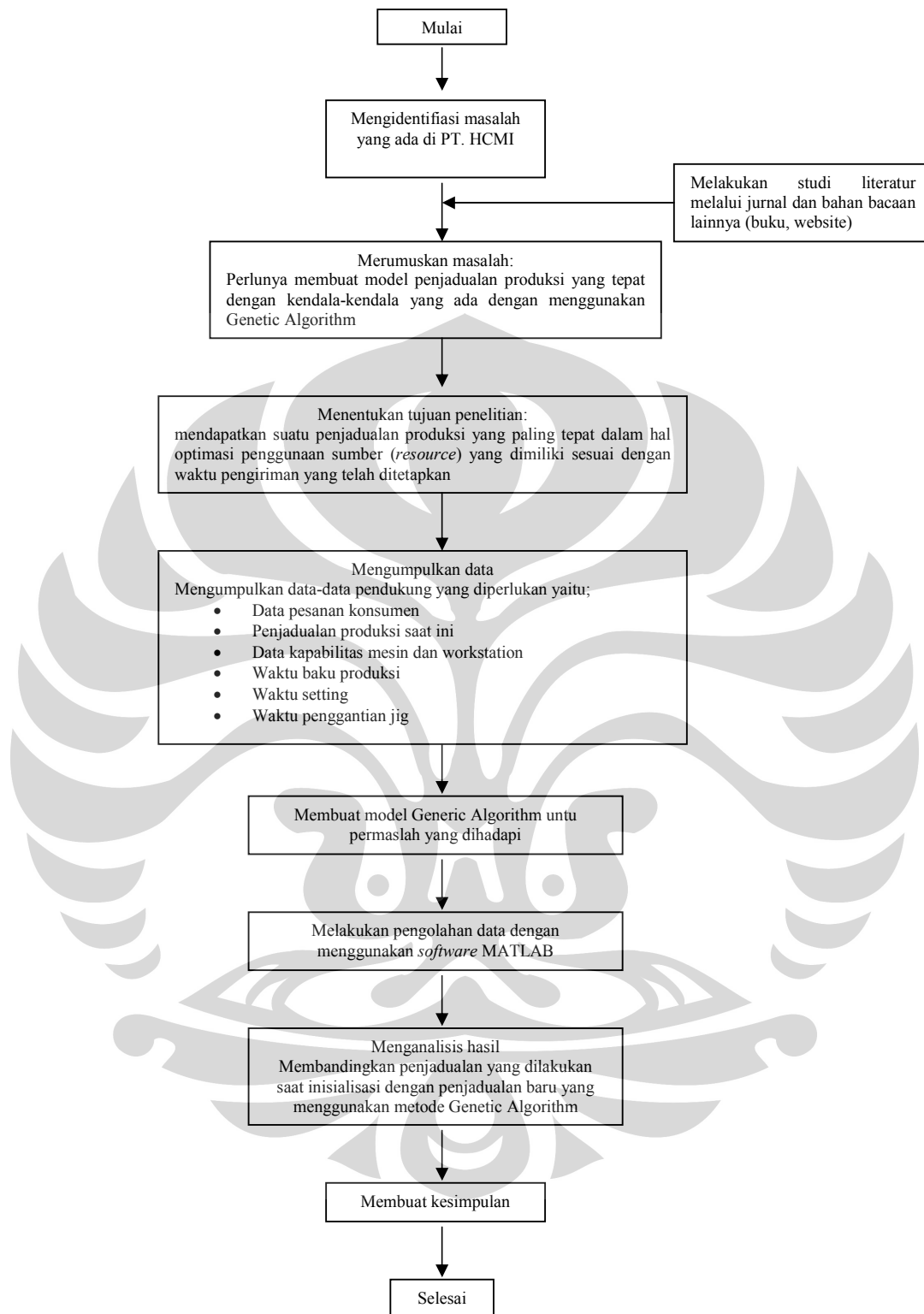
7. Mengolah data dengan menggunakan perangkat lunak MATLAB 7.0.4.

8. Melakukan analisis terhadap hasil penelitian.

Membandingkan penjadualan yang dilakukan saat inisialisasi solusi dengan penjadualan baru yang menggunakan metode Genetic Algorithm.

9. Membuat kesimpulan.

Secara sederhana, langkah-langkah penelitian di atas tampak seperti gambar berikut ini



Gambar 1.2. Diagram alir metodologi penelitian

1.8. Sistematika Penulisan

Penulisan penelitian ini dibagi menjadi lima, yaitu;

Bab 1, berisi penjelasan mengenai latar belakang masalah, diagram keterkaitan masalah untuk memahami interaksi masalah dan perumusan masalah. Pada bab ini juga dijelaskan tentang tujuan penelitian yang ingin dicapai, ruang lingkup penelitian yaitu batasan masalah dalam penelitian ini dan metodologi penelitian yang dilakukan.

Bab 2 adalah bagian yang menjelaskan teori-teori yang digunakan dalam penelitian ini, yaitu teori-teori yang berhubungan dengan sistem aliran produksi, scheduling, algoritma dan metode-metode penjadualan yang berhubungan dengan *multiproduct* dan *multistage*.

Bab 3 menjelaskan data-data yang diambil untuk keperluan penelitian. Data-data tersebut merupakan data sekunder yang paling aktual dan akurat untuk menjamin bahwa data yang diambil merupakan representasi kondisi sebenarnya.

Bab 4 merupakan bagian pengolahan data dimana data-data yang diambil akan diolah dan dianalisis. Pada bagian ini terdapat hasil perhitungan suatu model matematis dan aplikasi pengembangan program komputer untuk penjadualan produksi sebagai hasil akhir.

Bab 5 berisi kesimpulan tentang hasil penelitian yang telah dilakukan.

2. DASAR TEORI

Penjadualan merupakan salah satu bentuk dari pengambilan keputusan yang memegang peranan penting baik di industri manufaktur maupun industri jasa. Dalam kondisi saat ini dimana kompetisi sudah demikian ketatnya, penjadualan yang efektif menjadi suatu keharusan untuk bisa bertahan di pasaran.

Penjadualan atau scheduling secara mendalam mulai diperhatikan pada awal abad 20. Henry Laurence Gantt merupakan salah seorang perintis yang memperkenalkan sistem penjadualan.. Penjadualan mulai memasuki bidang riset operasi pada tahun 1950-an. *Dynamic programming* dan *integer programming* mulai digunakan untuk memecahkan masalah penjadualan pada tahun 1960-an. Tahun 1970-an *complexity theory* diperkenalkan oleh Richard Karp, teori ini menggambarkan relasi antar permasalahan pada penjadualan. Pada tahun 1980-an, banyak akademisi maupun industri menggunakan stochastic dalam melakukan penjadualan. Seiring dengan semakin berkembangnya ilmu dan teknologi komputer, penjadualan dengan menggunakan program komputer semakin banyak digunakan. Masalah penjadualan telah menarik minat para *programmer*, ahli riset operasi dan *industrial engineer* terus melakukan studi mendalam tentang masalah penjadualan yang semakin kompleks.

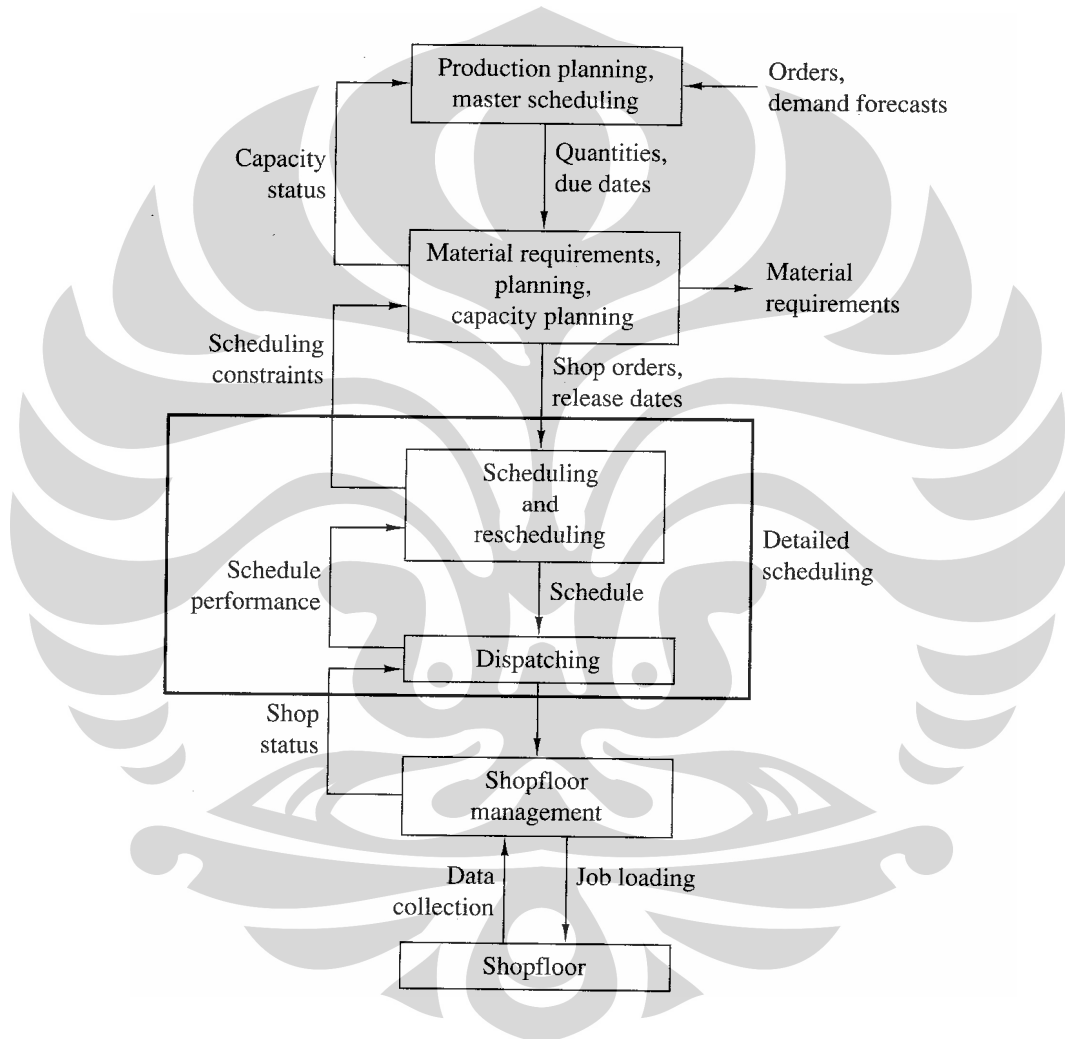
2.1. Penjadualan

Perbedaan utama antara perencanaan dengan penjadualan adalah pada kerangka waktu (*time frame*). Perencanaan merupakan gambaran tentang kondisi yang dilakukan pada jangka waktu yang relatif panjang (bulan, semester, tahun). Penjadualan adalah penugasan yang lebih terperinci dalam melakukan suatu aktifitas dalam rentang waktu yang pendek (jam, hari, minggu). Lebih jauh, Pinedo (1993) mengatakan bahwa penjadualan berfokus pada alokasi sumber yang dimiliki (*limited resources*) untuk melakukan aktifitas setiap saat.¹

Di dalam industri manufaktur, pesanan akan diterima dan diteruskan kepada bagian-bagian yang terkait dalam sebuah organisasi. Pesanan ini akan menginformasikan jenis barang yang dipesan, jumlahnya dan waktu penyelesaian yang diharapkan. Sebuah penjadualan yang terperinci tentang mesin yang

¹ Pinedo, Michael, Scheduling Theory, Algorithms and Systems, Prentice Hall, 1993, h. 1

digunakan, tahapan proses yang dilalui, jumlah barang yang diproduksi dan waktu berproduksi, akan membantu proses pemenuhan pemesanan tersebut. Sebuah penjadualan akan menginformasikan kebutuhan sumber-sumber lain kepada bagian terkait (misalnya kebutuhan material). Sebaliknya, informasi tentang perubahan jadwal produksi yang dilakukan juga harus diinformasikan kepada bagian lain. Sistem informasi ini digambarkan sebagai berikut.



Sumber : Pinedo, Michael Scheduling Theory, Algorithms and Systems, Prentice Hall, 1993, h. 4

Gambar 2.1. Sistem informasi manufaktur

2.1.1. Faktor Utama Penjadualan

Faktor utama dalam penjadualan adalah *job*, mesin dan fungsi objektif. Notasi umum yang sering digunakan terhadap faktor job adalah;

- 1) *Processing time* (p_{ij}) yaitu waktu pemrosesan job j pada mesin i .
- 2) *Release date* (r_j) atau *ready date* yaitu waktu ketika job memasuki sistem atau waktu dimulainya pemrosesan job j .
- 3) *Due date* (d_j) yaitu tenggat waktu penyelesaian pesanan yang sudah disepakati dengan pemesan.
- 4) *Weight* (w_j) yaitu faktor prioritas terhadap sebuah job dibandingkan dengan job yang lain.

Berikutnya adalah notasi terhadap kondisi mesin yang digunakan.

- 5) *Single machine* (1). Kondisi ini adalah kondisi yang paling sederhana hanya terdapat satu tahapan proses.
- 6) *Identical machines in parallel* (Pm). Terdapat m mesin yang sejenis yang tersusun secara paralel dengan job yang diproses hanya dengan satu tahapan proses.
- 7) *Machines in parallel with different speed* (Qm). Terdapat beberapa mesin sejenis yang memiliki kecepatan berbeda dalam memproses job yang sama.
- 8) *Flow shop* (Fm). Terdapat m mesin yang disusun secara seri. Setiap job harus melalui proses dari mesin m mulai dari awal.
- 9) *Flexible flow shop* (FFs). Sama seperti pada flow shop, hanya pada *Flexible flow shop* mesin tersusun secara paralel pada setiap tahapan.
- 10) *Open shop* (Om). Terdapat m mesin yang digunakan berulang-ulang oleh sebuah job. Job memiliki kebebasan dalam menentukan rutanya sendiri.
- 11) *Job shop* (Jm). Job memiliki rute tersendiri dalam memasuki m mesin yang ada, adakalanya sebuah job akan memasuki mesin m lebih dari satu kali.

Faktor terakhir yang merupakan faktor utama penjadualan adalah fungsi objektif.

- 1) *Makespan* (Cmax). Penyelesaian job terakhir dan meninggalkan sistem. Makespan yang minimal menunjukkan utilitas yang besar dari mesin yang digunakan.
- 2) *Maximum Lateness* (Lmax). Kondisi terburuk dari simpangan terhadap tenggat waktu yang ditetapkan.

- 3) *Total weighted completion time* ($\sum w_j C_j$). Penjumlahan dari bobot penyelesaian job yang mengindikasikan inventori atau job yang ditahan

2.1.2. Penjadualan *Flexible Flow Shop*

Masalah penjadualan *flow shop* dapat diselesaikan dengan menggunakan metode heuristik. *Dispatching rule* atau sering diistilahkan *scheduling in advance* merupakan teknik yang heuristik yang sering digunakan dalam penjadualan. Beberapa metode *dispatching rules* adalah;

- 1) *First Come First Serve* (FCFS). Menurut aturan ini, urutan penjadualan dilakukan berdasarkan waktu kedatangan job atau pesanan pelanggan. Jadi, job yang pertama kali datang, akan dikerjakan terlebih dahulu dan begitu seterusnya untuk job-job berikutnya.
- 2) *Earliest Due Date First* (EDD) Menurut aturan ini, urutan penjadualan dilakukan berdasarkan pada due date setiap job. Aturan ini mengabaikan waktu kedatangan dan total waktu proses setiap job. Artinya job yang memiliki due date yang paling awal diantara job-job lainnya dipilih sebagai job yang memiliki prioritas paling tinggi untuk diproses pada sebuah mesin. Aturan ini cenderung digunakan untuk meminimalkan *maximum lateness* pada job-job yang ada dalam antrian.
- 3) *Minimum Slack First* (MS). Menurut aturan ini, merupakan job diurutkan berdasarkan waktu slack yang paling kecil. Pada saat sebuah mesin selesai memproses suatu job, maka kemudian dihitung waktu slack yang tersisa ($d_i - p_i - t$, 0) dari tiap-tiap job yang ada dalam antrian, dimana t adalah waktu sekarang. Job yang mempunyai waktu slack yang paling kecil kemudian dipilih sebagai job yang memiliki prioritas paling tinggi untuk diproses selanjutnya. Aturan ini digunakan untuk meminimalkan fungsi tujuan yang berkaitan dengan due date, yaitu *lateness* dan *tardiness*.
- 4) *Shortest Processing Time First* (SPT). Menurut aturan ini, job diurutkan berdasarkan pada lamanya waktu proses tiap job. Jadi job yang mempunyai waktu proses paling singkat akan diproses terlebih dahulu dan kemudian dilanjutkan job-job lainnya sampai pada job yang paling lama waktu prosesnya. Aturan ini berguna untuk penyeimbangan beban kerja antar mesin yang disusun secara paralel.

Disamping itu, terdapat metode heuristik yang lebih baru atau sering disitilahkan meta-heuristik yang digunakan dalam penjadualan. Algoritma

heuristik ini memecahkan masalah penjadualan dengan melakukan perbaikan mulai dengan satu atau lebih solusi awal. Solusi awal ini bisa dihasilkan secara acak, bisa pula dihasilkan berdasarkan heuristik tertentu. Tiga algoritma meta-heuristik yang sering digunakan dalam memecahkan masalah penjadualan, yaitu²

1. *Simulated Annealing*

Ide dasar *Simulated Annealing* terbentuk dari pemrosesan logam. *Annealing* (memanaskan kemudian mendinginkan) dalam pemrosesan logam ini adalah suatu proses bagaimana membuat bentuk cair berangsur-angsur menjadi bentuk yang lebih padat seiring dengan penurunan temperatur. *Simulated Annealing* biasanya digunakan untuk penyelesaian masalah yang mana perubahan keadaan dari suatu kondisi ke kondisi yang lainnya membutuhkan ruang yang sangat luas.

2. *Tabu Search*

Tabu search merupakan metode optimasi yang menggunakan *short-term memory* untuk menjaga agar proses pencarian tidak terjebak pada nilai *optima local*. Metode ini menggunakan *Tabu List* untuk menyimpan sekumpulan solusi yang baru saja dievaluasi. Selama proses optimasi, pada setiap iterasi, solusi yang akan dievaluasi akan dicocokkan terlebih dahulu dengan isi *Tabu list* untuk melihat apakah solusi tersebut sudah ada pada *Tabu List*. Apabila sudah ada, maka solusi tersebut tidak akan dievaluasi lagi. Keadaan ini terus berulang sampai tidak ditemukan lagi solusi yang tidak terdapat dalam *tabu list*. Pada metode *tabu search*, solusi baru dipilih jika solusi tersebut yang merupakan anggota bagian himpunan solusi tetangga merupakan solusi dengan fungsi tujuan paling optimal jika dibandingkan dengan solusi-solusi lainnya dalam himpunan solusi tetangga tersebut. Tetangga (*neighbour*) dari suatu solusi adalah solusi-solusi lain yang dapat diperoleh dari solusi tersebut dengan cara memodifikasinya berdasarkan aturan-aturan tertentu yang dikenal dengan nama *neighbourhood functions*.

3. Algoritma Genetika

Algoritma genetika dimodelkan berdasar proses alami, yaitu model seleksi alam oleh Darwin, sedemikian hingga kualitas individu akan sangat kompatibel dengan lingkungannya (dalam hal ini kendala permasalahan) (Holland, 1975, Goldberg, 1989, dalam Jain dan Meeran, 1998b). Algoritma genetika memberikan suatu alternatif untuk proses penentuan nilai parameter dengan meniru cara

² Morton, Thomas E, and Pentico, David W, Heuristic Scheduling System, John Willey & Sons, 1993. h.26-27.

reproduksi genetika. Teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin yang disebut dengan populasi. Setiap individu adalah satu buah solusi unik dan populasi adalah satu himpunan solusi pada setiap tahapan iterasi. Algoritma genetika bekerja untuk mencari struktur individu berkualitas tinggi yang terdapat dalam populasi.

