

**OPTIMASI PENJADWALAN MESIN PRODUKSI DENGAN
MENGUNAKAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH*
(*CDS*) PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR**

SKRIPSI

Diajukan kepada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
Untuk Memenuhi Sebagian Persyaratan
Guna Memperoleh Gelar Sarjana Sains



Disusun Oleh:
CAHYO EDI WIDODO
09305144020

**Program Studi Matematika
Jurusan Pendidikan Matematika
Fakultas Matematika Dan Ilmu Pengetahuan Alam
Universitas Negeri Yogyakarta
2014**

PESETUJUAN

Skripsi yang berjudul “**OPTIMASI PENJADWALAN MESIN PRODUKSI DENGAN MENGGUNAKAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS)* PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR**” yang disusun oleh:

Nama : Cahyo Edi Widodo

NIM : 09305144020

Prodi : Matematika

Jurusan : Pendidikan Matematika

Telah disetujui oleh pembimbing untuk diujikan kepada dewan penguji skripsi
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Disetujui pada tanggal

4 April 2014

Mengetahui:

Dosen Pembimbing



Fitriana Yuli S., M.Si

NIP.198407072008012003

PENGESAHAN

SKRIPSI DENGAN JUDUL :

“OPTIMASI PENJADWALAN MESIN PRODUKSI DENGAN MENGUNAKAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS)* PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR”

Disusun Oleh:

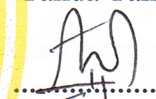
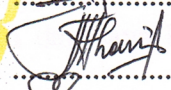
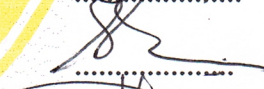
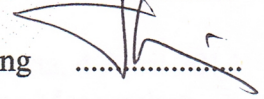
Nama : Cahyo Edi Widodo

NIM : 09305144020

Prodi : Matematika

Skripsi ini telah diuji di depan Dewan Penguji Skripsi pada tanggal 21 April 2014
dan dinyatakan lulus.

Dewan Penguji

Nama	Jabatan	Tanda Tangan	Tanggal
<u>Fitriana Yuli S., M.Si</u> NIP. 198407072008012003	Ketua Penguji		20/5 '14
<u>Atmini Dhoruri, M.S.</u> NIP. 196007101986012001	Sekretaris Penguji		20/5 '14
<u>Sahid, M.Sc.</u> NIP. 196509051991011001	Penguji Utama		19/5 '14
<u>Kus Prihantoso K., M.Si</u> NIP. 197904062005011005	Penguji Pendamping		16/5 '14

Yogyakarta, 11 Juni 2014

Fakultas Matematika dan Ilmu

Pengetahuan Alam

Dekan


Dr. Hartono

NIP. 196203291987021002

SURAT PERNYATAAN

Yang bertandatangan di bawah ini saya:

Nama : Cahyo Edi Widodo
NIM : 09305144020
Program Studi : Matematika
Jurusan : Pendidikan Matematika
Fakultas : Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam
Judul Skripsi : Optimasi Penjadwalan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* Pada Perusahaan Manufaktur

Menyatakan bahwa skripsi ini benar-benar karya saya sendiri. Sepanjang pengetahuan saya tidak terdapat karya atau pendapat yang ditulis atau diterbitkan orang lain kecuali sebagai acuan atau kutipan dengan mengikuti tata penulisan karya ilmiah yang telah lazim. Apabila ternyata terbukti bahwa pernyataan ini tidak benar maka sepenuhnya menjadi tanggung jawab saya dan saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Yogyakarta, 4 April 2014
Yang Menyatakan



Cahyo Edi Widodo
NIM.09305144020

MOTTO

“Kebanyakan dari kita tidak mensyukuri apa yang sudah kita miliki, tetapi kita selalu menyesali apa yang belum kita capai.” (Aldus Huxley)

“Keramahtamahan dalam perkataan menciptakan keyakinan, keramahtamahan dalam pemikiran menciptakan kedamaian, keramahtamahan dalam memberi menciptakan kasih.” (Benjamin Franklin)

“Berangkat dengan penuh keyakinan, berjalan dengan penuh keikhlasan, istiqomah dalam menghadapi cobaan. Yakin, ikhlas, istiqomah.”
(Muhammad Zainuddin Abdul Madjid)

“Bagian terbaik dari hidup seseorang adalah perbuatan-perbuatan baiknya dan kasihnya yang tidak diketahui orang lain.”
(William Wordsworth)

“Mungkin saya tidak lebih pintar dalam hal pengetahuan, tetapi saya akan lebih hebat karena mempunyai kerja keras.”
(Cahyo Edi Widodo)

PERSEMBAHAN

Karya ilmiah ini saya persembahkan untuk:

- 1) Ibuku tercinta, Sukaeti. Terimakasih ibu atas cinta dan kasih sayangmu, doamu, dan perjuanganmu hingga aku bisa belajar di bangku kuliah sampai selesai.
- 2) Bapakku yang saya cintai, Saliman. Terimakasih atas semangat kedewasaan dan telah menjadi panutan terbaik untukku serta doamu yang telah engkau berikan.
- 3) Adik-adikku yang saya sayangi, Nur Rohman dan Anisa Permatasati yang telah memberikan dukungan dan semangat dalam proses pembuatan skripsi ini.
- 4) Teman-teman yang telah memberikan dukungan dan masukan selama proses skripsi ini.

Terimakasih untuk semua yang telah memberikan doa, semangat, dan dukungannya hingga saat ini.

OPTIMASI PENJADWALAN MESIN PRODUKSI DENGAN MENGUNAKAN METODE *CAMPBELL DUDEK SMITH (CDS)* PADA PERUSAHAAN MANUFAKTUR

Oleh:
Cahyo Edi Widodo
NIM. 09305144020

ABSTRAK

Penjadwalan produksi di dalam dunia industri, baik industri manufaktur maupun agroindustri memiliki peranan penting sebagai bentuk pengambilan keputusan. Perusahaan berupaya untuk memiliki penjadwalan yang paling efektif dan efisien sehingga dapat meningkatkan produktivitas yang dihasilkan dengan total biaya dan waktu seminimal mungkin. Tujuan penelitian ini adalah menentukan jadwal operasi mesin produksi yang optimal pada perusahaan manufaktur sehingga mendapatkan nilai *makespan* yang optimal. Penjadwalan dengan nilai *makespan* optimal yang akan digunakan dalam proses produksi.

Metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* merupakan salah satu yang digunakan dalam penjadwalan yang bersifat *flowshop*. *CDS* merupakan pengembangan dari aturan yang telah dikemukakan *Johnson* yang disebut algoritma *Johnson*. Algoritma *Johnson* adalah suatu aturan meminimalkan *makespan* dua mesin yang disusun seri dan saat ini menjadi dasar teori penjadwalan. Metode *CDS* menghasilkan *k iterasi* dengan nilai yang berbeda. Dari *k iterasi* digunakan nilai yang minimal untuk menentukan urutan kerja mesin.

Berdasarkan hal tersebut, *CDS* akan diterapkan untuk menyusun jadwal yang optimal. Lebih lanjut, akan diterapkan untuk menyusun jadwal mesin produksi pada perusahaan manufaktur. Berdasarkan hasil penjadwalan dengan metode *CDS* pada perusahaan manufaktur menghasilkan tujuh *iterasi*. Nilai *iterasi* ke-1 371,5, ke-2 358,5, ke-3 358,25, ke-4 358,25, ke-5 358,25, ke-6 358,5, ke-7 355,5 dengan nilai *makespan* optimal sebesar 355,5 jam.

Kata kunci: *campbell dudek smith*, penjadwalan mesin produksi, *flowshop*.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Wr. Wb.

Puji syukur penulis panjatkan kehadiran Allah SWT yang telah melimpahkan rahmat, serta hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul **“Optimasi Penjadwalan Mesin Produksi Dengan Menggunakan Metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* Pada Perusahaan Manufaktur”**. Skripsi ini disusun untuk memenuhi persyaratan guna memperoleh gelar Sarjana Sains pada Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta.