2.2. Genetic Algorithm

Algoritma genetika adalah algoritma pencarian heuristik yang didasarkan atas mekanisme evolusi biologis. Keberagaman pada evolusi biologis adalah variasi dari kromosom antar individu organisme. Variasi kromosom akan mempengaruhi laju reproduksi dan tingkat kemampuan organisme untuk tetap hidup.

Ada empat kondisi yang sangat mempengaruhi proses evaluasi, yaitu:

1. Kemampuan organisme untuk melakukan reproduksi
2. Keberadaan populasi organisme yang bisa melakukan reproduksi.
3. Keberadaan organisme dalam suatu populasi.
4. Perbedaan kemampuan untuk dapat bertahan hidup.

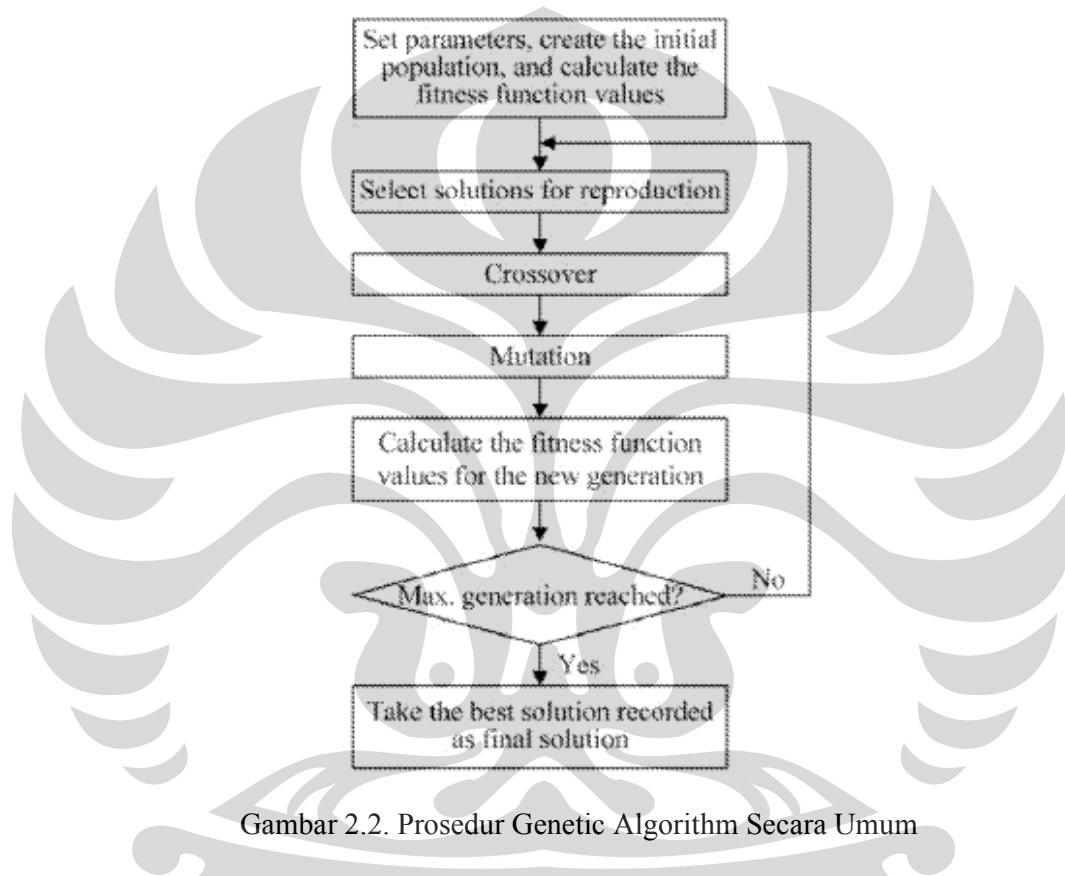
Individu yang lebih kuat akan memiliki tingkat *survival* dan reproduksi yang lebih tinggi jika dibandingkan dengan individu yang lemah.

Algoritma genetika pertama kali dikembangkan oleh John Holland dari Universitas Michigan (1975). Ia mengatakan bahwa setiap masalah yang berbentuk adaptasi dapat diformulasikan dalam terminologi genetika.

2.2.1. Struktur Umum Genetic Algorithm

Pada algoritma ini, teknik pencarian dilakukan sekaligus atas sejumlah solusi yang mungkin yang dikenal dengan istilah populasi. Individu yang terdapat dalam satu populasi disebut kromosom. Kromosom ini merupakan suatu solusi yang terdiri dari sejumlah gen.. Populasi awal dibangun secara acak, sedangkan populasi berikutnya merupakan hasil evolusi kromosom-kromosom melalui iterasi yang disebut generasi. Pada setiap generasi, kromosom akan melalui proses evaluasi dengan menggunakan alat ukur yang disebut fungsi *fitness*. Nilai *fitness* dari satu kromosom akan menunjukkan kualitas kromosom dalam populasi tersebut. Generasi berikutnya dikenal dengan istilah anak (*offspring*), terbentuk dari gabungan 2 kromosom generasi sekarang yang bertindak sebagai induk (*parent*) dengan menggunakan operator penyilangan (*crossover*). Selain operasi penyilangan, kromosom dapat juga dimodifikasi dengan menggunakan operator

genetika yang lain yaitu mutasi. Populasi generasi yang baru dibentuk dengan cara menyeleksi nilai *fitness* dari kromosom induk dan nilai *fitness* dari kromosom anak, serta menolak kromosom yang lainnya (kromosom dengan nilai *fitness* yang kecil) sehingga ukuran populasi konstan. Setelah melalui beberapa generasi, maka algoritma ini akan konvergen ke kromosom terbaik yang akan menjadi solusi penyelesaian. Gambar 2.3 merupakan prosedur algoritma genetika secara umum.



Gambar 2.2. Prosedur Genetic Algorithm Secara Umum

2.2.2 . Komponen-komponen Utama dalam Genetic Algorithm

2.2.2.1 Teknik penyandian

Teknik penyandian di sini meliputi penyandian gen dan kromosom. Gen merupakan bagian dari kromosom. Satu gen biasanya akan mewakili satu variabel.

Terdapat tiga teknik dalam penyandian yang utama, yaitu³:

- 1) *Real-number encoding*. Nilai gen berada dalam interval $[0,R]$, di mana R adalah bilangan real positif dan bernilai 1.

Misalnya: (0.256 0.567 0.654 0.156 0.895)

³ Suyanto, Algoritma Genetika Dalam Matlab, Andi Yogyakarta, 2005, hal. 6.

- 2) *Discrete decimal encoding*. Setiap gen bisa bernilai salah satu dari bilangan bulat dalam interval [0,9]. Misalnya: (2 3 4 5 6 8 9 7 1 0)
- 3) *Binary encoding*. Setiap gen hanya bernilai 0 dan 1. Misalnya : (1 1 1 0 1 0)

2.2.2.2 Penentuan parameter

Parameter dalam algoritma genetika terdiri dari ukuran populasi, peluang kawin silang, peluang mutasi, dan maksimum generasi. Untuk ukuran populasi dan maksimum ditentukan tergantung seberapa besar permasalahan yang ingin diselesaikan. Sedangkan peluang probabilitas kawin silang dan mutasi ditentukan setelah ukuran populasi ditetapkan.

2.2.2.3 Prosedur inisialisasi

Ukuran populasi tergantung pada masalah yang akan diimplementasikan dan jenis operator genetika yang akan diimplementasikan. Setelah ukuran populasi ditentukan, dilakukan inisialisasi kromosom dalam populasi tersebut. Inisialisasi kromosom dilakukan secara acak, namun harus tetap memperhatikan domain solusi dan kendala permasalahan yang ada⁴.

2.2.2.4 Fungsi evaluasi

Fungsi evaluasi memiliki peranan penting sebab merupakan alat ukur untuk menentukan kualitas kromosom dalam populasi. Fungsi evaluasi merupakan fungsi objektif dari masalah yang akan dioptimasi. Fungsi evaluasi terdiri dari fungsi meminimalkan dan memaksimalkan. Dua hal yang harus dilakukan dalam melakukan evaluasi kromosom yaitu evaluasi fungsi objektif dan konversi fungsi objektif ke dalam fungsi *fitness* yang tidak negatif.

2.2.2.5 Seleksi

Seleksi bertujuan untuk memberikan kesempatan reproduksi yang lebih besar bagi kromosom yang paling fit. Seleksi akan menentukan individu-individu mana saja yang akan dipilih untuk dilakukan kawin silang (*crossover*) dan bagaimana anak terbentuk dari individu yang dipilih tersebut. Nilai *fitness* yang nantinya digunakan dalam menyeleksi setiap kromosom.

Metode seleksi yang paling sering dipakai ialah metode *roulette wheel*. Metode ini menirukan permainan *roulette-wheel* di mana masing-masing

⁴ Sri Kusumadewi, & Hari Purnomo, "Penyelesaian Masalah Optimasi Menggunakan Teknik-teknik Heuristik, Graha Ilmu, Yogyakarta, 2005, hal. 233.

kromosom menempati potongan lingkaran pada roda *roulette* secara proporsional sesuai dengan nilai *fitness*-nya. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* lebih besar menempati potongan lingkaran yang lebih besar dibandingkan dengan kromosom bernilai *fitness* rendah. Kemudian bilangan acak dibangkitkan untuk menentukan kromosom mana yang akan dipilih. Kromosom dengan nilai *fitness* lebih besar akan lebih banyak terpilih karena memiliki potongan lingkaran yang besar dalam roda *roulette*.

2.2.2.6 Operator genetika

a. Kawin silang (*Crossover*)

Kawin silang merupakan operator paling utama dalam algoritma genetika. Kawin silang bertujuan untuk menambah keanekaragaman gen dalam populasi dengan penyilangan antar gen yang diperoleh dari produksi sebelumnya. Dua kromosom induk akan dikawinsilangkan dan menghasilkan 2 kromosom anak yang baru (seperti pada gambar 2.4).



Gambar 2.3. Contoh Kawin Silang

b. Mutasi

Mutasi adalah proses pertukaran sejumlah gen dalam satu individu dengan menukar nilai karakter pada gen-gen tersebut dengan kebalikannya. Contoh mutasi dapat dilihat pada gambar 2.5, yaitu gen 3 akan digantikan dengan gen 4, dan sebaliknya. Mutasi dilakukan untuk menjaga agar tidak terciptanya konvergensi prematur (solusi yang tidak optimal/lokal optima).

	TM1			TM2		
Sebelum Mutasi	2	3	5	1	4	6
Sesudah Mutasi	2	4	5	1	3	6

Gambar 2.4. Contoh Mutasi

2.2.2.7 Penggantian populasi

Dalam algoritma genetika dikenal skema penggantian populasi yang disebut *generational replacement*, yang berarti semua individu (misalkan N individu dalam satu populasi) dari suatu generasi digantikan sekaligus oleh N individu baru hasil kawin silang dan mutasi. Pada dasarnya, skema penggantian ini tidak realistis dari sudut pandang biologi. Di dunia nyata individu-individu dari generasi berbeda bisa berada dalam waktu yang bersamaan. Fakta lainnya adalah individu-individu muncul dan hilang secara konstan, tidak pada generasi tertentu. Secara umum, skema penggantian populasi dapat dirumuskan berdasarkan suatu ukuran yang disebut *generational gap*, G. Ukuran ini menunjukkan presentasi populasi yang digantikan dalam setiap generasi. Pada skema *generational replacement*, $G = 1$.

Skema penggantian yang paling ekstrim adalah hanya mengganti satu individu dalam setiap generasi, yaitu $G = 1/N$, di mana N adalah jumlah individu dalam populasi. Skema penggantian ini disebut sebagai *steady-state reproduction*. Pada skema tersebut, G biasanya sama dengan $1/N$ atau $2/N$. Dalam setiap generasi, sejumlah NG individu harus dihapus untuk menjaga ukuran populasi agar selalu tetap N. Terdapat beberapa prosedur penghapusan individu, yaitu penghapusan individu yang bernilai fitness paling rendah atau penghapusan individu yang paling tua. Penghapusan bisa berlaku hanya pada orang tua atau bisa juga berlaku pada semua individu dalam populasi⁵.

⁵ Suyanto, *Op. cit.* hal.15.

3. PENGUMPULAN DATA

3.1. Profil Perusahaan

PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia (PT. HCMI) yang berdiri pada tahun 1991 merupakan usaha patungan beberapa perusahaan Jepang dan perusahaan lokal. Pemegang saham mayoritas perusahaan ini adalah Hitachi Construction Machinery (HCM) Jepang yang merupakan produsen alat berat dengan merek dagang Hitachi. Walaupun produk utama Hitachi Construction Machinery adalah *excavator*, namun perusahaan ini juga memproduksi *wheel loader*, *dump truck* dan *crawler crane*.

PT. HCMI didirikan untuk memproduksi *excavator* untuk memenuhi kebutuhan pasar Asia Tenggara, khususnya Indonesia yang diyakini sebagai pasar potensial alat-lat berat. Disamping itu, PT. HCMI direncanakan juga sebagai salah satu pabrikan komponen alat berat yang dapat memasok kebutuhan HCM dan anak perusahaan HCM lainnya di seluruh dunia.

Pada awal berdirinya perusahaan ini, PT. HCMI menempati pabrik di Kawasan Industri Rawapasung Bekasi dengan luas area 50.000 m² dan saat ini bangunan yang berdiri di atasnya memiliki luas 11.000 m². Seiring dengan kemajuan yang dicapai, pada tahun 1994 dibangun pabrik kedua di daerah Cibitung Bekasi dengan luas area 191.568 m² dan bangunan seluas 24.000 m². Dengan penambahan fasilitas ini, PT. HCMI membagi kegiatan usahanya menjadi dua bagian besar yaitu produksi komponen alat berat yang dilakukan di pabrik pertama dan produksi unit *excavator* di pabrik kedua. Jumlah karyawan yang dipekerjakan di kedua pabrik tersebut saat ini mencapai 1.200 orang dengan 13 orang tenaga kerja dari HCM Jepang, delapan orang diantaranya merupakan tenaga ahli yang mendukung kegiatan produksi, desain dan rekayasa.

Untuk menjamin ketersediaan bahan baku dan meningkatkan efisiensi perusahaan, pada tahun 2006 PT. HCMI bermitra dengan Shibaura Shearing Jepang mendirikan perusahaan pemotongan baja lembaran di Kawasan Industri MM 2100 Cibitung. Perusahaan ini memasok seluruh bahan baku yang diperlukan PT. HCMI dalam bentuk potongan komponen (*cutting part*).

Sebagai komitmen untuk menjaga mutu produk, PT. HCMI telah mengimplementasikan sistem mutu ISO 9000:2000 sejak tahun 1993 dan

kepedulian terhadap lingkungan ditunjukkan melalui implementasi sistem kendali lingkungan ISO 14001.

3.2. Struktur Organisasi

Secara garis besar struktur organisasi di PT. HCMI adalah sebagai berikut:

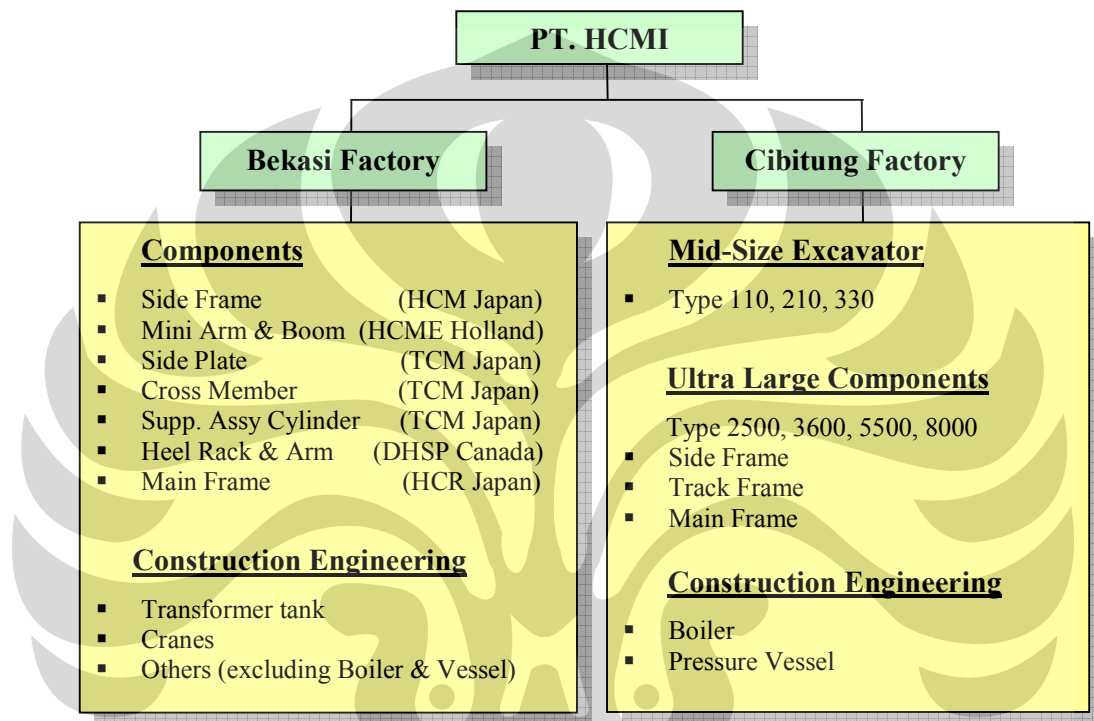
1. Presiden direktur membawahi *board of director* yang terdiri dari *marketing, production, engineering, finance* dan *personnel and administration director*.
2. Setiap direktur membawahi seorang *general manager* atau *deputy general manager* yang mengelola satu departemen atau lebih.
3. Seorang *general manager* dibantu oleh *section manager* yang bertugas mengendalikan kegiatan/operasional harian.
4. Struktur organisasi ini merupakan perpaduan antara organisasi lini dan staf, dimana terdapat posisi *technical supervisor* yang bertugas menjadi penasihat teknik tanpa memiliki kewenangan untuk meminta pertanggungjawaban dari sebuah departemen atau bagian. Namun demikian, posisi *technical supervisor* ini tetap bertanggung jawab kepada seorang direktur.
5. Disamping itu terdapat satu komite yang berbentuk sekretariat yang bertanggung jawab terhadap implementasi sistem kendali mutu (ISO 9000) dan sistem kendali lingkungan (ISO 14001). Ketua komite ini bertanggung jawab langsung kepada presiden direktur.

Secara lengkap, struktur organisasi PT. HCMI dapat dilihat di lampiran 1.

3.3. Kegiatan Perusahaan

Usaha inti (*core business*) PT. HCMI adalah pembuatan *mid-size excavator* dengan pangsa pasar dalam negeri sekitar 90% dan ekspor ke negara-negara di kawasan Asia Tenggara sekitar 10%. Selain pembuatan *excavator*, PT. HCMI juga memproduksi komponen alat berat untuk diekspor seperti *side frame* (HCM Jepang), *mini arm* dan *mini boom* (HCME Belanda), *heel rack, boom* dan *arm* (DHSP Canada), *side plate, cross member* dan *support assy cylinder* (TCM Jepang) dan *main frame* (HCR Jepang). Disamping itu, PT. HCMI juga melakukan diversifikasi usaha di bidang rekayasa konstruksi (*construction engineering*) seperti pembuatan *cranes, conveyer system, vessel tank, boiler,*

storage tank, *transformer tank* dan *industrial processing facilities* lainnya. Pada tahun 2003, PT. HCMI memperoleh sertifikat *U-Stamp* dan *S-Stamp* yang mengakreditasikan bahwa PT. HCMI telah mampu membuat tanki bertekanan tinggi seperti *pressure vessel tank* dan *boiler*. Secara sederhana kegiatan perusahaan tampak seperti gambar di bawah ini.



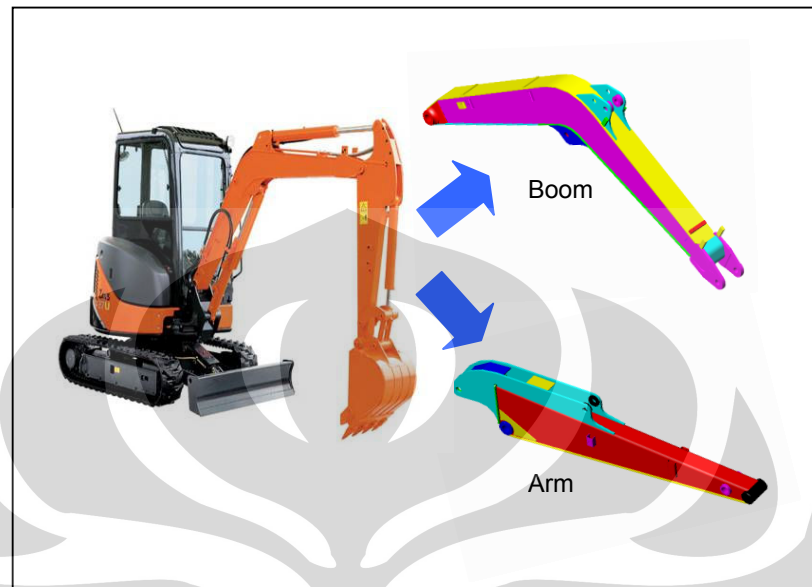
Gambar 3.1. Kegiatan perusahaan PT. HCMI

3.4. Kegiatan Produksi Komponen *Boom* dan *Arm* untuk *Mini Shovel*

Salah satu kegiatan PT. HCMI adalah memproduksi komponen *mini shovel* yaitu *boom* dan *arm*. Komponen ini merupakan pesanan Hitachi Construction Machinery Europe (HCME) Belanda. Produksi komponen ini dilakukan di pabrik Bekasi dengan kapasitas 400 unit/bulan.

Penerimaan pesanan barang (*purchase order*) terjadi dua bulan sebelum tanggal pengiriman (*estimated time to delivered ETD*) atau tiga bulan sebelum tanggal penerimaan barang oleh pemesan (*estimated time to arrived ETA*). Jumlah barang dan type barang yang dipesan tidak selalu sama untuk setiap periode

pemesanan. Total jumlah type barang (produk) yang selama ini dipesan berjumlah 12 type, terdiri dari enam type untuk *boom* dan enam type untuk *arm*.

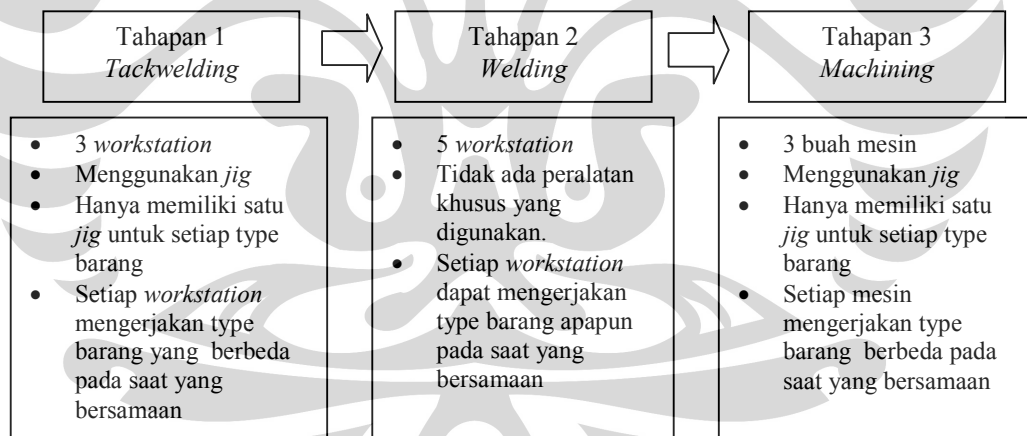


Gambar 3.2. *Boom* dan *Arm* pada *Mini Shovel*

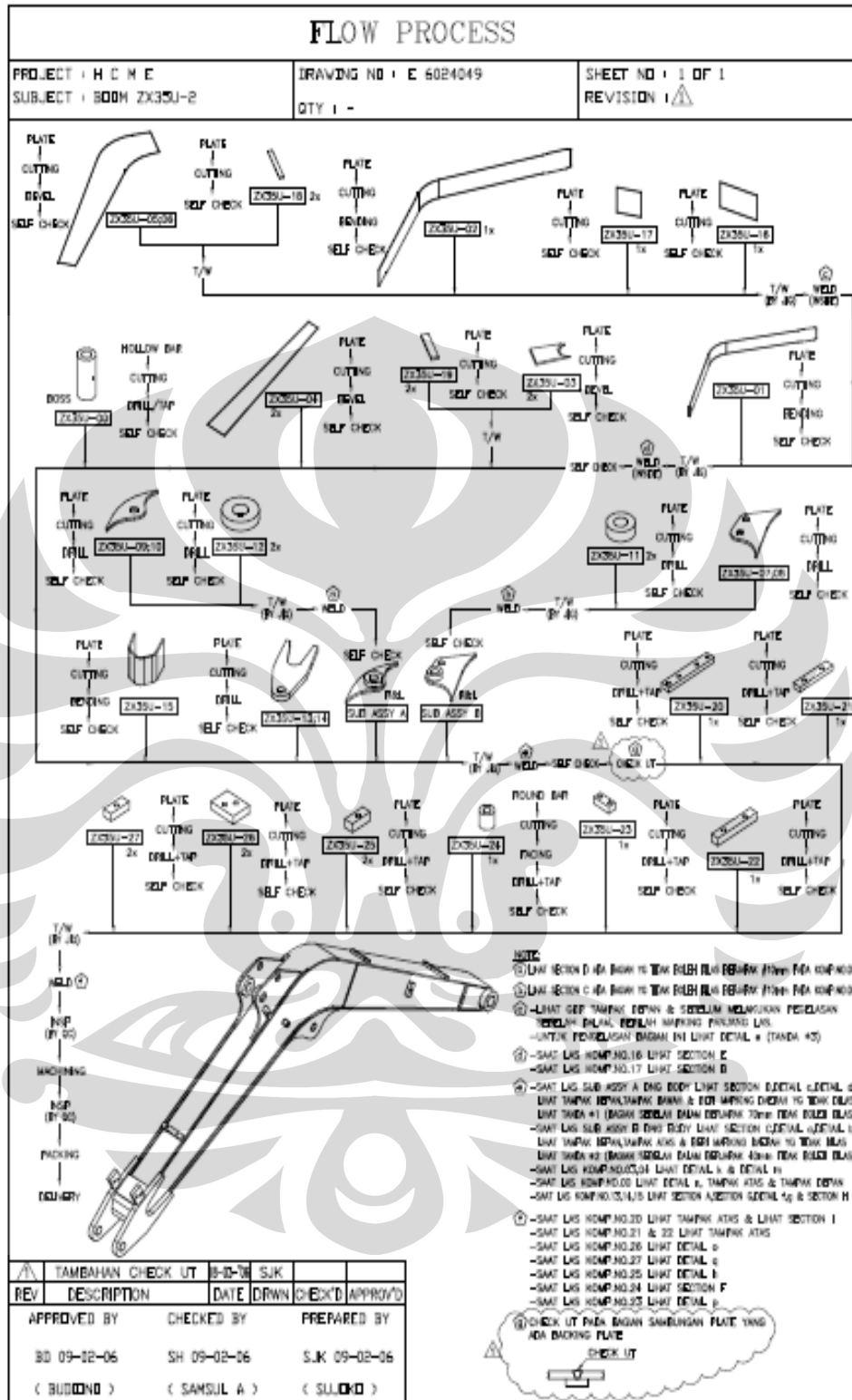
3.4.1. Proses Produksi *Boom* dan *Arm*

Proses produksi untuk *boom* dan *arm* memiliki tiga tahapan. Tahapan pertama adalah proses *tack-welding* yaitu perakitan komponen potong (*cutting part*) dengan menggunakan las titik di beberapa tempat untuk memperkuat posisi komponen pada saat pengelasan (*welding*). Perakitan komponen potong dilakukan pada sebuah *jig*. Tahapan kedua adalah *welding*, yaitu pengelasan di beberapa tempat yang telah ditentukan untuk memperkuat komponen yang dimaksud sehingga bisa digunakan sebagaimana fungsinya. Tahapan ketiga adalah proses *machining*, yaitu perlakuan terhadap beberapa bagian dari *boom* dan *arm* dengan menggunakan mesin. Proses *machining* pada *Boom* dan *arm* meliputi ; (a) proses *boring* yaitu pembuatan lubang dengan ukuran suaian poros yang ditetapkan, (b) proses *drilling* yaitu pembuatan lubang dengan menggunakan mata bor, lubang yang dibuat merupakan proses awal dari pembuatan ulir dalam dan (c) *tapping* yaitu pembuatan ulir dalam dengan menggunakan *tap*. Proses *machining* dilakukan dengan menggunakan mesin *Horizontal NC*. Alur proses pembuatan *Boom* dan *arm* dapat dilihat pada gambar 3.3., gambar 3.4. dan gambar 3.6.

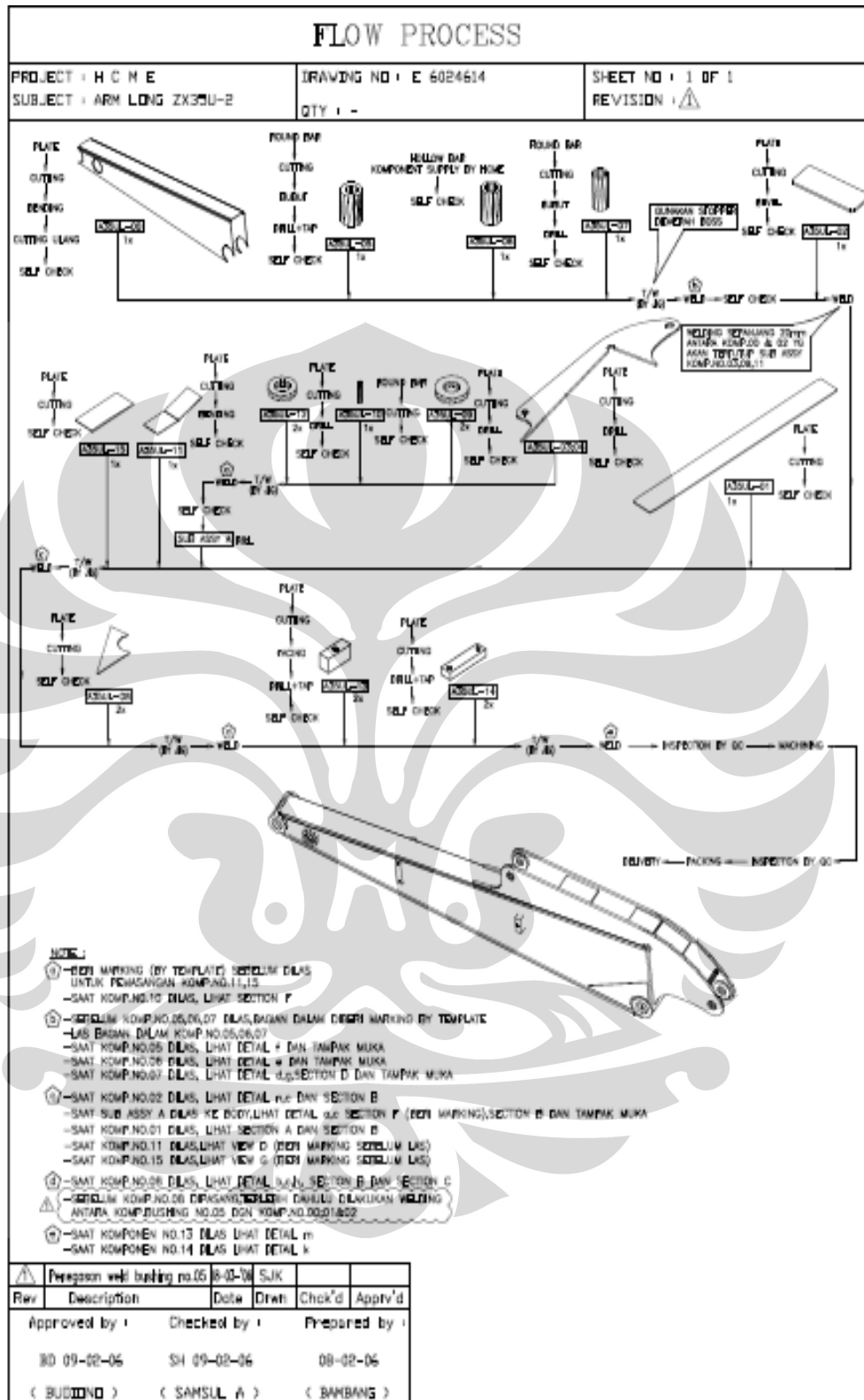
Pada tahapan satu yaitu proses *tack welding*, terdiri dari tiga buah *workstation*. Karena adanya keterbatasan *jig* dimana setiap type barang hanya mempunyai satu *jig*, maka ketiga *workstation* akan mengerjakan type barang yang berbeda antara satu *workstation* dengan *workstation* yang lain pada saat yang bersamaan. Tahapan kedua yaitu proses welding dilakukan oleh lima *workstation*. Tidak ada peralatan khusus yang digunakan pada *workstation* tahap kedua ini, sehingga setiap *workstation* dapat mengerjakan type barang apapun pada saat yang bersamaan. Pada tahapan terakhir atau tahapan ketiga yaitu proses *machining*, dilakukan dengan menggunakan tiga buah mesin. Seperti pada proses tahap satu, pada proses *machining* diperlukan sebuah *jig* untuk menempatkan *boom* atau *arm* agar barang tidak bergerak saat mendapat perlakuan *machining*. Jumlah *jig* pada proses *machining* hanya memiliki satu buah untuk setiap type barang, sehingga ketiga mesin akan mengerjakan type barang yang berbeda antara satu mesin dengan mesin yang lain pada saat yang bersamaan. Secara sederhana kondisi proses produksi *boom* dan *arm* tampak seperti gambar ini bawah ini.



Gambar 3.3. Kondisi proses produksi *Boom* dan *Arm*



Gambar 3.45. Bagan Alir Proses Mini Boom



Gambar 3.5. Bagan Alir Proses Mini Arm

3.4.2. Kapasitas Waktu Produksi

Kapasitas waktu produksi saat ini berdasarkan jumlah jam kerja normal yang telah ditetapkan. Pembagian jam kerja di PT. HCMI dibagi menjadi tiga jenis jam kerja yaitu; non- shift, 2 shift dan 3 shift. Jam kerja non-shift adalah delapan jam kerja per hari, jam kerja 2 shift adalah 15 jam per hari dengan perincian delapan jam untuk shift pertama dan tujuh jam untuk shift kedua. Jam kerja 3 shift adalah 21 jam dengan masing-masing shift bekerja selama tujuh jam. Hari kerja normal adalah lima hari dalam seminggu.

Tabel 3.1. Jam kerja PT. HCMI

Jenis Jam Kerja	Waktu Kerja dan Jumlah Jam Kerja		
Non Shift	Pk.08.00 – 17.00 8 jam		
2 Shift	Pk. 08.00 – 17.00 8 jam	Pk. 20.00 – 04.00 7 jam	
	Shift 1	Shift 2	
3 Shift	Pk. 07.00 – 15.00 7 jam	Pk. 15.00 – 23.00 7 jam	Pk. 23.00 – 07.00 7 jam
	Shift 1	Shift 2	Shift 3

Berdasarkan jam kerja di atas, tabel di bawah ini menunjukkan kapasitas waktu produksi yang tersedia dalam satu hari kerja normal untuk setiap tahapan produksi pada lini produksi *boom* dan *arm*.

Tabel 3.2. Kapasitas waktu produksi setiap tahapan per hari

	Tahapan 1 <i>Tackwelding</i>	Tahapan 2 <i>Welding</i>	Tahapan 3 <i>Machining</i>
Jumlah <i>workstation</i> /mesin	3	5	3
Jenis jam kerja	Non Shift	Non Shift	3 shift
Total jumlah jam kerja per hari	24	40	63

Di luar perhitungan jam kerja normal di atas, dimungkinkan untuk menambah jam kerja dengan kerja lembur (*overtime*) baik pada hari kerja biasa maupun pada hari libur.

3.4.3. Waktu Baku Pengerjaan Produk

Bagian *Engineering* mengeluarkan daftar waktu baku produksi (*standard time*) untuk semua jenis barang yang dibuat di PT. HCMI. Waktu baku produksi tersebut meliputi semua kegiatan proses produksi dan dinyatakan dalam satuan jam. Waktu baku produksi merupakan salah satu faktor untuk menentukan ongkos baku produksi (*standard cost*).

Waktu baku produksi untuk pembuatan *boom* dan *arm* adalah sebagai berikut.

Tabel. 3.3. Waktu baku produksi *Boom* dan *Arm* (dalam satuan jam)

Type Barang	<i>Tack-Welding</i>	<i>Welding</i>	<i>Machining</i>
Boom ZX 16	0.87	2.22	2.40
Boom ZX 25	1.20	2.32	2.40
Boom ZX 30	1.30	2.35	2.33
Boom ZX 35	1.45	2.41	2.37
Boom ZX 30U	1.50	2.30	2.20
Boom ZX 35U	1.50	2.50	2.20
Arm ZX 16 LC	0.54	1.41	1.39
Arm ZX 25 LC	0.70	1.67	1.53
Arm ZX 30 LC	0.82	1.93	1.67
Arm ZX 35 LC	1.10	2.57	1.81
Arm ZX 30U LC	0.80	1.90	1.40
Arm ZX 35U LC	0.90	2.10	1.50

3.4.4. Kegiatan Perencanaan Produksi

Kegiatan perencanaan produksi dimulai dari proses penerimaan pesanan (*purchase order PO*) oleh bagian *Marketing*. Bagian *Marketing* meneruskan informasi ini kepada bagian *Production Planning Control (PPC)*, Produksi, *Quality Control*, *Engineering* dan *Purchasing*. Bagian PPC akan memasukkan

data tersebut ke dalam *master plan* yang disebut *B-List*. Data *B-List* dipergunakan sebagai acuan untuk pemesanan material, jadwal produksi dan rencana pengiriman. Berdasarkan *B-List* bagian Produksi akan membuat perhitungan kapasitas produksi dan penjadualan produksi. Apabila berdasarkan perhitungan kapasitas produksi, bagian Produksi tidak dapat memenuhi tenggat waktu yang diminta, maka bagian Produksi akan menginformasikannya kepada bagian PPC dan *Marketing* untuk diteruskan kepada pemesan. Bersamaan dengan informasi tersebut, bagian Produksi akan mengajukan tenggat waktu baru sesuai dengan kapasitas produksi yang tersedia.

Penjadualan produksi yang selama ini dilakukan oleh bagian Produksi, dilakukan dengan perhitungan yang sederhana. Tidak ada acuan yang baku untuk menetapkan type barang yang mana yang akan diproses terlebih dahulu.