Penyusunan skripsi ini dapat terlaksana karena bantuan dan dukungan dari berbagai pihak secara langsung maupun tidak langsung, sehingga pada kesempatan ini penulis mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

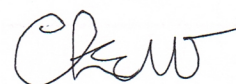
Selanjutnya ucapan terima kasih penulis sampaikan kepada:

1. Bapak Dr. Hartono, M.Si, sebagai Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendukung penulisan skripsi ini,
2. Bapak Dr. Sugiman, M.Si, sebagai Ketua Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah memberikan kelancaran dalam studi,

3. Bapak Dr. Agus Maman Abadi, M.Si, sebagai Ketua Program Studi Matematika FMIPA Universitas Negeri Yogyakarta yang telah mendukung dan memberikan kelancaran studi,
4. Ibu Fitriana Yuli S., M.Si., sebagai dosen pembimbing yang telah memberikan bimbingan dan pengarahan dalam penyusunan skripsi ini,
5. Ibu Atmini Dhoruri M.S, sebagai dosen penasehat akademik yang telah mendukung penulisan skripsi ini,
6. Seluruh dosen Jurusan Pendidikan Matematika yang telah memberikan ilmu kepada penulis,
7. Segenap keluarga, ibu, bapak dan adik, atas kasih sayang, doa serta dukungannya, dan
8. Teman-teman mahasiswa satu angkatan Matematika Swadana 2009 serta semua pihak yang telah membantu penyusunan skripsi ini.

Yogyakarta, 4 April 2014

Penulis



Cahyo Edi Widodo
NIM. 09305144020

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	i
HALAMAN PERSETUJUAN.....	ii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iii
HALAMAN PERNYATAAN	iv
HALAMAN MOTO	v
HALAMAN PERSEMBAHAN	vi
ABSTRAK	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xv
DAFTAR SIMBOL.....	xvi

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah.....	1
B. Rumusan Masalah	4
C. Tujuan Penelitian	4
D. Manfaat Penelitian	4

BAB II KAJIAN TEORI

A. Optimasi.....	6
B. Penjadwalan Mesin Produksi	7
1. Definisi Penjadwalan	7
2. Elemen Penjadwalan Mesin Produksi.....	8
C. Tujuan Penjadwalan	10
D. Istilah Dalam Penjadwalan.....	14
E. Jenis-jenis Penjadwalan	15
F. <i>Gantt Chart</i>	24

BAB III PEMBAHASAN

A. Penjadwalan Mesin Produksi di Perusahaan Manufaktur	26
1. Formulasi Masalah	26
2. Model Matematika	28
B. Penjadwalan Mesin Produksi dengan Metode <i>Campbell Dudek Smith</i> (<i>CDS</i>)	30
1. Algoritma <i>Johnson</i>	30
2. Iterasi Metode <i>CDS</i>	32
3. Tahapan Metode <i>CDS</i>	34
C. Penjadwalan Mesin Produksi di Perusahaan Manufaktur	44
1. Perhitungan Dengan Metode <i>CDS</i>	44
2. Perhitungan Dengan Program WinQSB.....	57

BAB IV PENUTUP

A. Kesimpulan	66
B. Saran.....	67

DAFTAR PUSTAKA	68
-----------------------------	----

LAMPIRAN	70
-----------------------	----

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
Tabel 2.1 Contoh Tabel Proses <i>Flowshop</i>	17
Tabel 2.2 Contoh Tabel Proses <i>Jobshop</i>	18
Tabel 3.1 Iterasi Dua Mesin	33
Tabel 3.2 Penjadwalan 8 <i>Job</i> dan 7 Mesin.....	35
Tabel 3.3 Iterasi Pertama <i>CDS</i>	37
Tabel 3.4 Total Waktu Iterasi Pertama <i>CDS</i>	37
Tabel 3.5 Iterasi Kedua <i>CDS</i>	38
Tabel 3.6 Total Waktu Iterasi Kedua <i>CDS</i>	39
Tabel 3.7 Iterasi Ketiga <i>CDS</i>	39
Tabel 3.8 Total Waktu Iterasi Ketiga <i>CDS</i>	40
Tabel 3.9 Iterasi Keempat <i>CDS</i>	40
Tabel 3.10 Total Waktu Iterasi Keempat <i>CDS</i>	41
Tabel 3.11 Iterasi Kelima <i>CDS</i>	41
Tabel 3.12 Total Waktu Iterasi Kelima <i>CDS</i>	42
Tabel 3.13 Iterasi Keenam <i>CDS</i>	42
Tabel 3.14 Total Waktu Iterasi Keenam <i>CDS</i>	43
Tabel 3.15 Nilai <i>Makespan</i> Untuk Masing-masing Iterasi.....	43
Tabel 3.16 Data Waktu Kerja Mesin di Perusahaan Manufaktur	45
Tabel 3.17 Iterasi Pertama Perusahaan Manufaktur	47
Tabel 3.18 Total Waktu Iterasi Pertama Perusahaan Manufaktur	47
Tabel 3.19 Iterasi Kedua Perusahaan Manufaktur	48
Tabel 3.20 Total Waktu Iterasi Kedua Perusahaan Manufaktur	49
Tabel 3.21 Iterasi Ketiga Perusahaan Manufaktur	50
Tabel 3.22 Total Waktu Iterasi Ketiga Perusahaan Manufaktur	50
Tabel 3.23 Iterasi Keempat Perusahaan Manufaktur	51
Tabel 3.24 Total Waktu Iterasi Perusahaan Manufaktur	52
Tabel 3.25 Iterasi Kelima Perusahaan Manufaktur	53
Tabel 3.26 Total Waktu Iterasi Kelima Perusahaan Manufaktur	53

Tabel 3.27	Iterasi Keenam Perusahaan Manufaktur	54
Tabel 3.28	Total Waktu Iterasi Perusahaan Manufaktur.....	55
Tabel 3.29	Iterasi Ketujuh Perusahaan Manufaktur	56
Tabel 3.30	Total Waktu Iterasi Perusahaan Manufaktur.....	56
Tabel 3.31	Nilai <i>Makespan</i> Setiap Iterasi Perusahaan Manufaktur.....	57
Tabel 3.32	Waktu Operasi Mesin Perusahaan Manufaktur.....	63
Tabel 3.33	Waktu Operasi <i>Job</i> Perusahaan Manufaktur	63
Tabel 3.34	Jadwal Operasi Mesin Produksi Perusahaan Manufaktur	64

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
Gambar 2.1 Pola Aliran Pure <i>Flowshop</i>	16
Gambar 2.2 Pola Aliran <i>General Flowshop</i>	16
Gambar 2.3 Pola Aliran <i>Jobshop</i>	17
Gambar 2.4 Aliran Kerja <i>Jobshop</i>	22
Gambar 2.5 Aliran Kerja <i>Flowshop</i> Murni	23
Gambar 2.6 Aliran Kerja <i>Flowshop</i> Umum	24
Gambar 2.7 Contoh <i>Gantt Chart</i>	24
Gambar 3.1 Alur Proses Kerja Metode <i>CDS</i>	36
Gambar 3.2 Jadwal Kerja Mesin RB1	58
Gambar 3.3 Jadwal Kerja Mesin RB2	58
Gambar 3.4 Jadwal Kerja Mesin RB3	59
Gambar 3.5 Jadwal Kerja Mesin RB5	59
Gambar 3.6 Jadwal Kerja Mesin RB6	60
Gambar 3.7 Jadwal Kerja Mesin ULTRA	61
Gambar 3.8 Jadwal Kerja Mesin MA3	61
Gambar 3.9 Jadwal Kerja Mesin Robot	62

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran	Halaman
Lampiran 1. <i>Output</i> WinQSB dari 8 <i>job</i> 7 mesin	71
Lampiran 2. Hasil Penjadwalan 8 <i>job</i> 7 mesin Dalam <i>Gantt Chart</i>	73
Lampiran 3. Hasil Penjadwalan Mesin Produksi di Perusahaan Manufaktur..	74
Lampiran 4. Jadwal Operasi Mesin Produksi Yang Diterapkan Oleh Perusahaan Manufaktur	75

DAFTAR SIMBOL

m	: jumlah mesin
n	: jumlah <i>job</i>
i	: mesin
j	: <i>job</i>
k	: iterasi
$t_{i,j}$: waktu operasi pada mesin ke- i <i>job</i> ke- j
r_j	: waktu saat <i>job</i> siap dikerjakan
W_j	: waktu yang dilalui <i>job</i> sebelum mulai diproses
F_j	: waktu antara <i>job</i> ke- j siap dikerjakan sampai diselesaikan
$C_{i,j}$: waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi dari <i>job</i> j
d_j	: batas waktu penyelesaian untuk <i>job</i> j
L_j	: besarnya simpangan waktu penyelesaian <i>job</i> j terhadap <i>due date</i>
T_j	: besarnya keterlambatan dari <i>job</i> j
e_j	: keterlambatan yang bernilai negatif
$t_{j,1}^k$: total waktu operasi pada mesin ke-1 <i>job</i> ke- j saat iterasi ke- k
$t_{j,2}^k$: total waktu operasi pada mesin ke-2 <i>job</i> ke- j saat iterasi ke- k

BAB I

PENDAHULUAN

A. Latar Belakang Masalah

Penjadwalan produksi di dalam dunia industri, baik industri manufaktur maupun agroindustri memiliki peranan penting sebagai bentuk pengambilan keputusan. Perusahaan berupaya untuk memiliki penjadwalan yang paling efektif dan efisien sehingga dapat meningkatkan produktivitas yang dihasilkan dengan total biaya dan waktu seminimal mungkin. Menurut Kenneth R. Baker (2009:4) penjadwalan (*scheduling*) adalah proses pengalokasian sumber daya mesin untuk memilih sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Pengertian ini dapat dijabarkan menjadi dua arti yang berbeda. Pertama, penjadwalan merupakan sebuah fungsi pengambilan keputusan, yaitu menentukan jadwal yang paling tepat. Kedua penjadwalan adalah sebuah teori yang berisi kumpulan prinsip, model, teknik, dan konklusi logis dalam proses pengambilan keputusan.