3.4.5. Data Pemesanan

Untuk penelitian ini data pemesanan komponen *boom* dan *arm* diambil dari data pemesanan untuk pengiriman bulan April 2008. Proses produksi terhadap pesanan ini dilakukan pada bulan Maret 2008 dimana total hari kerja normal yang tersedia berjumlah 18 hari. Data pemesanan selengkapnya adalah sebagai berikut

Tabel. 3.4. Jumlah pesanan *Boom* dan *Arm* bulan April 2008

No	Type Barang	Jumlah Pesanan
1	Boom ZX 16	23
2	Boom ZX 25	23
3	Boom ZX 30	45
4	Boom ZX 35	8
5	Boom ZX 30U	35
6	Boom ZX 35U	25
7	Arm ZX 16 LC	37
8	Arm ZX 25 LC	23
9	Arm ZX 30 LC	36
10	Arm ZX 35 LC	13
11	Arm ZX 30U LC	45
12	Arm ZX 35U LC	31

4. PENGOLAHAN DATA DAN ANALISIS

4.1. Fungsi Tujuan

Seperti dijelaskan pada bab sebelumnya bahwa objek pada penelitian ini memiliki type pekerjaan *flexible flow shop* dimana barang yang diproses harus melalui beberapa tahapan (*stage*) dengan mesin-mesin yang disusun secara paralel. Fungsi tujuan dari penelitian ini adalah untuk mendapatkan minimum *makespan* (C_{max}). *Makespan* adalah rentang waktu yang dibutuhkan untuk memroses pekerjaan yang dimulai pada waktu RT dan diselesaikan pada waktu FT . Untuk kondisi dimana *flexible flow shop* memiliki objektif meminimalkan *makespan*, Pinedo menotasikannya sebagai $FFs|C_{max}$ (Pinedo, 1995)⁶ sementara Babayan dan David He menotasikannya sebagai $F3||C_{max}$ (Babayan & David He, 2004)⁷. Pada penelitian ini, notasi yang digunakan adalah $FFs3||C_{max}$.

$$FFs3||C_{max} = (\text{Max}\{FT_{ijk3m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk3m}\}) + (\text{Min}\{RT_{ijk3m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk2m}\}) + (\text{Min}\{RT_{ijk2m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk1m}\})$$

dimana $\forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M$ (4.1)

Notasi:

$FFs3$: Flexible Flow shop dengan 3 stage

FT : Finish Time, waktu selesai pekerjaan

RT : Release Time, waktu mulai pekerjaan

i : job

j : unit j dari job i

$k(n)$: tahapan ke- n (1,2,3)

m : mesin/*workstation* ke- m pada $k(n)$

I : jumlah keseluruhan job

J : jumlah keseluruhan unit

M : jumlah keseluruhan mesin/*workstation*

⁶ Pinedo, Michael, Scheduling Theory, Algorithm and Systems, Prentice Hall, 1995

⁷ Babayan, Astghik and He, David, Solving the n -job 3-stages Flexible Flowshop Scheduling Problem Using an Agent-based Approach, International Journal of Production Research Vol. 42 No. 4, 2004.

4.2. Inisialisasi Solusi

Dari data pemesanan yang ada, dilakukan inisialisasi solusi untuk mendapatkan penjadualan awal yang akan dioptimasi pada langkah selanjutnya. Pada tahap inisialisasi solusi ini, jumlah pemesanan setiap type barang dibagi empat sebagai representasi jadwal mingguan. Angka pada data tersebut dibulatkan ke angka terdekat.

Kondisi yang digunakan pada penjadualan adalah sebagai berikut:

- 1) Setiap mesin/*workstation* hanya mengerjakan satu unit barang pada satu waktu dan tidak dapat diselingi oleh pekerjaan lain (*non preemptive*).
- 2) Tidak ada kendala dalam ketersediaan material.
- 3) Kondisi mesin dianggap stabil.
- 4) Waktu proses (*processing time*) sudah termasuk waktu *set up*.
- 5) Pada proses di tahapan 1 dan tahapan 3, penggantian jig antara type barang yang satu dengan type barang yang lain adalah tetap. Waktu untuk penggantian jig adalah 0.17 pada tahapan 1 dan 0.67 pada tahapan 3.

Tahapan yang dilakukan dalam melakukan inisialisasi solusi adalah sebagai berikut:

- 1) Menetapkan metode penjadualan.
- 2) Menyusun penjadualan.
- 3) Menghitung *makespan*.

Tabel 4.1. Data jumlah pemesanan *mini boom* dan *mini arm* untuk inisialisasi solusi

Type	Jumlah
Boom ZX 16	6
Boom ZX 25	6
Boom ZX 30	11
Boom ZX 35	2
Boom ZX 30U	9

Tabel 4.1. Data jumlah pemesanan *mini boom* dan *mini arm* untuk inisialisasi solusi (sambungan)

Boom ZX 35U	6
Arm ZX 16 LC	9
Arm ZX 25 LC	6
Arm ZX 30 LC	9
Arm ZX 35 LC	3
Arm ZX 30U LC	11
Arm 35U LC	8
Total	86

4.2.1. Menetapkan Metode Penjadualan

Penetapan metode penjadualan dilakukan terhadap ketiga tahapan (*stage*) dari proses pembuatan *mini arm* dan *mini boom*.

4.2.1.1. Metode Penjadualan Tahapan 1

Dalam menetapkan metode yang akan digunakan untuk menyusun penjadualan tahapan 1, perlu diperhatikan kondisi yang menyertainya.

Berdasarkan data yang ada, kondisi tersebut adalah:

- 1) Tahapan 1 memiliki tiga buah *workstation* yang tersusun secara paralel dimana setiap *workstation* memiliki kemampuan yang sama dalam memroses semua unit pesanan.
- 2) Setiap type barang menggunakan jig yang berbeda antara type yang satu dengan type yang lain. Masing-masing type hanya memiliki satu buah jig.
- 3) Perubahan pengerjaan dari type yang satu ke type yang lain pada *workstation* yang sama akan menyebabkan bertambahnya total waktu pemrosesan sebagai akibat dari pergantian jig dimana waktu yang dibutuhkan untuk pergantian jig ($COT = \text{changeover time}$) adalah 0.17 yang berlaku tetap untuk semua type dan semua *workstation*.

Dari kondisi di atas, penetapan metode penjadualan tahapan 1 adalah;

- 1) Penjadualan dengan *workstation* secara paralel, seluruh unit pesanan harus dibagi ke seluruh mesin secara maksimal sehingga waktu pemrosesan menjadi singkat.
- 2) Setiap type memiliki karakter yang unik dalam melakukan prosesnya., yaitu penggunaan jig yang berbeda untuk masing-masing type . Pergantian type akan mengakibatkan bertambahnya waktu proses keseluruhan, sehingga pergantian type harus dilakukan seminimal mungkin. Terhadap kondisi seperti ini, pengelompokan unit pesanan dapat dilakukan seperti diungkapkan oleh Kenneth R Baker (2001)⁸. Berdasarkan hal tersebut, maka unit pesanan dikelompokkan berdasarkan type barang, untuk selanjutnya kelompok unit pesanan ini disebut job.
- 3) Waktu penyelesaian sebuah pekerjaan adalah waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan satu unit pesanan. Waktu penyelesaian sebuah job merupakan akumulasi dari waktu penyelesaian seluruh unit dari job tersebut.
- 4) Karena tahapan 1 merupakan awal proses dari tiga proses yang harus dijalani oleh setiap unit, maka barang yang telah dikerjakan harus segera dikerjakan pada tahapan selanjutnya. Metode yang dapat digunakan untuk hal tersebut adalah SPT (*shortest processing time*). SPT merupakan *dispatching rule* yang digunakan untuk mendahulukan pekerjaan dengan waktu proses terpendek. Dengan SPT, diharapkan *idle time* pada tahapan 2 akan minimal.

Tabel 4.2. Pengelompokan unit pesanan menjadi job

Type	Job (i)	Jumlah Unit
Boom ZX 16	(1)	6
Boom ZX 25	(2)	6
Boom ZX 30	(3)	11
Boom ZX 35	(4)	2

⁸ Kenneth R. Baker., Elements of Sequencing and Scheduling, Tuck School of Business, Hanover, 2001.h.10.1

Tabel 4.2. Pengelompokan unit pesanan menjadi job (sambungan)

Boom ZX 30U	(5)	9
Boom ZX 35U	(6)	6
Arm ZX 16 LC	(7)	9
Arm ZX 25 LC	(8)	6
Arm ZX 30 LC	(9)	9
Arm ZX 35 LC	(10)	3
Arm ZX 30U LC	(11)	11
Arm 35U LC	(12)	8

1.2.1.2. Metode Penjadualan Tahapan 2

Pada tahapan 2, kondisi yang menjadi dasar penetapan metode penjadualan adalah sebagai berikut;

- 1) Tahapan 2 memiliki lima buah *workstation* yang tersusun secara paralel dimana setiap *workstation* memiliki kemampuan yang sama dalam memproses semua unit pesanan.
- 2) Tidak ada kondisi khusus pada tahapan ini, sehingga setiap *workstation* memiliki keleluasaan untuk diberikan pekerjaan apapun.

Dari kondisi di atas, penetapan metode penjadualan tahapan 2 adalah;

- 1) Penjadualan dengan *workstation* secara paralel, seluruh unit pesanan harus dibagi ke seluruh *workstation* secara maksimal sehingga waktu pemrosesan menjadi singkat.
- 2) Pekerjaan yang dilakukan oleh *workstation* adalah *unit base*, dimana setiap *workstation* dapat mengerjakan unit pesanan dari job yang manapun. Tidak ada penambahan waktu terhadap pergantian job.
- 3) Tahapan 2 merupakan input untuk proses tahapan 3, maka barang yang telah dikerjakan harus segera dikirimkan pada tahapan selanjutnya. Untuk itu, perlu dipergunakan EFT (*earliest finish time*) sebagai *dispatching rule* yang digunakan agar barang yang telah terselesaikan dengan waktu tercepat bisa segera dikirimkan ke tahapan selanjutnya. Metode EFT ini

digunakan oleh Kanchana Sethanan (2001)⁹ dalam persoalan *family scheduling*.

1.2.1.3. Metode Penjadualan Tahapan 3

Kondisi pada tahapan 3 sama seperti pada kondisi tahapan 1 dimana;

- 1) Tahapan 3 memiliki tiga buah *workstation* yang tersusun secara paralel dimana setiap *workstation* memiliki kemampuan yang sama dalam memroses semua unit pesanan.
- 2) Setiap type barang menggunakan jig yang berbeda antara type yang satu dengan type yang lain. Masing-masing type hanya memiliki satu buah jig.
- 3) Perubahan pengerjaan dari type yang satu ke type yang lain pada *workstation* yang sama akan menyebabkan bertambahnya total waktu pemrosesan sebagai akibat dari pergantian jig dimana waktu yang dibutuhkan untuk pergantian jig (COT=*changeover time*) adalah 0.67 yang berlaku tetap untuk semua type dan semua *workstation*.

Dengan demikian, pada tahapan 3 penjadualan akan disusun berdasarkan pengelompokan unit pesanan (job). Namun demikian, terdapat perbedaan antara keduanya, dimana pada tahapan 3 penggunaan EFT sebagai *dispatching rule* digunakan untuk menetapkan pemilihan mesin saat pergantian job.

Dari pemilihan metode di atas, maka metode penjadualan pada setiap tahapan adalah seperti pada tabel di bawah ini

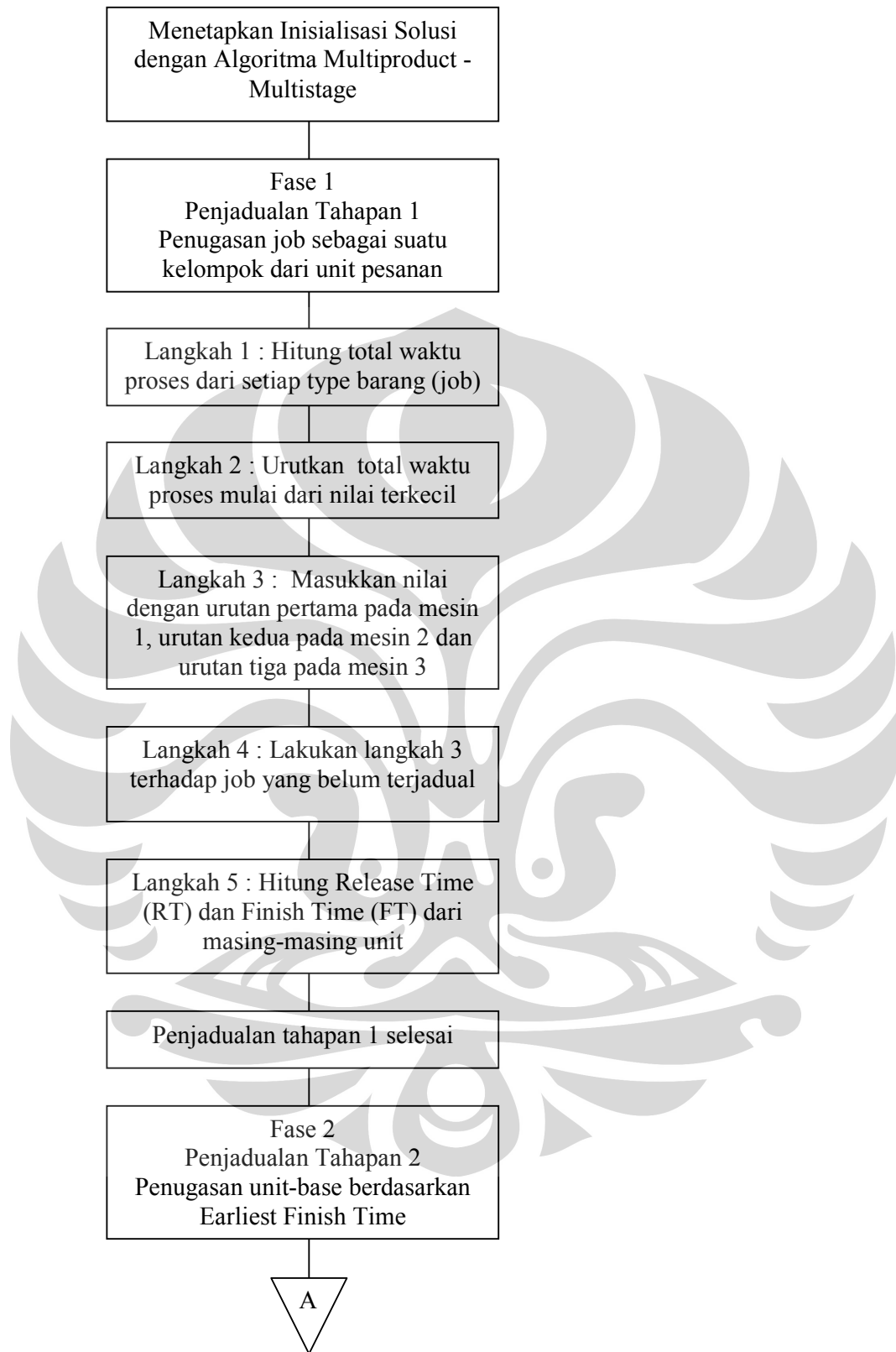
Tabel 4.3. Penetapan metode penjadualan untuk setiap tahapan

Tahapan proses	Susunan mesin	<i>Dispatching rule</i>
Tahapan 1	Paralel 3 mesin	SPT , kelompok (job)
Tahapan 2	Paralel 5 mesin	EFT, <i>unit base</i>
Tahapan 3	Paralel 3 mesin	EFT, kelompok (job)

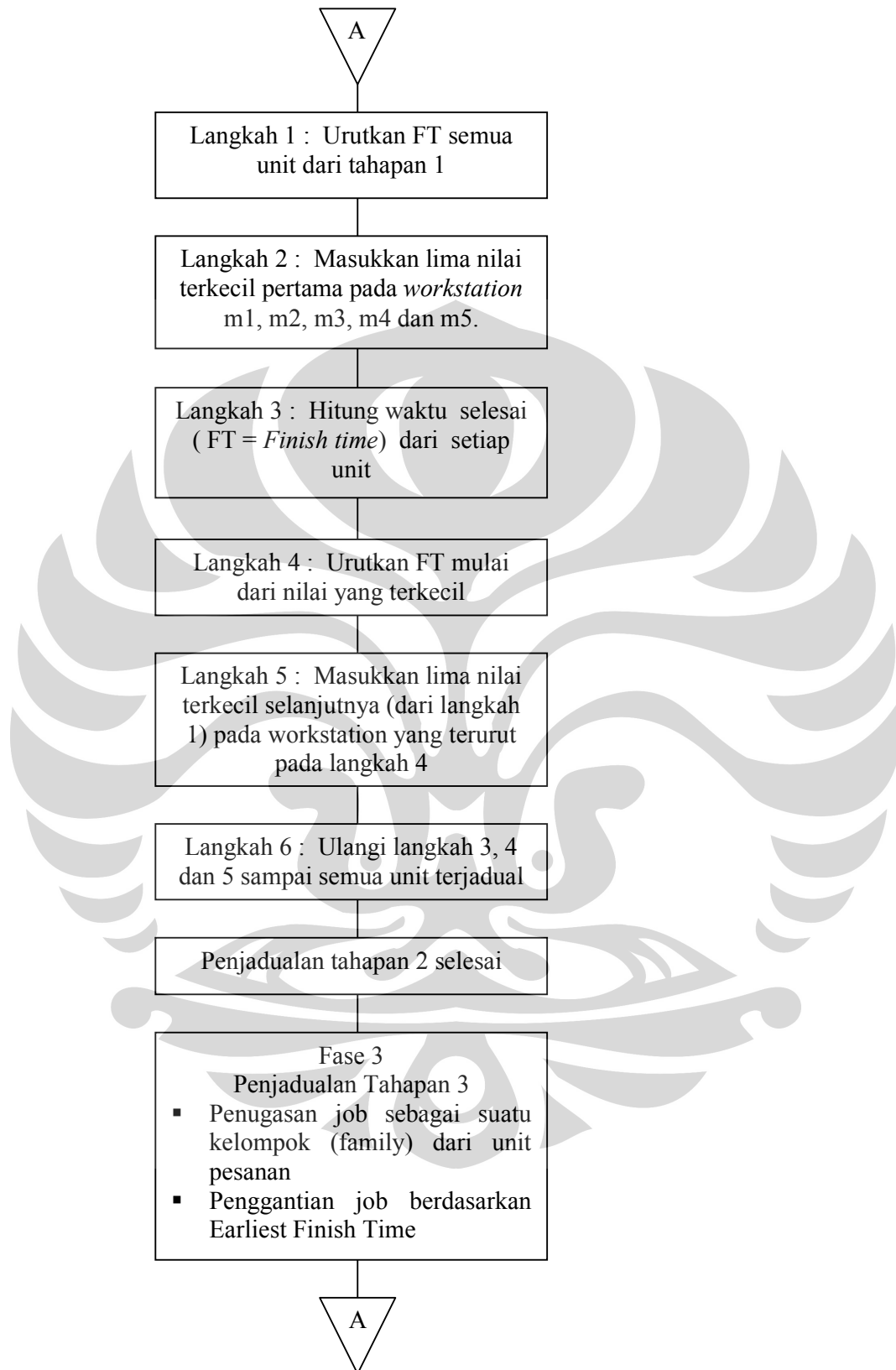
4.2.2. Menyusun Penjadualan dengan Algoritma *Multiproduct-Multistage*

Berdasarkan metode yang telah ditetapkan, dibuatkan algoritma sebagai acuan dalam melakukan penjadualan seperti pada bagan alir berikut ini.

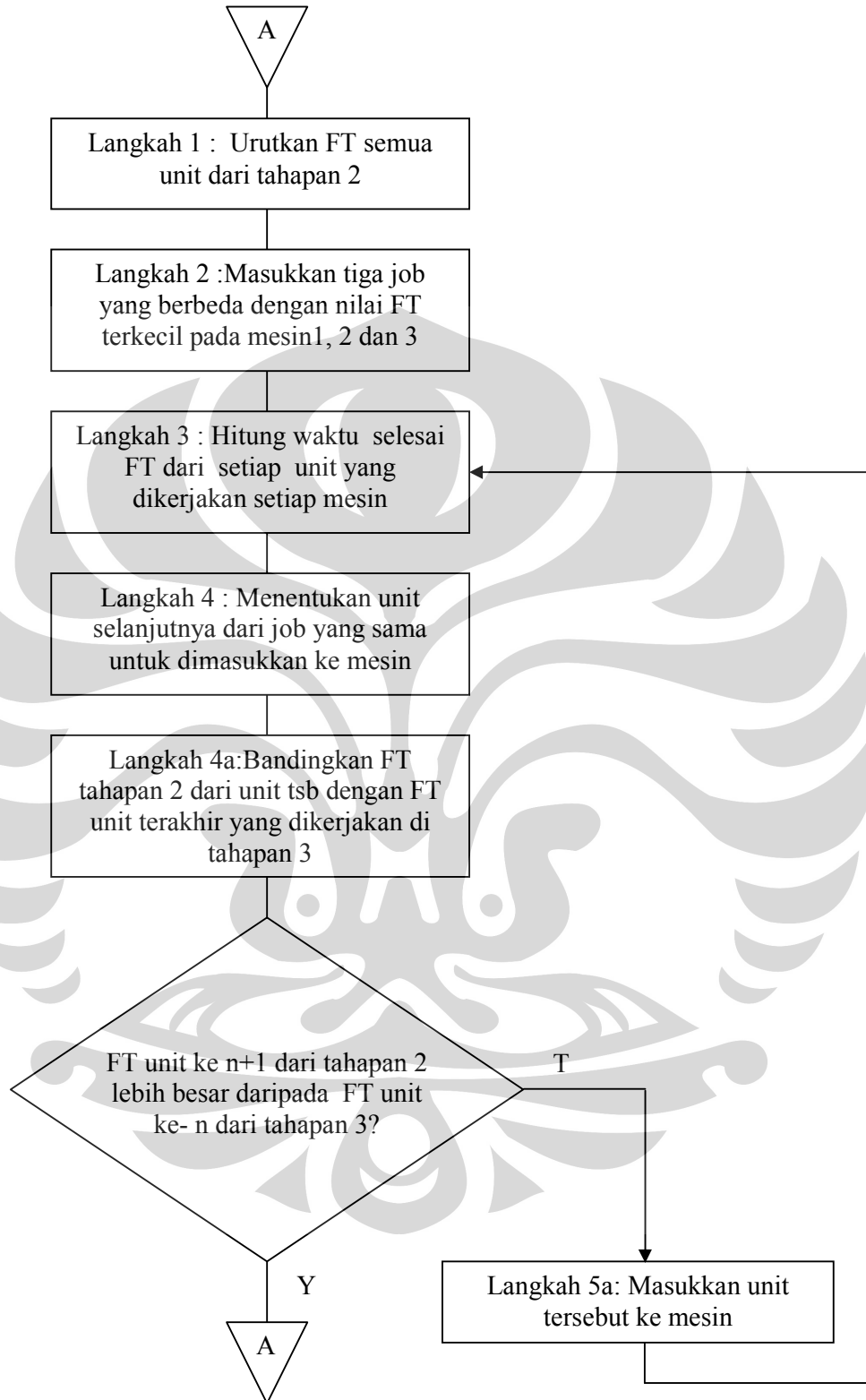
⁹ Sethanan, Kanchana, Scheduling Flexible Flowshop with Sequence Dependend Setup Times, Dissertation, West Virginia University, 2001. h.64



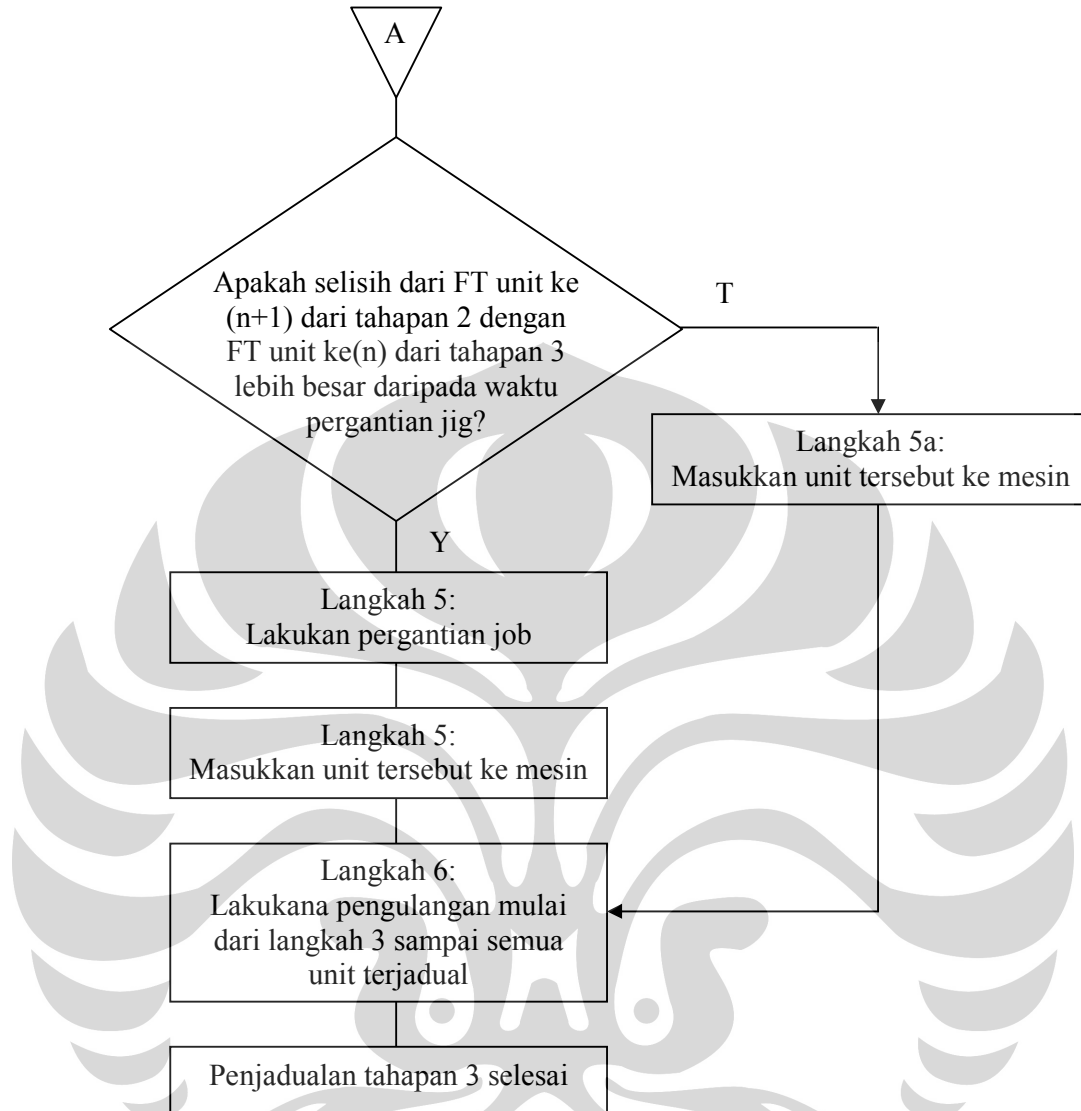
Gambar 4.1. Aliran Algoritma Multiproduct-Multistage tahap awal



Gambar 4.1. Aliran Algoritma Multiproduct-Multistage tahap awal (sambungan)



Gambar 4.1. Aliran Algoritma Multiproduct-Multistage tahap awal (sambungan)



Gambar 4.1. Aliran Algoritma Multiproduct-Multistage tahap awal (sambungan)

A. Algoritma untuk penjadualan Tahapan 1

Langkah 1 Hitung waktu proses yang dibutuhkan untuk setiap job

$$PT_i = ST_i \cdot J_m \quad (4.2)$$

dimana ; PT_i = *process time* job i

ST_i = *Standard time* untuk satu unit job i

J_m = Jumlah unit job i

Nilai perhitungan dibatasi sampai bilangan seperatus

Langkah 2 Urutkan hasil perhitungan mulai dari nilai yang terkecil

- Langkah 3 Masukkan nilai urutan pertama pada *workstation* m1, urutan kedua pada *workstation* m2 dan urutan ketiga pada *workstation* m3.
- Langkah 4 Lakukan langkah 3 untuk sisa job yang belum terjadual.
- Langkah 5 Hitung waktu selesai (FT = *Finish time*) dari setiap unit yang dikerjakan setiap *workstation*.

- 1) *Finish time* pada unit (j) ke-n merupakan akumulasi *standard time* (ST_i) dari unit yang telah dikerjakan.

$$FT = \sum_{j=1}^n ST_{ijk1m} \quad (4.3)$$

- 2) Untuk setiap pergantian job pada *workstation* yang sama, nilai FT pada unit ke-j dari job ke-(i+1) ditambah dengan nilai konstanta COT_{k1} = 0.17 atau $FT_{(i+1)jk1m} + COT_{k1}$

B. Algoritma untuk penjadualan Tahapan 2

- Langkah 1 Berdasarkan perhitungan FT dari semua *workstation* pada tahapan 1, urutkan nilai FT mulai dari nilai yang terkecil.
- Langkah 2 Masukkan lima nilai terkecil pertama (dari langkah 1) pada *workstation* m1, m2, m3, m4 dan m5.
- Langkah 3 Hitung waktu selesai (FT = *Finish time*) dari setiap unit yang dikerjakan setiap *workstation*.

- 1) *Finish time* unit ke-n pada tahapan 2 merupakan nilai penjumlahan dari *release time* (RT) unit tersebut pada tahapan 2 dengan *standard time* unit tersebut pada tahapan 2.
- 2) *Release time* dari unit ke-1 pada tahapan 2 adalah *finish time* unit ke-1 dari Tahapan 1

$$FT_{i1k2} = RT_{i1k2} + ST_{i1k2} \quad (4.4)$$

$$RT_{i1k2} = FT_{i1k1} \quad (4.5)$$

- 3) *Finish time* pada unit ke - n pada setiap mesin merupakan akumulasi *standard time* (ST_i) dari unit yang telah dikerjakan ditambah *release time* unit ke-1

$$FT = \sum_{j=1}^n ST_{ijk2} + RT_{i1k2} \quad (4.6)$$

- Langkah 4 Urutkan FT dari langkah 3 mulai dari nilai yang terkecil.
** Pada saat ini, urutan workstation akan berubah sesuai dengan nilai FT
- Langkah 5 Masukkan lima nilai terkecil selanjutnya (dari langkah 1) pada workstation sesuai dengan urutan pada langkah 4.
- Langkah 6 Lakukan langkah 3, 4 dan 5 sampai unit yang terakhir dari langkah 1.

C. Algoritma untuk penjadualan Tahapan 3

- Langkah 1 Berdasarkan perhitungan FT dari semua *workstation* pada tahapan 2, urutkan nilai FT mulai dari nilai yang terkecil.
- Langkah 2 Masukkan tiga job yang berbeda dengan nilai FT terkecil pada mesin 1, 2 dan 3
- Langkah 3 Hitung waktu selesai ($FT = \textit{Finish time}$) dari setiap unit yang dikerjakan setiap mesin.
- 1) *Finish time* unit ke-1 pada tahapan 3 merupakan penjumlahan dari *release time* (RT) unit tersebut pada tahapan 3 dengan *standard time* unit tersebut pada tahapan 3.
 - 2) *Release time* dari unit ke-1 pada tahapan 3 adalah *finish time* unit ke-1 dari tahapan 2

$$FT_{i1k3} = RT_{i1k3} + ST_{i1k3} \quad (4.7)$$

$$RT_{i1k3} = FT_{i1k2} \quad (4.8)$$

- Langkah 4 Periksa FT unit dengan urutan selanjutnya atau $FT_{i(j+1)k2}$ dari job yang sama yang telah ditugaskan. Bandingkan dengan FT tersebut dengan unit ke-n pada tahapan 3 yang telah dikerjakan oleh mesin m (FT_{ijk3m}).

- 1) Apabila nilai $FT_{i(j+1)k2}$ lebih kecil dari FT_{ijk3m} , maka masukkan unit ke-j pada mesin tersebut.
- 2) Apabila nilai $FT_{i(j+1)k2}$ lebih besar dari FT_{ijk3m} tetapi selisih keduanya lebih kecil dari waktu pergantian jig ($COTk_3 = 0.67$), masukkan unit ke-n pada mesin tersebut dan selisih antara keduanya dijumlahkan dengan FT_{ijk3m}

Jika $FT_{i(j+1)k2} > FT_{ijk3m}$ dan

$$FT_{i(j+1)k2} - FT_{ijk3m} = \alpha < 0.67 \text{ maka}$$

$$FT_{ijk3m} = FT_{ijk3m} + \alpha.$$

**Pada kondisi ini, mesin dalam keadaan *idle* sebesar α

- 3) Apabila nilai $FT_{i(j+1)k2}$ lebih besar dari FT_{ijk3m} dan selisih keduanya lebih besar atau sama dengan waktu pergantian jig ($COTk_3 = 0.67$), maka lakukan pergantian job.

Jika $FT_{i(j+1)k2} > FT_{ijk3m}$ dan

$$FT_{i(j+1)k2} - FT_{ijk3m} \geq 0.67, \text{ maka ganti job}$$

- 4) Untuk setiap pergantian job pada workstation yang sama, nilai FT pada unit ke-n dari job(i) ke-n+1 ditambah dengan nilai konstanta $COTk_3 = 0.67$ atau $FT_{ijk3m} + COTk_3$

Langkah 5 Lakukan langkah 3 dan 4 sampai semua unit terjadual.

Dari algoritma inisialisasi solusi ini akan dibuatkan program penjadualan dan perhitungan sebagai dasar penetapan nilai *fitness* fungsi tujuan pada program yang menggunakan Genetic Algorithm.

4.3. Verifikasi Program

Tujuan dari verifikasi program adalah untuk memastikan bahwa program telah dibuat dengan benar sesuai dengan algoritma yang ditetapkan.

- 1) Verifikasi program ini hanya dilakukan terhadap algoritma yang digunakan pada inisialisasi solusi.
- 2) Verifikasi program dilakukan dengan membandingkan penjadualan dan perhitungan yang dilakukan secara manual dengan penjadualan dan perhitungan yang dihasilkan oleh program
- 3) Penjadualan dan perhitungan manual dilakukan dengan menggunakan piranti Microsoft Excel.

4.3.1. Penjadualan dan Perhitungan Manual

4.3.1.1. Penjadualan Tahapan 1

Penjadualan tahapan 1 dimulai dengan menghitung total waktu proses setiap job. Total waktu proses adalah jumlah perkalian antara jumlah unit pesanan pada job tertentu dengan *standard time* job tersebut. Data job dan *standard time* setiap

tahapan terdapat pada lampiran 1. Hasil perhitungan total waktu proses setiap job terdapat pada lampiran 2.

Dari data pada lampiran 2, dilakukan pemeringkatan job berdasarkan total waktu proses dimulai dari total waktu proses terkecil (lihat lampiran 3). Berdasarkan data pada lampiran 3 tersebut, dilakukan penugasan job pada setiap *workstation* dimulai dari job dengan urutan pertama untuk *workstation* m1, urutan kedua untuk *workstation* m2, urutan ketiga untuk *workstation* m3, urutan keempat untuk *workstation* m1 dan seterusnya. Hasil penugasan job pada setiap mesin seperti pada tabel di bawah ini

Tabel 4.4. Urutan Pengerjaan Job Pada Tahapan 1

Mesin	Urutan pengerjaan job (i)			
m1	(4)	(7)	(12)	(6)
m2	(10)	(1)	(9)	(5)
m3	(8)	(2)	(11)	(3)

Urutan selengkapnya dari pengerjaan dalam penjadualan produksi setiap mesin pada tahapan 1 adalah seperti pada lampiran 4.

4.3.1.1. Penjadualan Tahapan 2

Untuk menyusun penjadualan tahapan 2, terlebih dahulu dilakukan pemeringkatan terhadap FT semua unit yang dikerjakan oleh *workstation* m1, m2 dan m3 pada tahapan 1. Pemeringkatan dimulai dari unit dengan nilai FT terkecil seperti pada lampiran 5. Langkah selanjutnya adalah memasukkan lima unit yang memiliki FT terkecil ke *workstation* m1, m2, m3, m4 dan m5 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.12. Penetapan unit pertama untuk setiap workstation pada tahapan 2

Urutan FT	Job, unit (i,j)	FT Tahapan 1	workstation
1	(8,1)	0.70	m1
2	(10,1)	1.10	m2
3	(8,2)	1.40	m3
4	(4,1)	1.45	m4
5	(8,3)	2.10	m5

Langkah selanjutnya adalah menghitung FT tahapan 2 sesuai dengan persamaan 4.2 untuk setiap job yang sudah terjadual. Hasil perhitungan FT pada tahapan 2 adalah sebagai berikut

Tabel 4.13. *Finish time* (FT) unit ke-1 dari setiap *workstation* pada tahapan 2

Job, unit (i,j)	FT Tahapan 1	Standard time (ik ₂)	FT _{ijk2}	workstation
(8,1)	0.70	1.67	2.37	m1
(10,1)	1.10	2.57	3.67	m2
(8,2)	1.40	1.67	3.07	m3
(4,1)	1.45	2.41	3.86	m4
(8,3)	2.10	1.67	3.77	m5

Dari perhitungan di atas, dilakukan pemeringkatan FT_{ijk2} mulai dari FT terkecil. Hasil pemeringkatan adalah sebagai berikut;

Tabel 4.14. Hasil pemeringkatan FT pada tahapan 2

Job, unit (i,j)	FT _{ijk2}	workstation
(8,1)	2.37	m1
(8,2)	3.07	m3
(10,1)	3.67	m2
(8,3)	3.77	m5
(4,1)	3.86	m4

Berdasarkan hasil pemeringkatan di atas, dapat dilihat bahwa *workstation* m1 lebih dahulu menyelesaikan pekerjaannya diikuti oleh *workstation* m3, m2, m5 dan m4. Untuk unit kedua yang akan dikerjakan di *workstation* m1, diambil unit keenam dari lampiran 5, unit ketujuh untuk untuk m2, unit kedelapan untuk m3, unit kesembilan untuk m4, dan unit kesepuluh untuk m5. Dilakukan kembali perhitungan FT untuk unit kedua sesuai dengan persamaan (4.7). Setelah itu, hasil perhitungan FT tersebut diurutkan kembali seperti pada tabel 4.14 untuk mendapatkan unit ketiga yang akan dikerjakan. Pengulangan kegiatan ini

dilakukan sampai semua unit terjadual. Jadwal produksi untuk tahapan 2 secara lengkap terdapat pada lampiran 6.

4.3.1.1. Penjadualan Tahapan 3

Untuk penjadualan tahapan 3, dilakukan pemeringkatan terhadap FT semua unit yang dikerjakan oleh *workstation* m1, m2, m3, m4 dan m5 pada tahapan 2. Pemeringkatan dimulai dari unit dengan nilai FT terkecil. (lihat lampiran 7). Dari data tersebut, dipilih tiga unit dari tiga job berbeda yang memiliki nilai FT terkecil. Ketiga unit tersebut dimasukkan ke mesin m1, m2 dan m3 seperti pada tabel di bawah ini.