Pinedo (2008:1) juga menjelaskan pengertian penjadwalan sebagai proses pengambilan keputusan yang digunakan secara teratur pada bidang industri maupun jasa. Penjadwalan berkaitan dengan alokasi sumber daya untuk tugas-tugas selama periode waktu tertentu dengan tujuan untuk mengoptimalkan satu atau lebih tujuan yang ingin dicapai oleh perusahaan.

Pengalokasian sumber daya mesin pada proses produksi sering terjadi pekerjaan membentuk antrian panjang yang tidak dapat diselesaikan secara optimal. Sistem produksi di bidang manufaktur yang melibatkan banyak proses, mesin dan juga waktu proses yang bervariasi akan menemui banyak hambatan jika

penjadwalan tidak dilakukan dengan metode yang tepat, sehingga mengakibatkan proses produksi yang bekerja kurang efektif dan efisien.

Pada penjadwalan proses produksi dibutuhkan pula strategi perencanaan yang tepat dan akurat. Menurut Bryson dan Alston (1996:3), strategi perencanaan didefinisikan sebagai upaya disiplin untuk menghasilkan keputusan dan tindakan yang mendasar atas suatu proses yang dikerjakan dan hasil dari mengerjakan proses tersebut.

Pada proses penjadwalan mesin produksi, masukan (*input*) meliputi jenis dan banyaknya bagian yang akan dioperasikan, urutan ketergantungan antar operasi, waktu operasi untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi. Hasilnya (*outputnya*) berupa *dispatch list*, yaitu daftar yang menyatakan urutan-urutan pemrosesan, waktu mulai (*starting time*) dan waktu pemrosesan (*completion time*).

Penjadwalan produksi makin bertambah penting untuk perusahaan yang menggunakan sistem *made-to-order* (dibuat berdasarkan pesanan) seperti yang diterapkan pada perusahaan-perusahaan manufaktur. Sistem *made-to-order* yaitu sistem produksi yang menggunakan acuan bahwa produk/barang baru dibuat apabila terdapat pesanan (*order*) masuk. Sistem ini biasanya untuk produk/barang yang sesuai dengan permintaan, yang jika perusahaan menyimpannya beresiko tidak laku dijual.

Dalam sistem produksi *made-to-order* (produksi dilakukan apabila terdapat pesanan), selain ukuran kualitas, ukuran tenggang waktu pengiriman (*delivery due date*) juga sangat penting bagi pelanggan (*customer*). Selain itu, tingkat efisiensi

penggunaan (*utilitas*) fasilitas-fasilitas produksi seperti mesin, ruangan juga harus diperhatikan dalam analisis biaya dan waktu.

Salah satu model yang dapat diterapkan dalam keadaan *made-to-order* pada perusahaan manufaktur adalah model penjadwalan *flowshop*. Dalam penjadwalan *flowshop*, terdapat sejumlah pekerjaan (*job*) yang tiap-tiap *job* memiliki urutan pekerjaan mesin yang sama. Suatu penjadwalan dapat dimodelkan sebagai permasalahan penjadwalan *flowshop* apabila urutan pekerjaannya selaras.

Urutan pekerjaan dikatakan selaras apabila urutan pekerjaan mesin tersebut dari satu *job* dengan *job* lainnya tidak terbalik. Pengurutan tersebut membutuhkan teknik yang paling tepat untuk membuat jadwal produksi yang paling baik, optimal, dan memenuhi segala kriteria seperti yang ditetapkan di perusahaan manufaktur.

Penjadwalan *flowshop* dengan fungsi tujuan meminimalkan total waktu proses (*makespan*) untuk setiap *job* dari n *job* pada m mesin dengan urutan tertentu agar batas waktu yang diajukan pelanggan ke perusahaan dapat terpenuhi. Proses produksi dilakukan pada setiap mesin berdasarkan urutan *job* dengan waktu minimal. Setiap mesin bekerja sesuai dengan tahapan dalam proses produksi.

Dalam meminimumkan nilai *makespan* terdapat beberapa metode seperti *Palmer*, *Dannenbring*, dan *Campbell Dudek Smith (CDS)*. Ketiga metode tersebut memiliki kesamaan tujuan dalam perhitungan yaitu untuk meminimalkan nilai *makespan*, sehingga waktu proses produksi perusahaan dapat ditekan. Untuk mendapatkan hasil penjadwalan yang optimal maka digunakan metode *CDS*.

Sebuah solusi penjadwalan dikatakan optimal apabila memiliki nilai *makespan* terkecil.

B. Perumusan Masalah

Berdasarkan pada latar belakang permasalahan di atas, dapat ditemukan beberapa permasalahan yang dapat dirumuskan sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan metode *Campbell Dudek Smith* untuk menjadwalkan mesin produksi di perusahaan manufaktur ?
2. Bagaimana jadwal mesin produksi yang optimal di perusahaan manufaktur dengan metode *Campbell Dudek Smith* ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah:

1. menerapkan metode *Campbell Dudek Smith* untuk menjadwalkan operasi mesin produksi, dan
2. menentukan jadwal operasi mesin produksi yang optimal dengan metode *Campbell Dudek Smith*.

D. Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah :

1. menentukan putusan yang tepat terhadap *order* yang akan diproduksi perusahaan untuk diterima atau ditolak berdasarkan nilai *makespan*,
2. memberikan alternatif penyelesaian *job* kepada pelaksana produksi di bidang manufaktur, *job* apa yang harus dikerjakan terlebih dahulu berdasarkan urutan kerja, dan

3. menambah pengetahuan penulis mengenai penjadwalan mesin produksi serta dapat digunakan sebagai dasar penelitian berikutnya dan sebagai referensi bagi mahasiswa Jurusan Pendidikan Matematika FMIPA UNY.

BAB II

KAJIAN TEORI

A. Optimasi

Menurut Berlianty & Arifin (2010:9), optimasi adalah proses pencarian satu atau lebih penyelesaian yang berhubungan dengan nilai-nilai dari satu atau lebih fungsi objektif pada suatu masalah sehingga diperoleh satu nilai optimal. Optimasi bertujuan untuk meningkatkan kinerja mesin produksi sehingga mempunyai kualitas yang baik dan hasil kerja yang tinggi. Tujuan tersebut digunakan untuk beberapa perusahaan seperti perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur dalam proses produksi.

Optimasi diperlukan perusahaan dalam rangka mengoptimalkan sumberdaya yang digunakan agar dapat menghasilkan produk dalam kualitas dan kuantitas yang diharapkan sehingga tujuan yang ingin dicapai oleh perusahaan dapat terpenuhi. Optimasi merupakan salah satu cara yang dilakukan untuk memberikan hasil terbaik yang diinginkan.

Optimasi banyak memberikan manfaat dalam mengambil keputusan dan dapat diterapkan dalam berbagai bidang diantaranya adalah dalam bidang industri seperti untuk konstruksi sipil atau mesin, pemeliharaan jaringan, dan pengoperasian mesin. Pengoperasian mesin membutuhkan pengambilan keputusan yang tepat agar diperoleh waktu yang minimal dengan waktu kerja mesin yang maksimal.

B. Penjadwalan Mesin Produksi

1. Definisi Penjadwalan

Menurut Thomas E. Morton dan David W. Pentico (2001:12) penjadwalan merupakan proses pengorganisasian, pemilihan, dan penentuan waktu penggunaan sumber daya yang ada untuk menghasilkan *output* seperti yang diharapkan dalam waktu yang diharapkan pula. Penjadwalan merupakan bagian strategis proses perencanaan dan pengendalian produksi serta merupakan rencana pengaturan urutan kerja serta pengalokasian sumber baik waktu maupun fasilitas untuk setiap operasi yang harus diselesaikan.