Tabel 4.17. Penetapan unit pertama untuk setiap mesin pada tahapan 3

Job(i), unit (j)	FT _{ijk2}	mesin
(8,1)	2.37	m1
(10,1)	3.67	m3
(4,1)	3.86	m2

Langkah selanjutnya adalah menghitung FT tahapan 3 sesuai dengan persamaan 4.2 untuk setiap job yang sudah terjadual. Nilai FT_{ijk3} tersebut dibandingkan dengan FT unit selanjutnya dengan job yang sama dari tahapan 2 atau FT_{i(j+1)k2}.

- 1) Apabila nilai FT_{i(j+1)k2} lebih kecil dari FT_{ijk3m}, maka masukkan unit ke-j+1 dari tahapan 2 pada mesin tersebut.
- 2) Apabila nilai FT_{i(j+1)k2} lebih besar dari FT_{ijk3m} tetapi selisih keduanya (α) lebih kecil dari waktu pergantian jig ($COTk_3 = 0.67$), masukkan unit ke-j+1 pada mesin tersebut dan selisih antara keduanya dijumlahkan dengan FT_{ijk3m}.
- 3) Apabila nilai FT_{i(j+1)k2} lebih besar dari FT_{ijk3m} dan selisih keduanya lebih besar atau sama dengan waktu pergantian jig ($COTk_3 = 0.67$), maka lakukan pergantian job.

Tujuan dari metode di atas adalah untuk menempatkan unit dari job yang sama pada mesin-mesin di tahapan 3 secara berurut. Pengulangan langkah ini

dilakukan sampai semua unit terjadual. Hasil penyusunan jadual produksi untuk tahapan 3.dapat dilihat pada lampiran 8.

4.2.3. Menghitung *Makespan*

Sesuai dengan persamaan (4.1), dilakukan perhitungan makespan terhadap inialisasi solusi. Perhitungan *makespan* adalah sebagai berikut

$$FFs3|(Cmax) = (\text{Max}\{FT_{ijk3m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk3m}\}) + (\text{Min}\{RT_{ijk3m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk2m}\}) + (\text{Min}\{RT_{ijk2m}\} - \text{Min}\{RT_{ijk1m}\})$$

dimana $\forall i \in I, \forall j \in J, \forall m \in M$

notasi

$\text{Max}\{FT_{ijk3m}\}$: nilai FT tertinggi dari job(i) unit(j) yang dikerjakan oleh seluruh mesin di tahapan 3

$\text{Min}\{RT_{ijk3m}\}$: nilai RT terendah dari job(i) unit(j) yang dikerjakan oleh seluruh mesin di tahapan 3

$\text{Min}\{RT_{ijk2m}\}$: nilai RT terendah dari job(i) unit(j) yang dikerjakan oleh seluruh mesin di tahapan 2

$\text{Min}\{RT_{ijk1m}\}$: nilai RT terendah dari job(i) unit(j) yang dikerjakan oleh seluruh mesin di tahapan 1

Diketahui :

$\text{Max}\{FT_{ijk3m}\} = 68.99$ (pada unit ke-10 dari job ke-3 pada mesin m1 di tahapan 3)

$\text{Min}\{RT_{ijk3m}\} = 2.37$ (pada unit ke-1 dari job ke-8 pada mesin m1 di tahapan 3)

$\text{Min}\{RT_{ijk2m}\} = 0.7$ (pada

$\text{Min}\{RT_{ijk1m}\} = 0$

maka

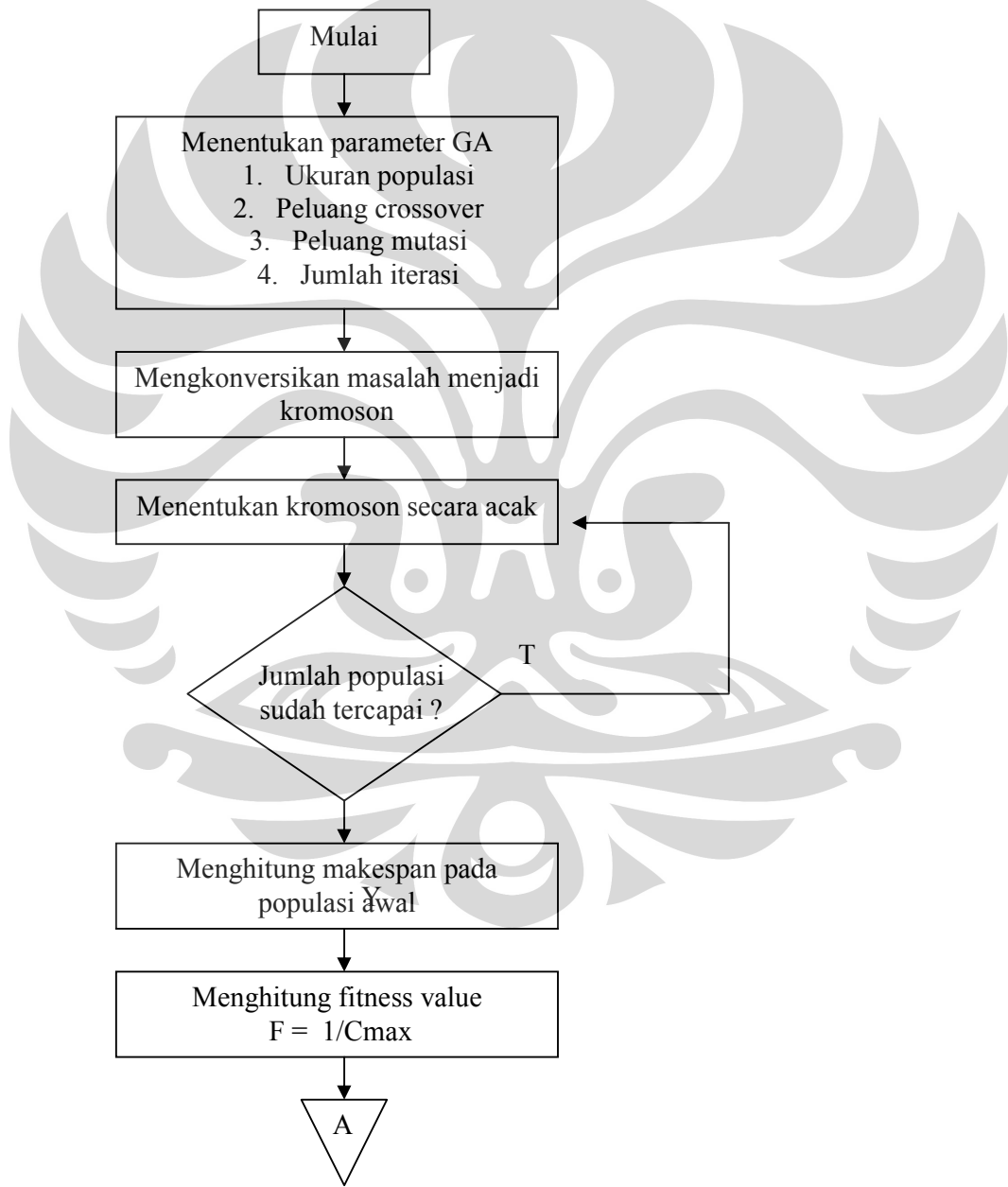
$$\begin{aligned} Cmax &= (68.99 - 2.37) + (2.37 - 0.7) + (0.7 - 0) \\ &= 68.99 \end{aligned}$$

Hasil penjadualan dan perhitungan secara manual ini dibandingkan dengan hasil penjadualan dan perhitungan dengan menggunakan program. Data keluaran dari program dapat dilihat pada lampiran 9. Hasil perbandingan memperlihatkan hasil yang sama, dengan demikian program sudah terverifikasi dan dapat digunakan.

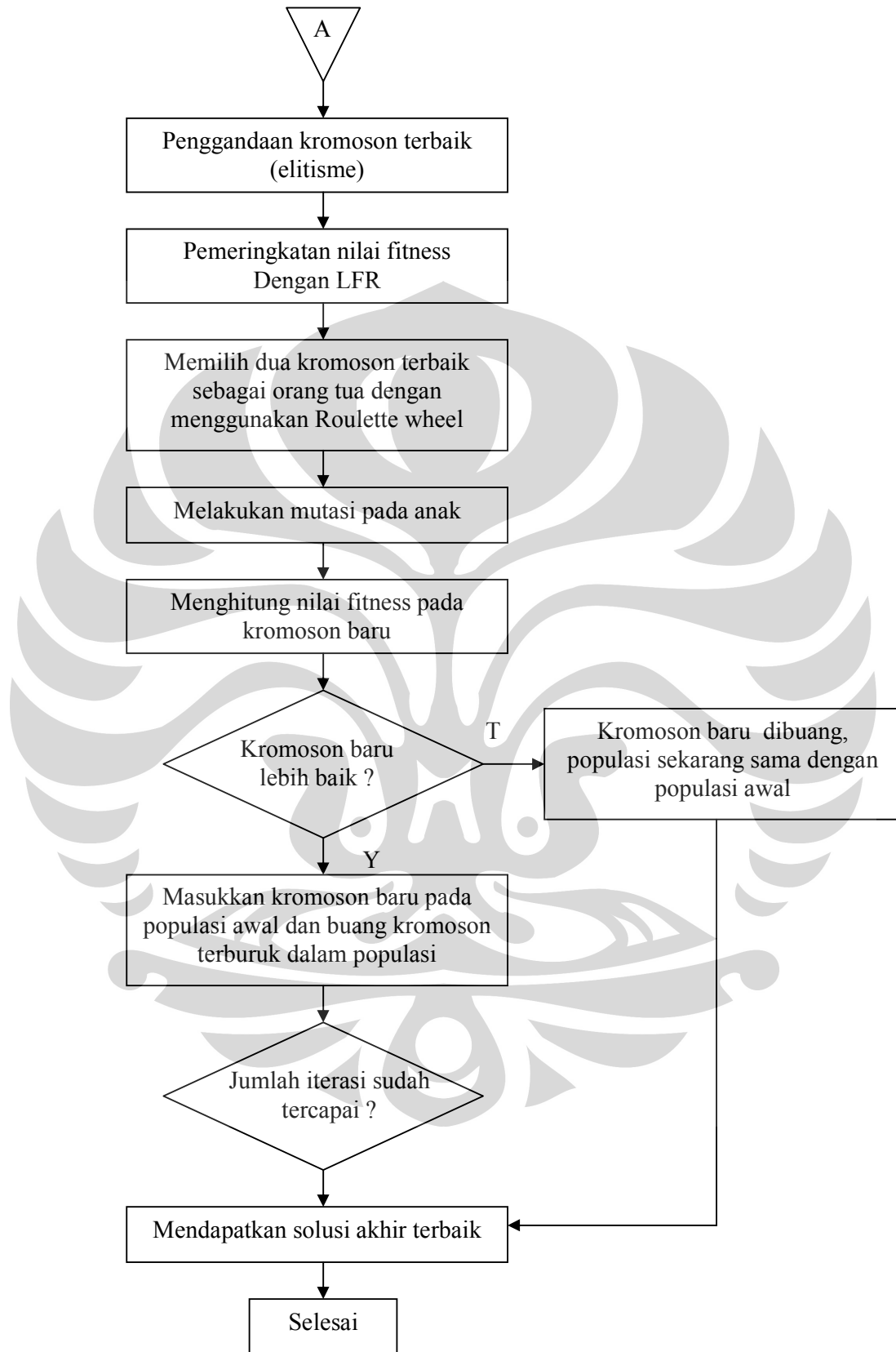
Untuk selanjutnya, program ini akan menjadi algoritma awal pada program penjadualan dengan Genetic Algorithm.

4.4. Penjadualan dengan Genetic Algorithm

Berdasarkan penjadualan yang diperoleh dari inisialisasi solusi, dilakukan optimasi dengan menggunakan metode Genetic Algorithm (GA). Pada penelitian ini, penerapan Genetic Algorithm hanya dilakukan pada penjadualan tahapan 1, untuk penjadualan tahapan 2 dan tahapan 3 akan mengikuti penjadualan hasil GA sesuai dengan algoritma pada butir 4.2.2. Optimasi GA ini akan menggunakan piranti lunak MATLAB R2007a *Student Version*. Langkah-langkah yang dilakukan dalam penjadualan dengan Genetic Algorithm adalah sebagai berikut.



Gambar 4.2. Alur Genetic Algorithm Untuk Penjadualan



Gambar 4.2. Alur Genetic Algorithm Untuk Penjadualan (sambungan)

4.3.1. Penetapan parameter Genetic Algorithm

Parameter yang dimaksud dalam GA adalah parameter kontrol GA, yaitu ukuran populasi (popsize), peluang crossover (pc) dan peluang mutasi (pm). Sri Kusumadewi & Hari Purnomo, (2005)¹⁰ menyebutkan bahwa ada beberapa rekomendasi yang bisa digunakan dalam penetapan parameter GA.. Rekomendasi parameter tersebut seperti pada tabel di bawah.

Tabel 4.21. Rekomendasi parameter Genetic Algorithm

Kondisi	Popsize	pc	pm	Keterangan
Kawasan solusi cukup besar	50	0.6	0.001	Rekomendasi De Jong
Rata-rata fitness setiap generasi digunakan sebagai indikator	30	0.95	0.01	Rekomendasi Grefenstette
Fitness individu terbaik dipantau setiap generasi	80	0.45	0.01	

Disamping itu, baik Sri Kusumadewi dan Hari Purnomo (2005)¹¹ maupun Suyanto (2005)¹² menyebutkan bahwa ukuran populasi sebaiknya tidak kurang dari 30 dengan argumentasi bahwa sampel mengikuti distribusi normal.

Pada penelitian ini, ukuran populasi yang dipakai merupakan matriks dari jumlah mesin pada tahapan 1 yaitu 3 buah mesin dan jumlah job sebanyak 12, sehingga ukuran populasi adalah 36. Peluang mutasi dan peluang crossover masing-masing adalah 0.95 dan 0.01. Dengan penetapan parameter tersebut, maka penelitian ini menggunakan parameter yang direkomendasikan oleh Grefenstette.

4.3.2. Pengkorvesian Masalah

Masalah penjadualan pada tahapan 1 akan dikonversikan sebagai kromosom dengan menggunakan pengkodean (*permutation encoding*) yang dimasukkan ke dalam satu matriks baris-kolom dimana baris menunjukkan mesin m dan kolom menunjukkan job i .

4.3.3. Penentuan Populasi Awal

¹⁰ Sri Kusumadewi & Hari Purnomo, *Penyelesaian Masalah Optimasi Dengan Teknik-teknik Heuristik*, 2005.

¹¹ *Ibid*, hal 235.

¹² Suyanto, *Algoritma Genetika Dalam Matlab*, 2005

Populasi awal ditetapkan secara acak. Dari populasi awal tersebut akan didapat penjadualan untuk tahapan 1 yang akan digunakan untuk menyusun penjadualan tahapan 2 dan tahapan 3. Pada tahap ini juga akan didapatkan nilai makespan. Tahap ini merupakan tahap inialisasi dari GA terhadap penjadualan tahapan 1, 2 dan 3. Kondisi ini akan diperbaiki dengan menggunakan operasi genetika.

4.3.4. Evaluasi Kromoson

Evaluasi terhadap kromoson dilakukan dengan mencari individu dengan nilai nilai fitness terbaik. Fitness merupakan objektif atau tujuan yang telah ditetapkan. Pada penelitian ini fitness adalah fungsi tujuan untuk meminimalkan makespan, dengan notasi nilai fitness = $1/C_{max}$. Untuk mencegah *local-optima*, dilakukan pemeringkatan terhadap nilai fitness. Metode yang digunakan untuk pemeringkatan adalah rank-based fitness atau disebut juga linear rank fitness dimana populasi diurutkan menurut nilai objektifnya. Nilai fitness suatu individu dapat dihitung sebagai

$$\text{Fitness}(\text{Pos}) = 2 - \text{SP} + 2(\text{SP} - 1)(\text{Pos} - 1) / (\text{N} - 1) \quad (4.11)$$

dimana:

N = jumlah individu dalam populasi

Pos = posisi individu dalam populasi (Pos=1 adalah terendah dan Pos=N adalah tertinggi)

SP = selection pressure $\text{SP} \in [1, 2]$

4.3.5. Seleksi

Berdasarkan hasil pemeringkatan nilai fitness, akan diambil dua kromoson untuk dijadikan orang tua (*parent*). Penyeleksian menggunakan metode roulette wheel selection, dimana kromoson akan dipetakan dalam suatu potongan lingkaran dari sebuah roda rolet. Pembagian potongan lingkaran akan disesuaikan nilai fitnessnya, dimana kromoson dengan nilai fitness terbaik akan memiliki potongan lingkaran yang lebih besar sehingga kemungkinan untuk terpilih menjadi orang tua juga lebih besar.

4.3.6. Kawin Silang (*crossover*)

Metode kawin silang yang digunakan yaitu *Linear Order Crossover* dimana proses kawin silang akan dimulai pada kromosom ke-2 bila ukuran populasi ganjil, dan pada kromosom ke-3 bila ukuran populasi genap.

- a Membuat dua buah titik potong TP1 dan TP2 secara acak untuk memotong dua buah kromosom orangtua K1 dan K2. Hasil pemotongan tersebut disebut kromosom anak A1 dan A2
- b Kedua kromosom anak A1 dan A2 akan disilangkan terhadap potongan kromosom K1 dan K2
- c Kromosom baru telah terbentuk.

4.3.7. Mutasi

Metode mutasi yang digunakan adalah *exchange mutation*, dimana dua buah kromosom akan ditukarkan secara acak. Mutasi hanya dilakukan terhadap kromosom anak.

Setelah operasi genetika dilakukan, langkah selanjutnya adalah *generational replacement* dimana kromosom pada populasi yang lama akan digantikan oleh kromosom baru, kecuali kromosom yang pertama akan tetap dipertahankan.

Langkah ini akan dilakukan berulang sampai iterasi yang ditetapkan telah tercapai. Pada saat pengulangan selesai, optimasi penjadualan telah dilakukan.

4.3.8. Pengolahan Genetic Algorithm Pada Penjadualan

Setelah penetapan parameter dan operasi GA, dilakukan pengolahan data untuk mendapatkan penjadualan terbaik dengan makespan minimal. Tabel di bawah hasil *running* program.

Tabel 4.22. Hasil *running* program

Running ke-	Makespan	Running (elapsed time)
1	69.05	38.1 detik
5	70.23	21.6 detik
10	67.98	18.4 detik
20	79.32	33.6 detiik
30	76.44	17.6 detik
40	78.64	18.13 detik
50	74.64	37.9 detik

Tabel 4.22. Hasil *running* program (lanjutan)

60	70.89	41.3 detik
70	76.44	58.9 detik
80	67.98	24.2 detik
90	79.32	28.1 detik
100	63.16	48.9 detik

4.4. Analisis

Tidak adanya metode penjadualan yang baku pada proses produksi mini boom dan mini arm di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia dapat mengakibatkan bertambahnya waktu proses produksi dan potensi keterlambatan pengiriman. Untuk itu diperlukan suatu metode penjadualan sebagai solusi masalah tersebut.

Beberapa faktor yang dipertimbangkan dalam menetapkan metode penjadualan proses produksi *mini boom* dan *mini arm* adalah;

- 1) Kompleksitas masalah, dimana terdapat; (a) 12 type barang yang dikerjakan, (b) tiga tahapan proses produksi yang harus dilalui oleh setiap type barang, (c) waktu proses yang berbeda untuk setiap type barang dan tahapan proses yang dilaluinya dan (d) jumlah pesanan yang berbeda untuk setiap type barang
- 2) Metode penjadualan dapat dilakukan dengan cepat sehingga koreksi penjadualan dapat dilakukan sesegara mungkin oleh *scheduler*.

Berdasarkan hal di atas, penelitian ini mengusulkan untuk menggunakan metode heuristik Genetic Algorithm. Metode heuristik akan mendapatkan solusi yang mendekati optimal dengan waktu pemrosesan yang lebih cepat dibandingkan dengan metode perhitungan konvensional.

4.4.1. Analisis Metode

Penelitian ini diawali dengan membuat sebuah inialisasi solusi terhadap kasus penjadualan produksi mini boom dan mini arm di PT. HCMI. Inialisasi ini penting dilakukan karena tidak adanya metode penjadualan baku di PT. HCMI.

Inisialisasi solusi disusun untuk membuat suatu model penjadualan baru yang memiliki tujuan meminimalkan *makespan*. Inisialisasi solusi yang dihasilkan harus dapat merepresentasikan kondisi sebenarnya dari kondisi penjadualan yang ada. Penjadualan dengan kondisi *multiproduct-multistage* yang ada pada proses produksi mini boom dan mini arm diatasi dengan pendekatan *dispatching rule (schedule given in advance)* yang berbeda untuk setiap *stage* (tahapan), sementara kendala untuk meminimalkan waktu *idle* akibat pergantian jig diatasi dengan metode *batch (family) job*.

Penerapan metode SPT (*shortest processing time*) untuk menetapkan type barang yang dikerjakan oleh sekumpulan mesin yang tersusun secara paralel dapat meminimalkan mengurangi waktu tunggu (*idle*) pada mesin di *stage* (tahapan selanjutnya). Dengan metode SPT, mesin-mesin pada *stage* (tahapan) pertama akan mengerjakan type barang yang memiliki waktu proses terpendek sehingga barang-barang tersebut dapat dengan segera dikirimkan ke tahapan berikutnya. Pemilihan metode SPT ini digabungkan dengan metode pengelompokan unit pesanan menjadi sebuah *family*. Pertimbangan pengelompokan ini didasarkan pada limitasi fleksibilitas proses pada tahapan kesatu dimana pengerjaan dilakukan dengan menggunakan sebuah jig dan setiap type barang hanya memiliki sebuah jig. Dengan metode *family*, penambahan waktu akibat pergantian job pada mesin yang sama menjadi minimal. Penggabungan kedua metode ini menghasilkan SPT untuk setiap type barang (*job/family*)

Untuk *stage* (tahapan) kedua, digunakan metode EFT (*earliest finish time*) dimana mesin-mesin pada tahapan kedua mengirimkan barang yang telah selesai lebih dahulu ke *stage* (tahapan) berikutnya. Hal ini berbeda dengan aliran perakitan (*assembly line*) yang pada umumnya menggunakan metode FIFO (*first in first out*) walaupun sama-sama memiliki tahapan yang banyak (*multistage*). Pada kasus ini, susunan mesin yang paralel dan variasi waktu pengerjaan yang besar antara type barang yang satu dengan yang lain dapat menimbulkan waktu penyelesaian yang berbeda. Dengan kondisi tersebut, sulit untuk dipastikan bahwa barang yang pertama masuk pada salah satu mesin akan menjadi barang pertama yang dikerjakan oleh mesin lain di tahapan selanjutnya. Untuk itu, penerapan EFT adalah hal tepat dilakukan pada kasus ini.

Pada tahapan ketiga, digunakan metode EFT untuk menentukan mesin mana yang akan berganti job pada saat suatu job telah selesai dilakukan. *Scheduler*

membandingkan dua mesin atau lebih yang pada saat hampir bersamaan telah menyelesaikan salah satu jobnya Metode EFT digunakan untuk melihat mesin mana yang telah menyelesaikan jobnya lebih dahulu. Tahapan ketiga juga memiliki limitasi fleksibilitas proses yang sama dengan tahapan satu, dimana pengerjaan dilakukan dengan bantuan jig. Atas kondisi yang serupa seperti ini, maka pengelompokan unit pesanan menjadi sebuah *family* dilakukan juga pada proses di tahapan ketiga. Metode pada inisialisasi solusi diterjemahkan pada suatu algoritma *multiproduct-multistage*. Algoritma ini akan menjadi salah satu acuan pada pembuatan Genetic Algorithm disamping fungsi tujuan meminimalkan makespan.

Optimasi terhadap inisialisasi solusi dilakukan dengan menggunakan Genetic Algorithm. Penerapan GA hanya dilakukan untuk *stage* (tahapan) kesatu, sementara tahapan kedua dan ketiga mengikuti algoritma *multiproduct-multistage* sebelumnya. Hal tersebut dilakukan untuk meminimalkan waktu *running* program pada saat program GA dijalankan. Operasi genetika dilakukan dengan parameter yang direkomendasikan oleh Grefenstette yaitu ukuran populasi sebesar 36, peluang *crossover* 0.95 dan peluang mutasi 0.01.

Pada saat evaluasi kromosom dilakukan pemeringkatan nilai fitness dengan menggunakan *linear fitness rank* dimana fitness masing-masing kromosom akan diurut berdasarkan nilai objektifnya. Sesuai dengan aturan pada penyusunan GA, fitness pada kasus penjadwalan ini adalah fungsi meminimalkan, sehingga nilai fitness adalah $1/C_{max}$. Seleksi merupakan salah satu operasi genetika yang harus dilakukan. Pada penelitian ini, metode seleksi yang digunakan adalah metode *roulette wheel*. Penerapan metode *roulette wheel* dilakukan karena metode ini mengambil data dari nilai *fitness* yang sudah didapat. Kromosom yang memiliki nilai *fitness* yang tinggi akan ditempatkan pada potongan lingkaran yang lebih besar pada sebuah roda rolet sehingga peluang untuk terpilih menjadi kromosom orang tua juga lebih besar. Crossover atau kawin silang dilakukan untuk mendapatkan kromosom baru sebagai hasil dari kombinasi antara dua kromosom. Kromosom baru tersebut juga akan mengalami evaluasi dan seleksi untuk bersaing dengan kromosom lama. Mutasi dilakukan untuk membuang kromosom yang memiliki nilai fitness yang buruk, sehingga hanya kromosom-kromosom yang memiliki nilai fitness yang baik yang akan bertahan.

Operasi genetika terakhir dari penyusunan GA adalah *generational replacement* dimana kromosom pada populasi yang lama akan digantikan oleh kromosom baru, kecuali kromosom yang pertama akan tetap dipertahankan. Kromosom pertama pada *generational replacement* diasumsikan sebagai kromosom terbaik pada satu generasi, sehingga langkah selanjutnya adalah mencari kromosom yang terbaik untuk yang kedua dan seterusnya.

Dengan melakukan evolusi terhadap kromosom-kromosom tersebut, GA akan menghasilkan solusi yang mendekati optimal.

4.4.2. Analisis Hasil

Perhitungan makespan pada inialisasi solusi adalah sebesar 68.99 jam, sementara itu dengan penggunaan Genetic Algorithm dihasilkan 63.16 pada iterasi ke 100. Pada iterasi ke-20 dan ke-90 memiliki nilai yang sama, demikian pula nilai antara generasi ke-30 dengan generasi ke-70 dan generasi ke-10 dengan generasi ke-80, hasil *makespan* sama. Hal ini dimungkinkan karena pada inialisasi solusi telah terjadi proses optimasi sehingga peluang untuk berevolusi menjadi kecil. Untuk hal tersebut, perlu dipertimbangkan untuk merubah parameter operasi genetika dengan parameter lain selain yang direkomendasikan oleh Grefenstette.

5. KESIMPULAN

Dari hasil penelitian tentang pemodelan penjadwalan untuk proses produksi *mini boom* dan *mini arm* di PT. Hitachi Construction Machinery Indonesia, disimpulkan bahwa;

1. Inisialisasi solusi dilakukan untuk menetapkan metode awal model penjadwalan sebagai dasar optimasi penjadwalan baru yang akan dikembangkan.
2. Dengan kondisi proses yang memiliki banyak tahapan dan banyaknya variasi type barang, penjadwalan produksi dapat dilakukan dengan menggunakan metode *dispatching rule* yaitu memberikan penjadwalan di muka (*schedule in advance*) untuk memaksimalkan penjadwalan pada tahapan selanjutnya.
3. Jenis *dispatching rule* dapat dikombinasikan antara satu tahapan dengan tahapan atas pertimbangan kondisi dan kendala yang dimiliki. Dalam penelitian ini, penggabungan metode SPT (*shortest processing time*) dan EFT (*earliest finish time*) digunakan secara bersamaan sesuai dengan tujuan penjadwalan yaitu meminimalkan *makespan*.
4. Pengelompokan unit pesanan menjadi sebuah *family* dilakukan untuk meminimalkan *idle time* sebagai akibat dari keterbatasan fleksibilitas proses pada kondisi tertentu.
5. Optimasi penjadwalan terhadap inisialisasi solusi dilakukan dengan menggunakan Genetic Algorithm untuk mendapatkan penjadwalan yang mendekati optimal.
6. Hasil optimasi dengan menggunakan Genetic Algorithm menunjukkan pengurangan *makespan* sebesar 5.83 jam atau 8.45% dibandingkan dengan hasil penjadwalan pada inisialisasi solusi.

Beberapa hal yang dapat dilakukan sebagai lanjutan penelitian ini adalah;

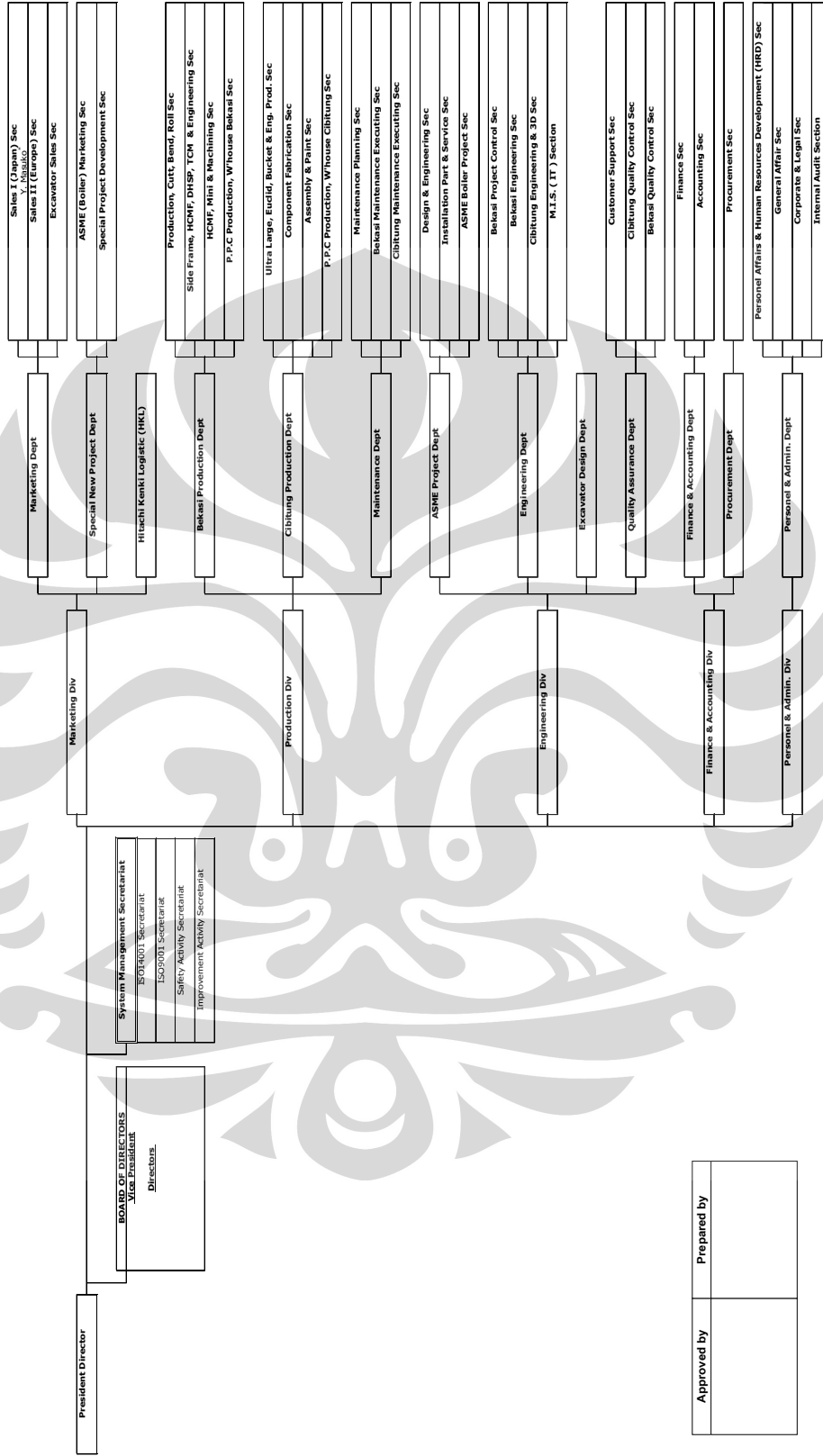
1. Melakukan koreksi terhadap fungsi tujuan. Koreksi fungsi tujuan berupa penambahan atau penggantian fungsi tujuan saat ini dapat berupa *total tardiness/lateness*, *flow time* atau fungsi tujuan lainnya.
2. Menerapkan parameter operasi genetika yang berbeda, sehingga dapat dibandingkan dengan hasil penelitian ini.

3. Optimasi terhadap inisialisasi solusi dilakukan dengan menggunakan metode heuristik yang lain, misalnya *simulated annealing* atau *tabu search*.
4. Menggunakan penelitian ini sebagai bagian dari penelitian yang lebih luas, misalnya MRP atau ERP.



Lampiran 1a. Struktur Organisasi

PT. HITACHI CONSTRUCTION MACHINERY INDONESIA ORGANIZATION STRUCTURE (Effective from 1 October 2006)



Approved by	Prepared by

Lampiran 1. *Standard time* untuk setiap job pada setiap tahapan

Type	Job (i)	Standard Time		
		Tahapan 1	Tahapan 2	Tahapan 3
Boom ZX 16	(1)	0.87	2.22	2.40
Boom ZX 25	(2)	1.20	2.32	2.40
Boom ZX 30	(3)	1.30	2.35	2.33
Boom ZX 35	(4)	1.45	2.41	2.37
Boom ZX 30U	(5)	1.50	2.30	2.20
Boom ZX 35U	(6)	1.50	2.50	2.20
Arm ZX 16 LC	(7)	0.54	1.41	1.39
Arm ZX 25 LC	(8)	0.70	1.67	1.53
Arm ZX 30 LC	(9)	0.82	1.93	1.67
Arm ZX 35 LC	(10)	1.10	2.57	1.81
Arm ZX 30U LC	(11)	0.80	1.90	1.40
Arm 35U LC	(12)	0.90	2.10	1.50

Lampiran 2. Data total waktu proses pada tahapan 1

Job (i)	Jumlah (Jm)	Standard Time (STi)	Total waktu proses (PTi = STi. Jm)
(1)	6	0.87	5.22
(2)	6	1.20	7.20
(3)	11	1.30	14.30
(4)	2	1.45	2.90
(5)	9	1.50	13.50
(6)	6	1.50	9.00
(7)	9	0.54	4.86
(8)	6	0.70	4.20
(9)	9	0.82	7.38
(10)	3	1.10	3.30
(11)	11	0.80	8.80
(12)	8	0.90	7.20

Lampiran 3. Pemeringkatan job berdasarkan total waktu proses pada tahapan 1

Job (i)	Jumlah	Standard Time	Total waktu proses
(4)	2	1.45	2.90
(10)	3	1.10	3.30
(8)	6	0.70	4.20
(7)	9	0.54	4.86
(1)	6	0.87	5.22
(2)	6	1.20	7.20
(12)	8	0.90	7.20
(9)	9	0.82	7.38
(11)	11	0.80	8.80
(6)	6	1.50	9.00
(5)	9	1.50	13.50
(3)	11	1.30	14.30

Lampiran 4. Jadwal produksi tahapan 1

Penjadualan workstation ml

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Job, unit (i,j)	(4,1)	(4,2)	(7,1)	(7,2)	(7,3)	(7,4)	(7,5)	(7,6)	(7,7)	(7,8)	(7,9)	(12,1)	(12,2)
Start (RT)	0	1.45	3.07 *	3.61	4.15	4.69	5.23	5.77	6.31	6.85	7.39	8.10 *	9.00
Finish (FT)	1.45	2.90	3.61	4.15	4.69	5.23	5.77	6.31	6.85	7.39	7.93	9.00	9.90

Urutan	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25
Job, unit (i,j)	(12,3)	(12,4)	(12,5)	(12,6)	(12,7)	(12,8)	(6,1)	(6,2)	(6,3)	(6,4)	(6,5)	(6,6)
Start (RT)	9.90	10.80	11.70	12.60	13.50	14.40	15.47*	16.97	18.47	19.97	21.47	22.97
Finish (FT)	10.80	11.70	12.60	13.50	14.40	15.30	16.97	18.47	19.97	21.47	22.97	24.47

*) : RT dengan penambahan waktu $COTk_j = 0.17$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 4. Jadwal produksi tahapan 1 (sambungan)

Penjadualan workstation m2

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14
Job, unit (i,j)	(10,1)	(10,2)	(10,3)	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,4)	(1,5)	(1,6)	(9,1)	(9,2)	(9,3)	(9,4)	(9,5)
Start (RT)	0	1.10	2.20	3.47*	4.34	5.21	6.08	6.95	7.82	8.86*	9.68	10.50	11.32	12.14
Finish (FT)	1.10	2.20	3.30	4.34	5.21	6.08	6.95	7.82	8.69	9.68	10.50	11.32	12.14	12.96

Urutan	15	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27
Job, unit (i,j)	(9,6)	(9,7)	(9,8)	(9,9)	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)	(5,6)	(5,7)	(5,8)	(5,9)
Start (RT)	12.96	13.78	14.60	15.42	16.41*	17.91	19.41	20.91	22.41	23.91	25.41	26.91	28.41
Finish (FT)	13.78	14.60	15.42	16.24	17.91	19.41	20.91	22.41	23.91	25.41	26.91	28.41	29.91

*) : RT dengan penambahan waktu $COTk_i = 0.17$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 4. Jadwal produksi tahapan 1 (sambungan)

Penjadualan workstation m3

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Job, unit (i,j)	(8,1)	(8,2)	(8,3)	(8,4)	(8,5)	(8,6)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(2,6)	(11,1)	(11,2)	(11,3)	(11,4)	(11,5)
Start (RT)	0	0.70	1.40	2.10	2.80	3.50	4.37*	5.57	6.77	7.97	9.17	10.37	11.74*	12.54	13.34	14.14	14.94
Finish (FT)	0.70	1.40	2.10	2.80	3.50	4.20	5.57	6.77	7.97	9.17	10.37	11.57	12.54	13.34	14.14	14.94	15.74

Urutan	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Job, unit (i,j)	(11,6)	(11,7)	(11,8)	(11,19)	(11,10)	(11,11)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)	(3,6)	(3,7)	(3,8)	(3,9)	(3,10)	(3,11)
Start (RT)	15.74	16.54	17.34	18.14	18.94	19.74	20.71*	22.01	23.31	24.61	25.91	27.21	28.51	29.81	31.11	32.41	33.71
Finish (FT)	16.54	17.34	18.14	18.94	19.74	20.54	22.01	23.31	24.61	25.91	27.21	28.51	29.81	31.11	32.41	33.71	35.01

*) : RT dengan penambahan waktu $COITk_i = 0.17$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 5. Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 1