Pada pengalokasian sumber daya terdapat tujuan penting yang akan dicapai proses penjadwalan. Menurut Bedworth (2002:72), terdapat dua target yang ingin dicapai melalui penjadwalan, yaitu jumlah *output* yang dihasilkan dan batas waktu penyelesaian yang telah ditetapkan (*due date*). Kedua target ini dinyatakan melalui kriteria penjadwalan seperti minimum *makespan* (keseluruhan waktu yang digunakan dalam proses produksi), minimum *mean flow time* (rata-rata waktu proses produksi), minimum *mean lateness* (rata-rata keterlambatan), minimum *tardiness* (keterlambatan), minimum *mean tardiness* (rata-rata keterlambatan), minimasi *number of tardy* (jumlah keterlambatan) dan sebagainya.

Morton (1993) juga mendefinisikan penjadwalan sebagai pengambilan keputusan tentang penyesuaian aktivitas dan sumber daya dalam rangka menyelesaikan sekumpulan pekerjaan agar tepat pada waktunya dan mempunyai

kualitas seperti yang diinginkan. Keputusan yang dibuat dalam penjadwalan meliputi (Morton, 1993):

- 1) pengurutan pekerjaan (*sequencing*),
- 2) waktu mulai dan selesai pekerjaan (*timing*), dan
- 3) urutan operasi untuk suatu pekerjaan (*routing*).

Persoalan penjadwalan timbul apabila terdapat beberapa *job* yang harus diproses secara bersamaan, sedangkan jumlah mesin dan peralatan yang dimiliki terbatas. Untuk mendapatkan hasil yang optimal dengan keterbatasan sumber daya yang dimiliki diperlukan adanya penjadwalan sumber-sumber tersebut secara efisien.

Menurut Kenneth R. Baker (2009:4), penjadwalan didefinisikan sebagai proses pengalokasian sumber-sumber atau mesin-mesin yang ada untuk menjalankan sekumpulan tugas dalam jangka waktu tertentu. Definisi lain, menurut Conway (2001:56), penjadwalan adalah proses pengurutan pembuatan produk secara menyeluruh pada sejumlah mesin tertentu dan pengurutan didefinisikan sebagai proses pembuatan produk pada satu mesin dalam jangka waktu tertentu. Input untuk suatu penjadwalan mencakup urutan ketergantungan antar operasi, waktu proses untuk masing-masing operasi, serta fasilitas yang dibutuhkan oleh setiap operasi.

2. Elemen Penjadwalan Mesin Produksi

Dalam proses operasi terdapat tiga elemen penjadwalan yaitu *job*, operasi, dan mesin. Ketiga elemen tersebut dijelaskan sebagai berikut (Baker, 2009).

1) *Job*

Job dapat didefinisikan sebagai suatu pekerjaan yang harus diselesaikan untuk mendapatkan suatu produk. *Job* biasanya terdiri dari beberapa operasi yang harus dikerjakan (minimal 1 operasi). Manajemen melalui perencanaan yang telah dibuat atau berdasarkan pesanan dari pelanggan, memberikan *job* kepada bagian *shop floor* untuk dikerjakan. Informasi yang dimiliki oleh suatu *job* ketika datang ke bagian *shop floor* biasanya adalah operasi-operasi yang harus dilakukan didalamnya (dari bagian *engineering*), saat *job* harus diselesaikan dan saat *job* mulai dapat dikerjakan.

2) Operasi

Operasi adalah bagian proses dari *job* untuk menyelesaikan suatu *job*. Operasi-operasi dalam *job* diurutkan dalam suatu urutan pengerjaan tertentu. Urutan tersebut ditentukan pada saat perencanaan proses. Suatu operasi baru dapat dikerjakan apabila operasi atau proses yang mendahuluinya sudah dikerjakan terlebih dahulu. Tabel waktu operasi berisikan informasi mengenai urutan pengerjaan dan jenis mesin yang digunakan dalam setiap operasi.

Setiap operasi memiliki waktu proses. Waktu proses operasi (t_{ij}) adalah waktu pengerjaan yang diperlukan untuk melakukan operasi tersebut. Waktu proses operasi untuk suatu *job* biasanya telah diketahui sebelumnya dan mempunyai besar tertentu. Waktu proses operasi ditampilkan juga dalam bentuk tabel yang dikenal dengan tabel waktu operasi.

3) Mesin

Mesin adalah sumber daya yang diperlukan untuk mengerjakan proses penyelesaian suatu *job*. Setiap mesin hanya dapat memproses satu tugas pada satu saat tertentu.

C. Tujuan Penjadwalan

Proses penjadwalan memiliki beberapa tujuan hasil penjadwalan akan mendapatkan nilai yang lebih baik sesuai dengan yang diharapkan. Bedworth mendefinisikan beberapa tujuan dari aktivitas penjadwalan sebagai berikut (Bedworth, 1987):

- 1) meningkatkan penggunaan sumber daya atau mengurangi waktu tunggu sehingga total waktu proses dapat berkurang dan produktivitasnya dapat meningkat,
- 2) mengurangi persediaan barang setengah jadi atau mengurangi sejumlah pekerjaan yang menunggu dalam antrian ketika sumber daya yang ada masih mengerjakan tugas yang lain,
- 3) mengurangi beberapa keterlambatan pada pekerjaan yang mempunyai batas waktu penyelesaian sehingga akan meminimasi biaya denda (*penalty*), dan
- 4) membantu pengambilan keputusan mengenai perencanaan kapasitas pabrik dan jenis kapasitas yang dibutuhkan sehingga penambahan biaya yang mahal dapat dihindarkan.

Selain itu Baker (2009) juga menjelaskan tentang beberapa tujuan penjadwalan, secara umum tujuan penjadwalan tersebut adalah :

- 1) meningkatkan produktivitas mesin, yaitu dengan mengurangi waktu menganggur,
- 2) mengurangi persediaan barang setengah jadi dengan cara mengurangi jumlah rata-rata pekerjaan yang menunggu dalam antrian suatu mesin karena mesin tersebut sibuk, dan
- 3) mengurangi keterlambatan karena telah melampaui batas waktu dengan cara :
 - a) mengurangi maksimum keterlambatan, dan
 - b) mengurangi jumlah pekerjaan yang terlambat.

Baker (2009:30) menjelaskan jika *makespan* suatu penjadwalan adalah konstan, maka urutan kerjanya akan menurunkan *flowtime* rata-rata dan juga menurunkan WIP (*Work In Process*). Tujuan akhir dalam proses penjadwalan adalah pemenuhan *due date*, yaitu suatu produk telah selesai diproduksi dan sampai pada konsumen. Dalam kenyataan jika terjadi keterlambatan dalam pemenuhan *due date* yang telah ditetapkan dapat dikenakan suatu denda.

Untuk mengurangi suatu denda akibat keterlambatan digunakan sebuah aturan prioritas. Aturan prioritas memberikan penduan urutan pekerjaan yang harus dilaksanakan. Aturan prioritas mencoba untuk mengurangi waktu penyelesaian, jumlah pekerjaan dalam sistem, dan keterlambatan kerja sementara penggunaan fasilitas bisa maksimum.

Beberapa cara penentuan prioritas yang dapat digunakan sebagai simulasi untuk menetapkan pedoman *dispatching* prioritas yang terbaik. Beberapa aturan prioritas yang umum adalah FCFS, SPT, EDD (Eddy,2008:321):

- 1) FCFS (*First Come First Serve*), pekerjaan yang datang lebih awal pada suatu pusat kerja akan dikerjakan lebih dahulu. Aturan ini banyak digunakan pada bank, supermarket, kantor pos, dan sebagainya,
- 2) SPT (*Shortest Processing Time*), pekerjaan yang paling cepat selesainya mendapat prioritas pertama untuk dikerjakan lebih dahulu. Cara ini seringkali diterapkan bagi perusahaan perakitan atau jasa, dan
- 3) EDD (*Earliest Due Date*), pekerjaan yang harus selesai paling awal dikerjakan lebih dahulu. Cara ini seringkali digunakan pada perusahaan yang bergerak di bidang konveksi dan tekstil.

Selain ketiga aturan prioritas tersebut dikenal juga beberapa cara, antara lain *critical ratio* dan *least slack*. Dalam *critical ratio* (CR), pekerjaan yang rasio antara *due date* dan lama waktu kerja paling kecil mendapat prioritas terlebih dahulu. Sementara dalam *least slack* (LS), pekerjaan yang memiliki *slack time* (perbedaan waktu) terkecil mendapat prioritas untuk dikerjakan lebih dahulu. *Slack time* menunjukkan perbedaan antara waktu tersisa hingga tanggal jatuh tempo dengan waktu proses yang tersisa.

Eddy (2008:321) juga menjelaskan bahwa sebelum masuk ke dalam penyusunan pengurutan pekerjaan dipakai beberapa terminologi berikut ini:

- 1) lama proses menunjukkan waktu yang diperlukan untuk memproses pekerjaan itu sampai selesai,

- 2) waktu selesai menunjukkan total waktu suatu pekerjaan berada pada sistem. Waktu selesai ini mencakup lama proses ditambah dengan waktu menunggu sampai pekerjaan yang bersangkutan mendapat giliran diproses,
- 3) jadwal selesai (*due date*) merupakan batas waktu yang diharapkan pekerjaan yang bersangkutan telah selesai diproses (jatuh tempo), yaitu berapa hari sejak pekerjaan masuk ke dalam sistem,
- 4) keterlambatan menunjukkan jumlah hari keterlambatan dari batas yang diharapkan selesai, yaitu perbedaan antara waktu selesai dan jadwal selesai,
- 5) rata-rata waktu penyelesaian pekerjaan (*average completion time*), dihitung dari jumlah waktu selesai semua pekerjaan dibagi dengan jumlah pekerjaan. Rata-rata waktu penyelesaian yang rendah dapat memperkecil jumlah persediaan dalam proses yang pada akhirnya dapat mempercepat pelayanan,
- 6) rata-rata waktu keterlambatan (*average job lateness*), dihitung dari jumlah hari keterlambatan dibagi dengan jumlah pekerjaan. Rata-rata keterlambatan yang rendah menunjukkan waktu pengiriman (*delivery time*) yang lebih cepat, dan
- 7) rata-rata jumlah pekerjaan pada sistem adalah rata-rata jumlah pekerjaan dalam sistem (baik yang sedang menunggu maupun sedang diproses) dari awal sampai pekerjaan terakhir selesai diproses. Rata-rata jumlah pekerjaan yang sedikit menunjukkan sistem dalam keadaan longgar.

D. Istilah Dalam Penjadwalan

Dalam pembahasan mengenai masalah penjadwalan akan dijumpai beberapa istilah, Baker (2009) menyebutkan sebagai berikut:

- a) *Ready time* (r_j), yaitu waktu yang menunjukkan saat *job* siap untuk dikerjakan,
- b) *Waiting time* (W_j), yaitu waktu yang dilalui suatu pekerjaan sebelum mulai diproses,
- c) *Completion time* (C_j), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi dari pekerjaan j ,
- d) *Flow Time* (F_j), yaitu waktu antara *job* ke- j siap dikerjakan sampai *job* tersebut diselesaikan.

$$F_j = C_j - r_j,$$

- e) *Completion Time* (C_{ij}), yaitu waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan suatu operasi dari pekerjaan j pada mesin i . Dalam waktu proses ini sudah termasuk waktu yang dibutuhkan untuk persiapan dan pengaturan (*set up*)

$$C_j = F_j + r_j,$$

- f) *Process Time* $t_{i,j}$, yaitu waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan suatu operasi atau proses ke- i dari *job* ke- j . Waktu proses ini telah mencakup waktu untuk persiapan dan pengaturan proses,
- g) *Due Date* (d_j), yaitu batas waktu penyelesaian yang ditentukan untuk *job* j ,
- h) *Lateness* (L_j), yaitu besarnya simpangan waktu penyelesaian *job* j terhadap *due date* yang telah ditentukan untuk *job* tersebut.

$$L_j = C_j - d_j \leq 0, \text{ artinya saat penyelesaian memenuhi batas akhir.}$$

$L_j = C_j - d_j > 0$, artinya saat penyelesaian melewati batas akhir,

- i) *Tardiness* (T_j), yaitu besarnya keterlambatan dari *job j*. *Tardiness* adalah *lateness* yang berharga positif, dan
- j) *Earliness* (e_j), yaitu keterlambatan yang bernilai negatif.

E. Jenis-jenis Penjadwalan

Menurut Conway (2001:56), masalah penjadwalan dapat diklasifikasikan berdasarkan beberapa faktor. Berikut dijelaskan faktor-faktor tersebut.

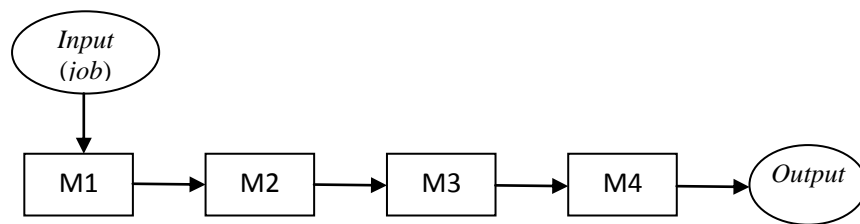
- 1) Jumlah mesin, berdasarkan jumlah mesin yang bekerja dibagi menjadi dua bagian yaitu:
 - a) penjadwalan pada mesin tunggal, dan
 - b) penjadwalan pada mesin ganda.
- 2) Pola kedatangan *job*, berdasarkan pola kedatangan *job* dibagi menjadi dua bagian yaitu:
 - a) statik, semua *job* datang secara bersamaan dan siap dikerjakan pada mesin-mesin yang tidak bekerja, dan
 - b) dinamik, *job* datang secara acak selama diadakan penjadwalan.
- 3) Sistem informasi, berdasarkan sistem informasi dibagi menjadi dua bagian yaitu:
 - a) informasi bersifat deterministik, dan
 - b) informasi bersifat stokastik.

Informasi ini meliputi informasi yang berhubungan dengan karakteristik *job*, yaitu saat kedatangan, batas waktu penyelesaian, perbedaan kepentingan di antara *job-job* yang dijadwalkan, banyaknya operasi, serta waktu proses tiap

operasi. Disamping itu terdapat pula informasi yang menyangkut karakteristik mesin, seperti jumlah mesin, kapasitas, fleksibilitas serta efisiensi penggunaan yang berbeda untuk *job* yang berbeda.

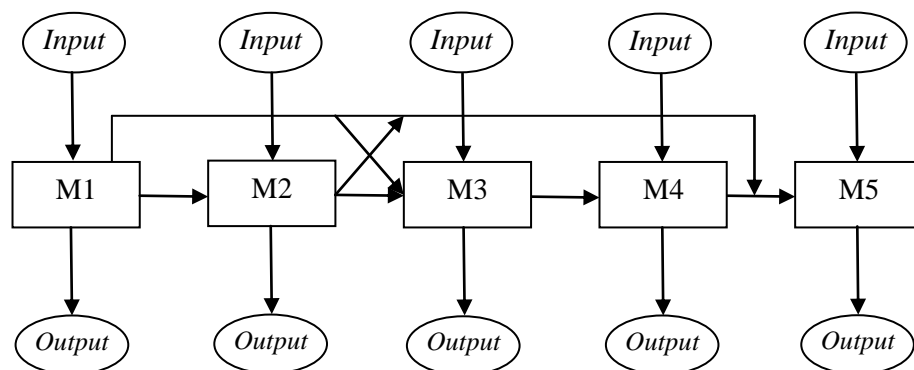
- 4) Aliran proses, berdasarkan aliran proses dibagi menjadi tiga bagian yaitu *pure flowshop*, *general flowshop*, dan *jobshop*. Berikut dijelaskan ketiga aliran proses tersebut.

- a) *Pure flowshop*, pola aliran prosesnya identik. Setiap *job* melewati seluruh mesin yang bekerja dari proses awal hingga proses akhir sesuai dengan urutan.



Gambar 2.1 Pola Aliran *Pure Flowshop*

- b) *General flowshop*, pola aliran prosesnya tidak identik. Masing-masing *job* tidak selalu melewati seluruh mesin yang bekerja.



Gambar 2.2 Pola Aliran *General Flowshop*

Contoh tabel proses *flowshop*:

Tabel 2.1 Contoh Tabel Proses Flowshop

Mesin \ Job	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M1	M2	M3
3	M1	M2	M3

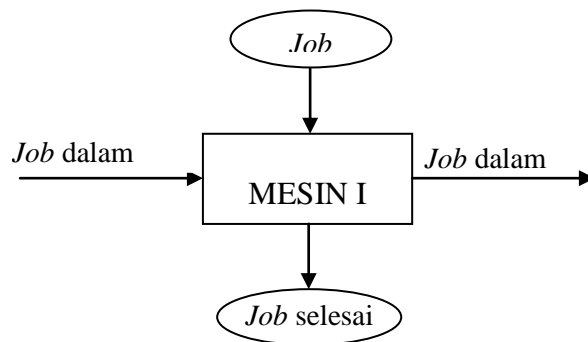
ket:

M1 : waktu proses tahap pertama masing-masing *job* pada mesin A,

M2 : waktu proses tahap kedua masing-masing *job* pada mesin B, dan

M3 : waktu proses tahap ketiga masing-masing *job* pada mesin C.