No	Job,unit (i,j)	FT	No	Job,unit (i,j)	FT
1	(8,1)	0.70	24	(1,4)	6.95
2	(10,1)	1.10	25	(7,8)	7.39
3	(8,2)	1.40	26	(1,5)	7.82
4	(4,1)	1.45	27	(7,9)	7.93
5	(8,3)	2.10	28	(2,3)	7.97
6	(10,2)	2.20	29	(1,6)	8.69
7	(8,4)	2.80	30	(12,1)	9.00
8	(4,2)	2.90	31	(2,4)	9.17
9	(10,3)	3.30	32	(9,1)	9.68
10	(8,5)	3.50	33	(12,2)	9.90
11	(7,1)	3.61	34	(2,5)	10.37
12	(7,1)	4.15	35	(9,2)	10.50
13	(8,6)	4.20	36	(12,3)	10.80
14	(1,1)	4.34	37	(9,3)	11.32
15	(7,3)	4.69	38	(2,6)	11.57
16	(1,2)	5.21	39	(12,4)	11.70
17	(7,4)	5.23	40	(9,4)	12.14
18	(2,1)	5.57	41	(11,1)	12.54
19	(7,5)	5.77	42	(12,5)	12.60
20	(1,3)	6.08	43	(9,5)	12.96
21	(7,6)	6.31	44	(11,2)	13.34
22	(2,2)	6.77	45	(12,6)	13.50
23	(7,7)	6.85	46	(9,6)	13.78

Lampiran 5. Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 1 (sambungan)

No	Job,unit (i,j)	FT	No	Job,unit (i,j)	FT
47	(11,3)	14.14	67	(6,4)	21.47
48	(12,7)	14.40	68	(3,1)	22.01
49	(9,7)	14.60	69	(5,4)	22.41
50	(11,4)	14.94	70	(6,5)	22.97
51	(12,8)	15.30	71	(3,2)	23.31
52	(9,8)	15.42	72	(5,5)	23.91
53	(11,5)	15.74	73	(6,6)	24.47
54	(9,9)	16.24	74	(3,3)	24.61
55	(11,6)	16.54	75	(5,6)	25.41
56	(6,1)	16.97	76	(3,4)	25.91
57	(11,7)	17.34	77	(5,7)	26.91
58	(5,1)	17.91	78	(3,5)	27.21
59	(11,8)	18.14	79	(5,8)	28.41
60	(6,2)	18.47	80	(3,6)	28.51
61	(11,9)	18.94	81	(3,7)	29.81
62	(5,2)	19.41	82	(5,9)	29.91
63	(11,10)	19.74	83	(3,8)	31.11
64	(6,3)	19.97	84	(3,9)	32.41
65	(11,11)	20.54	85	(3,10)	33.71
66	(5,3)	20.91	86	(3,11)	35.01

Lampiran 6. Jadwal produksi tahapan 2 untuk setiap workstation

Work station	Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
m1	Job, unit	(8,1)	(10,2)	(7,2)	(7,4)	(7,6)	(1,5)	(2,4)	(12,3)	(11,1)	(9,6)	(12,8)	(6,1)	(11,9)	(6,4)	(5,5)	(5,7)	(5,9)	
	FT	2.37	4.94	6.35	7.76	9.17	11.39	13.71	15.81	17.71	19.64	21.74	24.24	26.14	28.64	30.94	33.24	35.54	
m2	Job, unit	(10,1)	(4,2)	(1,1)	(1,3)	(7,8)	(12,1)	(9,2)	(12,4)	(11,2)	(9,7)	(9,9)	(11,8)	(6,3)	(5,4)	(3,3)	(5,8)	(3,9)	
	FT	3.67	6.08	8.30	10.52	11.93	14.03	15.96	18.06	19.96	21.89	23.82	25.72	28.22	30.52	32.87	35.17	37.52	
m3	Job, unit	(8,2)	(8,4)	(7,1)	(1,2)	(2,2)	(2,3)	(12,2)	(2,6)	(9,5)	(12,7)	(11,5)	(5,1)	11,10	(3,1)	(6,6)	(3,5)	(3,8)	
	FT	3.07	4.74	6.15	8.37	10.69	13.01	15.11	17.43	19.36	21.46	23.36	25.66	27.56	29.91	32.41	34.76	37.11	
m4	Job, unit	(4,1)	(8,5)	(8,6)	(2,1)	(1,4)	(1,6)	(2,5)	(9,4)	(12,6)	(11,4)	(11,6)	(6,2)	11,11	(6,5)	(5,6)	(3,6)	(3,10)	
	FT	3.86	5.27	6.94	9.26	11.48	13.70	16.02	17.95	20.05	21.95	23.85	26.35	28.25	30.75	33.05	35.40	37.75	
m5	Job, unit	(8,3)	(10,3)	(7,3)	(7,5)	(7,7)	(7,9)	(9,1)	(9,3)	(12,5)	(11,3)	(9,8)	(11,7)	(5,2)	(5,3)	(3,2)	(3,4)	(3,7)	(3,11)
	FT	3.77	6.34	7.75	9.16	10.57	11.98	13.91	15.84	17.94	19.84	21.77	23.67	25.97	28.27	30.62	32.97	35.32	37.67

Lampiran 7. Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 2

No	job, unit	FT _{ijk2}	No	job, unit	FT _{ijk2}
1	(8,1)	2.37	31	(9,11)	13.91
2	(8,2)	3.07	32	(12,1)	14.03
3	(10,1)	3.67	33	(12,2)	15.11
4	(8,3)	3.77	34	(12,3)	15.81
5	(4,1)	3.86	35	(9,3)	15.84
6	(8,4)	4.74	36	(9,2)	15.96
7	(10,2)	4.94	37	(2,5)	16.02
8	(8,5)	5.27	38	(2,6)	17.43
9	(4,2)	6.08	39	(11,1)	17.71
10	(7,1)	6.15	40	(12,5)	17.94
11	(10,3)	6.34	41	(9,4)	17.95
12	(7,2)	6.35	42	(12,4)	18.06
13	(8,6)	6.94	43	(9,5)	19.36
14	(7,3)	7.75	44	(9,6)	19.64
15	(7,4)	7.76	45	(11,3)	19.84
16	(1,1)	8.30	46	(11,2)	19.96
17	(1,2)	8.37	47	(12,6)	20.05
18	(7,5)	9.16	48	(12,7)	21.46
19	(7,6)	9.17	49	(12,8)	21.74
20	(2,1)	9.26	50	(9,8)	21.77
21	(1,3)	10.52	51	(9,7)	21.89
22	(7,7)	10.57	52	(11,4)	21.95
23	(2,2)	10.69	53	(11,5)	23.36
24	(1,5)	11.39	54	(11,7)	23.67
25	(1,4)	11.48	55	(9,9)	23.82
26	(7,8)	11.93	56	(11,6)	23.85
27	(7,9)	11.98	57	(6,1)	24.24
28	(2,3)	13.01	58	(5,1)	25.66
29	(1,6)	13.7	59	(11,8)	25.72
30	(2,4)	13.71	60	(5,2)	25.97

Lampiran 7. Hasil pemeringkatan FT semua unit pada tahapan 2 (sambungan)

No	job, unit	FT _{ijk2}	No	job, unit	FT _{ijk2}
61	(11,9)	26.14	74	(3,3)	32.87
62	(6,2)	26.35	75	(3,4)	32.97
63	(11,10)	27.56	76	(5,6)	33.05
64	(6,3)	28.22	77	(5,7)	33.24
65	(11,11)	28.25	78	(3,5)	34.76
66	(5,3)	28.27	79	(5,8)	35.17
67	(6,4)	28.64	80	(3,7)	35.32
68	(3,1)	29.91	81	(3,6)	35.40
69	(5,4)	30.52	82	(5,9)	35.54
70	(3,2)	30.62	83	(3,8)	37.11
71	(6,5)	30.75	84	(3,9)	37.52
72	(5,5)	30.94	85	(3,11)	37.67
73	(6,6)	32.41	86	(3,10)	37.75

Lampiran 8. Jadwal produksi tahapan 3

Penjadualan mesin m1

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
Job, unit (i,j)	(8,1)	(8,2)	(8,3)	(8,4)	(8,5)	(8,6)	(2,1)	(2,2)	(2,3)	(2,4)	(2,5)	(2,6)	(11,1)	(11,3)	(11,2)	(11,4)	(11,5)
Release (RT)	2.37	3.90	5.43	6.96	8.49	10.02	12.22*	14.62	17.02	19.42	21.82	24.22	27.29*	28.69	30.09	31.49	32.89
Finish (FT)	3.90	5.43	6.96	8.49	10.02	11.55	14.62	17.02	19.42	21.82	24.22	26.62	28.69	30.09	31.49	32.89	34.29

Urutan	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29	30	31	32	33	34
Job, unit (i,j)	(11,7)	(11,6)	(11,8)	(11,9)	(11,10)	(11,11)	(3,1)	(3,2)	(3,3)	(3,4)	(3,5)	(3,7)	(3,6)	(3,8)	(3,9)	(3,11)	(3,10)
Release (RT)	34.29	35.69	37.09	38.49	39.89	41.29	43.36*	45.69	48.02	50.35	52.68	55.01	57.34	59.67	62.00	64.33	66.66
Finish (FT)	35.69	37.09	38.49	39.89	41.29	42.69	45.69	48.02	50.35	52.68	55.01	57.34	59.67	62.00	64.33	66.66	68.99

*) : RT dengan penambahan waktu $COTk_3 = 0.67$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 8. Jadwal produksi tahapan 3 (sambungan)

Penjadualan mesin m2

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
Job, unit	(10,1)	(10,2)	(10,3)	(1,1)	(1,2)	(1,3)	(1,5)	(1,4)	(1,6)	(12,1)	(12,2)	(12,3)	(12,5)	(12,4)	(12,6)	(12,7)
Release (RT)	3.67	5.48	7.29	9.77*	12.17	14.57	16.97	19.37	21.77	24.84*	26.34	27.84	29.34	30.84	32.34	33.84
Finish (FT)	5.48	7.29	9.10	12.17	14.57	16.97	19.37	21.77	24.17	26.34	27.84	29.34	30.84	32.34	33.84	35.34

Urutan	17	18	19	20	21	22	23
Job, unit	(12,8)	(6,1)	(6,2)	(6,3)	(6,4)	(6,5)	(6,6)
Release (RT)	35.34	37.51*	39.71	41.91	44.11	46.31	48.51
Finish (FT)	36.84	39.71	41.91	44.11	46.31	48.51	50.71

*) : RT dengan penambahan waktu $COTk_3 = 0.67$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 8. Jadwal produksi tahapan 3 (sambungan)

Penjadualan mesin m3

Urutan	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15
Job, unit	(4,1)	(4,2)	(7,1)	(7,2)	(7,3)	(7,4)	(7,5)	(7,6)	(7,7)	(7,8)	(7,9)	(9,1)	(9,3)	(9,2)	(9,4)
Release (RT)	3.86	6.23	9.27*	10.66	12.05	13.44	14.83	16.22	17.61	19.00	20.39	22.45*	24.12	25.79	27.46
Finish (FT)	6.23	8.60	10.66	12.05	13.44	14.83	16.22	17.61	19.00	20.39	21.78	24.12	25.79	27.46	29.13

Urutan	16	17	18	19	20	21	22	23	24	25	26	27	28	29
Job, unit	(9,5)	(9,6)	(9,8)	(9,7)	(9,9)	(5,1)	(5,2)	(5,3)	(5,4)	(5,5)	(5,6)	(5,7)	(5,8)	(5,9)
Release (RT)	29.13	30.80	32.47	34.14	35.81	38.15*	40.35	42.55	44.75	49.15	51.35	53.55	55.75	57.95
Finish (FT)	30.80	32.47	34.14	35.81	37.48	40.35	42.55	44.75	46.95	51.35	53.55	55.75	57.95	60.15

*) : RT dengan penambahan waktu $COTk_3 = 0.67$ sebagai waktu pergantian jig

Lampiran 9 Hasil Running Program

Data hasil running ke 1, 5, 10, 20,30, 40, 50, 60,70,80,90,100

Generasi ke
masukkan generasi ke 1

n =

1

M1S1 =

10 7 12 8

M2S1 =

6 2 11 3

M3S1 =

4 1 9 5

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

10 6 7 6 1 12 2 12 9 2 11 11 5 11 5 3

Column 17

3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

4 10 7 1 7 9 2 9 12 2 8 8 8 11 5 3

Columns 17 through 18

3 3

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

6 1 7 7 1 6 9 12 2 12 11 11 5 11 11 3

Column 17

3

DeretMesin1_3 =

1
2
5
10

DeretMesin2_3 =

4
7
11
12

DeretMesin3_3 =

3
6
8
9

C_Max =

69.0503

Elapsed time is 38.111541 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 5

n =

5

M1S1 =

3 7 12 5

M2S1 =

6 2 11 8

M3S1 =

10 1 9 4

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

10 10 1 1 6 9 9 3 7 11 7 12 12 11 12 8

Column 17

5

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

3 6 3 6 3 2 3 7 9 7 11 11 11 12 8 8

Column 17

5

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

6 3 6 3 9 9 2 9 7 7 7 11 11 12 8 5

Columns 17 through 18

5 5

DeretMesin1_3 =

2
3
4
5
7
12

DeretMesin2_3 =

1
10

DeretMesin3_3 =

6
8
9
11

C_Max =

70.2301

Elapsed time is 21.593432 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 10

n =

10

M1S1 =

8 7 12 3

M2S1 =

6 1 9 10

M3S1 =

5 2 11 4

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 8 5 5 7 6 12 12 12 9 9 9 9 10 3 3

Column 17

3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

8 5 6 5 5 5 12 12 12 2 3 2 11 10 3 3

Column 17

4

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

5 8 7 6 7 1 1 5 2 9 9 9 9 11 11 11

Columns 17 through 18

11 4

DeretMesin1_3 =

7

8

9

11

DeretMesin2_3 =

3
4
5
12

DeretMesin3_3 =

1
2
6
10

C_Max =

67.9802

Elapsed time is 18.381612 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 20

n =

20

M1S1 =

8 2 11 10

M2S1 =

4 1 9 6

M3S1 =

3 7 12 5

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 3 1 3 2 9 3 11 11 11 11 7 12 6 12 12

Column 17

5

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

3 4 3 2 3 9 11 11 9 7 7 11 6 10 12 5

Column 17

5

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

8 8 8 1 3 9 2 3 3 7 7 7 11 10 6 12

Columns 17 through 18

5 5

DeretMesin1_3 =

2
8
11
12

DeretMesin2_3 =

3
5

6
7
9
10

DeretMesin3_3 =

1
4

C_Max =

79.3201

Elapsed time is 33.582092 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 30

n =

30

M1S1 =

10 2 11 4

M2S1 =

5 1 9 6

M3S1 =

8 7 12 3

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 10 5 7 7 7 5 12 12 1 12 3 3 9 3 3

Column 17

3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

10 5 7 5 7 2 11 11 12 1 1 3 4 9 9 3

Column 17

6

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

8 8 8 2 5 7 2 11 11 11 1 11 9 3 9 9

Columns 17 through 18

3 6

DeretMesin1_3 =

1

2

4

8

DeretMesin2_3 =

7

10

DeretMesin3_3 =

3

5

6

9

11

12

C_Max =

76.4402

Elapsed time is 17.758056 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 40

n =

40

M1S1 =

6 1 9 8

M2S1 =

10 2 11 4

M3S1 =

5 7 12 3

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

10 6 2 6 5 5 11 7 7 9 11 11 12 8 8 3

Columns 17 through 18

3 3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

5 10 6 5 2 11 1 11 7 11 9 9 9 8 12 3

Column 17

3

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

6 5 5 2 1 1 5 9 11 9 9 9 12 12 8 3

Column 17

3

DeretMesin1_3 =

2

7

10

DeretMesin2_3 =

3

4

5

11

12

DeretMesin3_3 =

1

6

8

9

C_Max =

78.6402

Elapsed time is 18.131565 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 50

n =

50

M1S1 =

5 7 12 10

M2S1 =

6 2 11 3

M3S1 =

8 1 9 4

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 8 5 1 1 5 9 2 7 2 7 12 11 12 11 10

Columns 17 through 18

3 3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

8 5 6 5 6 9 9 9 7 9 7 4 11 12 3 3

Column 17

3

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

5 8 1 1 5 9 2 7 9 7 11 11 12 11 12 10

Column 17

3

DeretMesin1_3 =

1
4
7
8

DeretMesin2_3 =

5
9
10
12

DeretMesin3_3 =

2
3
6
11

C_Max =

74.6403

Elapsed time is 37.867048 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 60

n =

60

M1S1 =

5 1 9 6

M2S1 =

8 2 11 4

M3S1 =

3 7 12 10

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 3 8 3 5 5 3 1 7 1 7 7 9 9 12 9

Columns 17 through 18

6 6

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

3 5 2 3 2 5 3 7 11 1 11 11 12 4 12 10

Column 17

6

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

8 8 5 2 3 2 11 11 11 7 11 11 12 12 9 12

Column 17

10

DeretMesin1_3 =

2
8

DeretMesin2_3 =

1
3
4
6
7
12

DeretMesin3_3 =

5
9
10
11

C_Max =

70.8901

Elapsed time is 41.272783 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 70

n =

70

M1S1 =

5 1 9 6

M2S1 =

4 2 11 8

M3S1 =

10 7 12 3

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

10 5 7 2 2 12 11 11 12 1 11 3 8 3 9 3

Column 17

6

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

4 7 7 7 7 12 11 12 1 11 11 11 8 9 3 3

Columns 17 through 18

6 6

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

5 10 2 7 5 5 12 12 1 1 3 8 9 9 3 6

Column 17

6

DeretMesin1_3 =

1

2

9

10

DeretMesin2_3 =

3
5
6
8
11
12

DeretMesin3_3 =

4
7

C_Max =

76.4402

Elapsed time is 58.931534 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 80

n =

80

M1S1 =

5 2 11 10

M2S1 =

6 1 9 3

M3S1 =

8 7 12 4

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 8 5 5 7 6 12 12 12 9 9 4 11 11 11 11

Columns 17 through 18

10 3

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

8 5 6 5 5 5 12 12 12 2 9 9 11 3 3 3

Column 17

3

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

5 8 7 6 7 1 1 5 2 9 9 9 11 3 11 11

Column 17

3

DeretMesin1_3 =

7

8

9

11

DeretMesin2_3 =

3

4

5

12

DeretMesin3_3 =

1
2
6
10

C_Max =

67.9802

Elapsed time is 24.167954 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 90

n =

90

M1S1 =

10 1 9 6

M2S1 =

4 2 11 8

M3S1 =

3 7 12 5

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

10 10 2 3 3 11 9 9 11 7 7 11 8 8 8 12

Columns 17 through 18

5 5

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

3 4 3 2 2 9 11 11 7 7 11 7 12 12 6 12

Column 17

5

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

4 3 1 1 1 3 11 3 7 9 6 6 8 8 12 5

Column 17

5

DeretMesin1_3 =

3
5
6
7
8
9
12

DeretMesin2_3 =

1
10
11

DeretMesin3_3 =

2
4

C_Max =

79.3201

Elapsed time is 28.115196 seconds.

Generasi ke
masukkan generasi ke 100

n =

100

M1S1 =

6 1 9 10

M2S1 =

8 2 11 5

M3S1 =

4 7 12 3

DeretMesin1_2 =

Columns 1 through 16

8 8 7 2 7 12 2 1 12 11 11 3 9 9 3 10

Columns 17 through 18

3 5

DeretMesin2_2 =

Columns 1 through 16

8 4 6 2 2 1 12 11 12 9 9 3 3 10 5 5

Column 17

5

DeretMesin3_2 =

Columns 1 through 16

4 8 7 7 7 6 12 11 1 12 3 11 11 9 5 3

Column 17

5

DeretMesin1_3 =

2
5
8
11

DeretMesin2_3 =

1
3
4
7

DeretMesin3_3 =

6
9
10
12

C_Max =

63.1601

Elapsed time is 48.862133 seconds.