- c) *Job shop*, pada pola aliran proses *job shop*, masing-masing *job* memiliki urutan operasi yang unik. Setiap *job* bergerak dari satu mesin/stasiun kerja menuju mesin/stasiun kerja yang lainnya dengan pola yang random. Pola aliran prosesnya sebagai berikut:



Gambar 2.3 Pola Aliran *Job Shop*.

Berikut ini dijelaskan contoh tabel proses *Job Shop*.

Tabel 2.2 Contoh Tabel Proses *Job Shop*

Mesin Job	A	B	C
1	M1	M2	M3
2	M2	M1	M3
3	M3	M2	M1

Proses *job shop* mempunyai karakteristik pengurutan mesin yang sama berdasarkan fungsi (seperti *milling*, *drilling*, *turning*, *forging*, dan perakitan), sebagaimana aliran *job* dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja yang lain atau dari mesin satu ke mesin yang lainnya.

Menurut Fogarty (2003), karakteristik proses *job shop* adalah sebagai berikut:

- 1) peralatan penanganan material dan peralatan produksi multi-guna dapat diatur dan dimodifikasi untuk menangani berbagai produk yang berbeda,
- 2) produk-produk yang berbeda diproses dalam *lot-lot* atau *batch*,
- 3) pemrosesan order-order membutuhkan pengendalian dan perencanaan yang terperinci sehubungan dengan variasi pola-pola aliran dan pemisahan stasiun-stasiun kerja,
- 4) pengendalian membutuhkan informasi tentang *job* dan *shop floor* yang terperinci meliputi urutan proses, prioritas order, waktu yang dibutuhkan

- oleh setiap *job*, status dari *job in process*, kapasitas stasiun kerja, dan kapasitas yang dibutuhkan dari stasiun kerja kritis pada suatu periode,
- 5) beban-beban stasiun kerja berbeda secara menyolok, masing-masing memiliki presentase utilitas yang berbeda,
 - 6) ketersediaan sumber-sumber, meliputi material, personal, dan peralatan, harus dikoordinasikan dengan perencanaan order,
 - 7) sejumlah material *work in process* cenderung meningkat. Hal ini dalam aliran proses menyebabkan antrian-antrian dan *work in process* yang panjang,
 - 8) menggunakan teknik-teknik penjadwalan tradisional, total waktu dari awal operasi pertama sampai selesai operasi terakhir, relatif panjang dibandingkan dengan total waktu operasi, dan
 - 9) para pekerja langsung biasanya memiliki *skill* yang lebih tinggi dan lebih terlatih daripada pekerja untuk operasi *flow process*.

Dalam setiap proses *flowshop* memiliki pola alir yang sama dimana setiap *job* melewati urutan mesin yang sama. Baker (2009:10) menjelaskan bahwa penjadwalan mesin produksi dibedakan menjadi dua yaitu penjadwalan mesin tunggal dan penjadwalan mesin paralel.

Pada proses dengan mesin tunggal sering terjadi beberapa penumpukan *job* pada salah satu mesin. Di lain waktu, *job* tersebut harus segera terselesaikan agar tidak terjadi penumpukan yang lebih banyak dikarenakan untuk mesin tunggal terdapat keterbatasan mesin yang tersedia.

Selain keterbatasan untuk mesin tunggal, masalah dasar juga ditandai oleh kondisi berikut (Baker, 2009:11):

- 1) ada n pekerjaan yang harus dioperasikan secara bersamaan dalam pengolahan saat waktu nol,
- 2) mesin dapat memproses paling banyak satu pekerjaan pada satu waktu,
- 3) pengaturan waktu untuk *job* yang berhubungan dengan pengurutan kerja,
- 4) rincian pekerjaan harus diketahui sebelumnya,
- 5) mesin terus tersedia / tidak ada kerusakan yang terjadi,
- 6) mesin tidak pernah disimpan / mengganggu sementara pekerjaan sedang menunggu, dan
- 7) setelah operasi dimulai, maka hasilnya tanpa gangguan.

Dengan kondisi tersebut, terdapat korespondensi satu-satu antara urutan dari n pekerjaan dan permutasi dari indeks pekerjaan $1, 2, 3, \dots, n$. Jumlah total solusi yang berbeda untuk masalah mesin tunggal adalah $n!$, yang merupakan jumlah urutan yang berbeda dari n *job*. Dalam proses penjadwalan, kita perlu mengetahui jenis dan jumlah masing-masing sumber daya sehingga kita bisa menentukan kapan tugas dapat dicapai.

Ketika hal tersebut sudah ditentukan maka secara efektif batas penjadwalan dapat ditentukan. Secara umum durasi tugas tidak pasti, akan tetapi ketidakpastian dapat ditekan dengan menentukan batas akhir atau jatuh tempo *job*. Salah satu model yang paling sederhana dan paling banyak digunakan adalah *Gantt chart* (representasi dari jadwal).

Pada kasus mesin tunggal terdapat tiga informasi dasar yang membantu untuk menggambarkan pekerjaan (Baker, 2009:11). Berikut dijelaskan ketiga informasi tersebut.

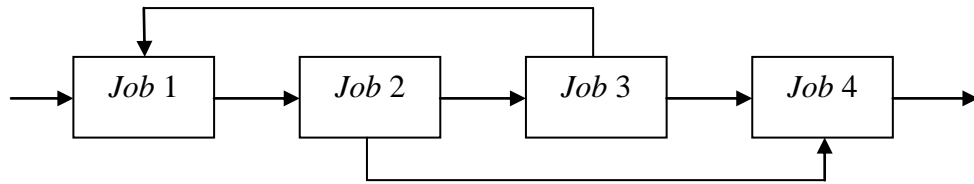
- 1) Waktu pemrosesan (p_j). Jumlah pemrosesan yang diperlukan oleh pekerjaan j .
- 2) Waktu rilis (r_j). Waktu dimana pekerjaan j yang tersedia untuk pengolahan.
- 3) Tanggal jatuh tempo (d_j). Waktu dimana pengolahan pekerjaan j dijadwalkan akan selesai.

Dalam proses pengurutan kerja, waktu pengolahan p_j umumnya meliputi waktu pengolahan langsung. Sedangkan waktu rilis dapat dianggap sebagai waktu kedatangan saat pekerjaan j muncul adalah bahwa $r_j = 0$ untuk semua pekerjaan yang dikerjakan bersamaan. Informasi yang dihasilkan sebagai hasil dari keputusan penjadwalan merupakan keluaran dari fungsi penjadwalan dan biasanya menggunakan huruf kapital untuk menunjukkan jenis data.

Berdasarkan urutan produksi, penjadwalan produksi memiliki dua tipe, yaitu penjadwalan produksi tipe *jobshop* dan penjadwalan produksi tipe *flowshop* (Uttari, 2008).

- 1) Penjadwalan Produksi Tipe *Job shop*.

Penjadwalan *job shop* adalah pola alir dari n *job* melalui m mesin dengan pola alir sembarang. Selain itu penjadwalan *job shop* dapat berarti setiap *job* dapat dijadwalkan pada satu atau beberapa mesin yang mempunyai pemrosesan sama atau berbeda. Aliran kerja *job shop* adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4 Aliran kerja *job shop*.

Penjadwalan *job shop* berbeda dengan penjadwalan *flow shop*, hal ini disebabkan oleh (Arman, 1999):

- a) *Job shop* menangani variasi produk yang sangat banyak, dengan pola aliran yang berbeda-beda melalui pusat-pusat kerja.
- b) Peralatan pada *job shop* digunakan secara bersama-sama oleh bermacam-macam *order* dalam prosesnya, sedangkan peralatan pada *flow shop* digunakan khusus hanya satu produk.
- c) *Job-job* yang berbeda mungkin ditentukan oleh prioritas yang berbeda pula. Hal ini mengakibatkan *order* tertentu yang dipilih harus diproses seketika pada saat *order* tersebut ditugaskan pada suatu pusat kerja. Sedangkan pada *flow shop* tidak terjadi permasalahan seperti di atas karena keseragaman *output* yang diproduksi untuk persediaan. Prioritas *order flow shop* dipengaruhi terutama pada pengirimannya dibanding tanggal pemrosesan.

Pada penjadwalan *job shop*, sebuah operasi dinyatakan pada sebuah triplet (i, j, k) yang berarti operasi ke- j , *job* ke- i , membutuhkan mesin ke- k .

Dalam penjadwalan produksi tipe *job shop* terdapat metode-metode yang dapat digunakan guna menyelesaikan masalah penjadwalan tipe ini ada dua macam yaitu metode penjadwalan active dan metode penjadwalan non delay.

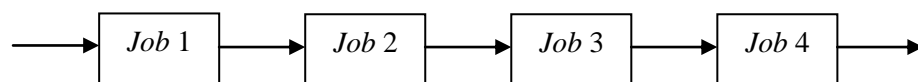
2) Penjadwalan Produksi Tipe *Flow Shop*

Penjadwalan *flowshop* adalah pola alir dari n buah *job* yang melalui proses yang sama (searah). Model *flowshop* merupakan sebuah pekerjaan yang dianggap sebagai kumpulan dari operasi-operasi dimana diterapkannya sebuah struktur khusus.

Penjadwalan *flowshop* dicirikan oleh adanya aliran kerja yang satu arah dan tertentu. Pada dasarnya ada dua macam pola *flowshop* yaitu *flowshop* murni dan *flowshop* umum (Arman, 1999).

a) *Flowshop* murni.

Kondisi dimana sebuah *job* diharuskan menjalani satu kali proses untuk tiap-tiap tahapan proses. Misalnya, masing-masing *job* melalui mesin 1, kemudian mesin 2, mesin 3 dan seterusnya sampai dengan mesin pada proses yang paling akhir. Dibawah ini diberikan gambaran sistem produksi dengan *flow shop* murni.

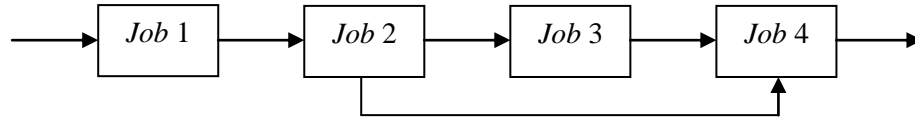


Gambar 2.5 Aliran kerja *flowshop* murni

b) *Flowshop* umum.

Kondisi dimana sebuah *job* boleh melalui seluruh mesin produksi, dimana mulai dari yang awal sampai dengan yang terakhir. Dan selain itu sebuah *job* boleh melalui beberapa mesin tertentu, yang mana mesin tersebut masih berdekatan dengan mesin-mesin lainnya dan masih satu

arah lintasannya. Berikut ini contoh sistem produksi dengan pola *flow shop* umum.



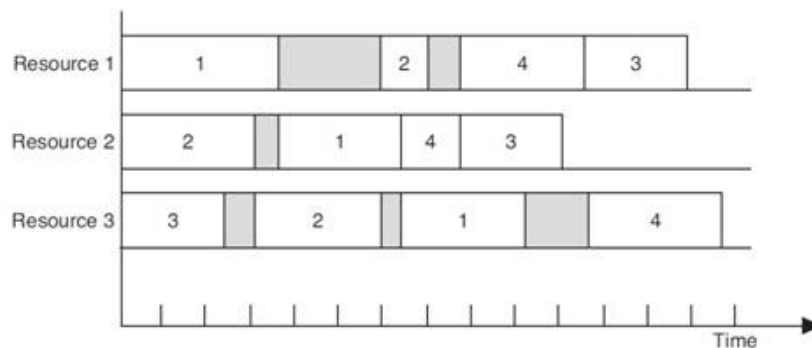
Gambar 2.6 Aliran kerja *flow shop* umum

Dalam penjadwalan produksi tipe *flow shop* terdapat metode-metode yang dapat digunakan guna menyelesaikan masalah penjadwalan tipe ini, metode itu adalah:

- 1) *metode Campbell Dudek Smith*,
- 2) *metode Palmer*, dan
- 3) *metode Dannenbring*.

F. *Gantt Chart*

Dalam bentuk dasarnya, *gantt chart* menampilkan alokasi sumber daya dari waktu ke waktu ditunjukkan sepanjang sumbu vertikal dan skala waktu ditampilkan di sepanjang sumbu horisontal. Berikut ini gambaran secara sederhana bagan *gantt chart*.



Gambar 2.7 Contoh *Gantt Chart*

Gantt chart mengasumsikan bahwa waktu pengolahan yang diketahui dengan pasti, seperti pada Gambar 2.7. Sebuah grafik seperti Gambar 2.7 membantu untuk memvisualisasikan jadwal karena sumber daya dan tugas dapat terlihat dengan jelas. Dengan *Gantt chart* kita bisa menemukan informasi tentang jadwal yang diberikan dengan menganalisis hubungan geometris.

Selain itu, kita dapat mengatur ulang tugas pada bagan untuk memperoleh informasi tentang jadwal alternatif. Dengan cara ini, *Gantt chart* berfungsi sebagai bantuan untuk mengukur kinerja dan membandingkan jadwal serta untuk memvisualisasikan masalah dalam tempat pertama.

BAB III

PEMBAHASAN

A. Masalah Penjadwalan Mesin Produksi Pada Perusahaan Manufaktur

Penjadwalan mesin produksi dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* dalam skripsi ini mengembangkan tugas akhir dari Rizky Aryetta, Christianta, dan Catur Sabda Pamungkas. Rizky membahas penggunaan metode *Campbell Dudek Smith* dan *Palmer* untuk menjadwalkan pada bagian *casing shop*. Christianta menjelaskan dalam skripsinya tentang nilai seluruh *iterasi* dan menentukan urutan kerja mesin berdasarkan nilai waktu terkecil. Pamungkas membahas tentang alur kerja metode *Campbell Dudek Smith* untuk mendapatkan nilai *makespan* terkecil.

Penjadwalan mesin produksi dengan menggunakan metode *Campbell Dudek Smith* dalam skripsi ini menggunakan langkah-langkah yang telah dikemukakan oleh Christianta dan Pamungkas. Penerapan dari nilai *makespan* dalam skripsi ini pada bagian mesin produksi dan mesin yang bekerja dalam proses produksi cenderung lebih banyak. Penentuan nilai *makespan* yang minimal kemudian digunakan untuk membuat jadwal operasi mesin.

1. Formulasi Masalah

Tujuan yang dirumuskan dalam penjadwalan mesin produksi dengan metode *Campbell Dudek Smith* yaitu meminimalkan nilai *makespan*. Nilai *makespan* berkaitan dengan waktu operasi mesin. Waktu operasi mesin berbeda-beda untuk masing-masing *job* yang dioperasikan.

Mesin produksi yang bekerja harus memenuhi beberapa persyaratan berikut ini.

- 1) Mesin-mesin yang digunakan tidak mengalami gangguan atau kerusakan.

Mesin yang digunakan dalam proses produksi harus telah siap bekerja saat *job* akan diproduksi. Mesin tidak mengalami gangguan seperti kerusakan dan perawatan sehingga mengakibatkan proses produksi menjadi terhambat. Waktu perawatan dilakukan saat mesin tidak bekerja.

- 2) Proses produksi pada setiap mesin sesuai dengan urutan operasi.

Proses produksi suatu *job* melewati mesin-mesin sesuai dengan urutan operasi. *Job* diproses mulai dari mesin pertama hingga mesin terakhir tanpa menukar urutan pengerjaan.

- 3) Setiap *job* yang diproduksi menghasilkan satu buah produk.

Hasil dari setiap *job* berupa satu buah cetakan produk. Setiap *job* hanya melewati satu urutan kerja sehingga menghasilkan satu cetakan produk.

- 4) Setiap *job* melewati setiap mesin hanya satu kali proses operasi.

Job yang diproduksi memiliki tahapan-tahapan operasi untuk menghasilkan satu buah produk. Tahapan operasi tersebut diproses pada mesin yang berbeda-beda sesuai dengan kemampuan mesin dan setiap mesin mengerjakan satu tahapan operasi. *Job* yang diproduksi hanya satu kali operasi pada masing-masing mesin.

- 5) Material sudah tersedia dan siap untuk diproduksi pada masing-masing mesin.

Setiap operasi pada mesin membutuhkan material yang akan diproses.

Material tersebut harus tersedia saat mesin akan memulai operasi.

- 6) Seluruh *job* yang akan diproduksi memiliki urutan kerja yang sama.

Tahapan-tahapan dalam proses produksi suatu *job* harus memiliki urutan yang sama dan tidak dapat ditukar. Urutan pertama harus diselesaikan dahulu sebelum diproses pada urutan yang kedua.

- 7) Kemampuan dari operator dan alat bantu sama.

Jika kemampuan setiap operator dan alat bantu sama maka tidak ada perubahan waktu operasi pada mesin.

- 8) Selama produksi berlangsung tidak ada perubahan *order* dari *customer* yang mengakibatkan perubahan jadwal kerja mesin.

Jika proses produksi telah berjalan maka tidak ada *order* yang masuk dari *customer*. Penambahan *order* akan menyebabkan perubahan jadwal operasi.

2. Model Matematika

Tujuan dari penjadwalan dengan metode *Campbell Dudek Smith* adalah meminimalkan waktu *makespan* mesin produksi. Waktu produksi dapat direpresentasikan dalam $t_{i,j}$, i merupakan urutan mesin yang bekerja dan j urutan *job* yang diproses. Didefinisikan $t_{i,j}$ adalah waktu proses produksi pada mesin ke- i dan *job* ke- j .

Pada permasalahan ini terdapat n job dan m mesin yang bekerja. Masalah m mesin diubah menjadi masalah dua mesin menggunakan algoritma *Johnson*. Algoritma *Johnson* diformulasikan dengan j job yang diproses pada dua mesin dengan $t_{j,1}$ adalah waktu proses job ke- j pada mesin 1 dan $t_{j,2}$ waktu proses job ke- j pada mesin 2.

Pengurutan proses produksi job berdasarkan min $t_{j,1}$ dan min $t_{j,2}$. Jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,1}$ maka job ditempatkan pada urutan paling awal. Jika waktu minimal terdapat pada $t_{j,2}$ maka job ditempatkan pada urutan paling akhir. Masalah dua mesin dapat diformulasikan untuk masalah m mesin dengan k sebagai iterasi.

Masalah m mesin menghasilkan k iterasi dan $k = 1, 2, 3, \dots, (m - 1)$.

Untuk iterasi pertama, $t_{j,1}^1 = t_{j,1}$ dan $t_{j,2}^1 = t_{j,m}$. Untuk iterasi kedua $t_{j,1}^2 = t_{j,1} + t_{j,2}$ dan $t_{j,2}^2 = t_{j,m} + t_{j,(m-1)}$. Untuk iterasi ke- $(m - 1)$ maka

$$t_{j,1}^{m-1} = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + \dots + t_{j,(m-1)} \text{ dan}$$

$$t_{j,2}^{m-1} = t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3} + \dots + t_{m+1-(m-1)}.$$

Selanjutnya dapat diformulasikan sebagai berikut.

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

B. Penjadwalan Mesin Produksi Dengan Metode *Campbell Dudek Smith*

(CDS)

1. Algoritma *Johnson*

Metode *Campbell Dudek Smith* (1970:630) adalah pengembangan dari algoritma *Johnson*. Pada algoritma *Johnson* setiap pekerjaan atau tugas yang akan diselesaikan harus melewati setiap mesin. Setiap mesin bekerja sesuai dengan jadwal urutan proses produksi. Tujuan penjadwalan untuk mendapatkan nilai *makespan* terkecil dengan urutan pengerjaan tugas paling baik. Algoritma *Johnson's* adalah suatu aturan meminimalkan *makespan* 2 mesin yang disusun seri dan saat ini menjadi dasar teori penjadwalan.

Permasalahan *Johnson* diformulasikan dengan j job yang diproses pada 2 mesin dengan $t_{j,1}$ adalah waktu proses pada mesin 1 dan $t_{j,2}$ waktu proses pada mesin 2. Tahapan perhitungan dengan algoritma *Johnson* sebagai berikut:

- 1) tentukan nilai $\{t_{j,1}, t_{j,2}\}$,
- 2) jika waktu proses minimal terdapat pada mesin pertama (misal $t_{j,1}$),
tempatkan *job* tersebut pada awal deret penjadwalan,
- 3) bila waktu proses minimal didapat pada mesin kedua (misal $t_{j,2}$), *job* tersebut
ditempatkan pada posisi akhir deret penjadwalan, dan
- 4) pindahkan *job-job* tersebut dari daftarnya dan susun dalam bentuk deret
penjadwalan. Total waktu $t_{1,1}$ yaitu waktu proses *job* 1 pada mesin 1. Total
waktu $t_{1,2}$ yaitu $t_{1,1} + t_{1,2}$. Total waktu $t_{2,1}$ yaitu $t_{1,1} + t_{2,1}$. Total waktu $t_{2,2}$
yaitu $\max \{t_{1,2}, t_{2,1}\} + t_{2,2}$ dan seterusnya. Jika masih ada *job* yang tersisa

ulangi kembali langkah 1, sebaliknya jika tidak ada lagi *job* yang tersisa berarti penjadwalan sudah selesai.

Metode *CDS* berkaitan dengan penggunaan multi tahap aturan *Johnson* terhadap masalah baru, berasal dari penggunaan semula dengan waktu pemrosesan tahap 1. Dengan perkataan lain aturan dari *Johnson* yang diterapkan pada yang pertama dan dengan operasi serta operasi-operasi pada tahap 2, yaitu aturan dari *Johnson* diterapkan untuk jumlah yang pertama dan yang terakhir pada kedua waktu pemrosesan di dalam tahapan umum.

Untuk setiap tahapan, pesanan pekerjaan yang diperoleh digunakan untuk memperhitungkan persesuaian untuk masalah yang sebenarnya. Untuk menghadapi hubungan-hubungan pada tahapan tersebut, maka salah satu pendekatan mungkin dapat mengevaluasi persesuaian untuk semua pilihan-pilihan pada tahapan tertentu. Di dalam penyajian awal, para penulis mengusulkan hubungan-hubungan tersebut diantara pasangan pekerjaan dengan menggunakan aturan kedua pekerjaan pada tahap sebelumnya.

Campbell Dudek Smith (1970:634) telah mengkaji metodenya secara luas dan mengkaji kinerjanya sebagaimana yang dapat diperbandingkan dengan *heuristic Palmer* di dalam beberapa masalah. Mereka telah menemukan bahwa metode *CDS* pada umumnya lebih efektif dibandingkan dengan menggunakan metode *Palmer* dan *Dannenbring*, baik untuk masalah kecil maupun besar. Di samping itu, waktu yang diperlukan untuk memperhitungkan adalah aturan yang sama.

Berikut ini rumus menentukan nilai *makespan* dengan menggunakan metode *Heuristic Palmer*.

$$S_j = M - 1 \ t_{Mj} + M - 3 \ t_{M-1} + M - 5 \ t_{M-3} + \dots - M - 5 \ t_{3j} \\ - M - 3 \ t_{2j} - (M - 1)t_{1j}$$

M : jumlah mesin.

t_{Mj} : waktu *job j* pada mesin m .

Nilai *makespan* pada metode *heuristic palmer* menghasilkan j nilai yang berbeda dan pada metode *CDS* sebanyak $m - 1$.

2. Iterasi Metode CDS

Pada metode *Campbell Dudek Smith* (1970:633) proses penjadwalan atau penugasan kerja dilakukan berdasarkan atas waktu kerja yang terkecil yang digunakan dalam melakukan produksi. Dalam permasalahan ini, digunakan n *job* dan m mesin. Metode *CDS* ini adalah metode yang pertama kali ditemukan oleh Campbell, Dudek, dan Smith pada tahun 1965, yang dilakukan untuk mengurutkan n pekerjaan terhadap m mesin. *Campbell Dudek Smith* (1970:631) memutuskan untuk urutan yang pertama yaitu :

$$t_{j,1}^k = t_{j,1} \text{ dan } t_{j,2}^k = t_{j,2}$$

sebagai waktu proses pada mesin pertama dan mesin terakhir. Untuk urutan yang kedua dirumuskan dengan:

$$t_{j,1}^k = t_{j,1} + t_{j,2}$$

$$t_{j,2}^k = t_{j,m} + t_{j,m-1}$$

sebagai waktu proses pada dua mesin pertama dan dua mesin yang terakhir

untuk urutan ke-k:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

ket: j = job

i = mesin

m = jumlah mesin yang bekerja (awal-akhir)

$k = 1, 2, 3, \dots, (m - 1)$

Berikut ini merupakan tabel iterasi dalam dua mesin.

Tabel 3.1 Iterasi Dua Mesin

k	$t_{j,1}^k$ (total mesin pertama)	$t_{j,2}^k$ (total mesin kedua)
1	$t_{j,1}$	t_{m+1-1}
2	$t_{j,1} + t_{j,2}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2}$
3	$t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3}$
.....
$m - 1$	$t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + \dots + t_{j,(m-1)}$	$t_{m+1-1} + t_{m+1-2} + t_{m+1-3} + \dots$ $+ t_{m+1-(m-1)}$

Dari penyusunan atau penjadwalan yang ada diharapkan akan mengurangi waktu menganggur dari mesin karena pengaturan yang kurang tepat.

Perhitungan ini berlangsung terus dengan ketentuan $k = 1, 2, 3, \dots, (m - 1)$, artinya harga perhitungan k mulai dari 1 sampai dengan $m - 1$, bentuk perhitungan melalui tabel-tabel *iterasi* (k) dari 1 s/d $m - 1$ tersebut dan setiap tabel memiliki urutan *job* tersendiri dan terdapat p dimana $p = m - 1$. *Campbell, Dudek, dan Smith* mencoba metode mereka dan menguji *performancenya* pada beberapa masalah, mereka menemukan bahwa metode *Campbell Dudek Smith* lebih efektif, baik untuk masalah kecil maupun masalah besar.

3. Tahapan Metode CDS

Perhitungan metode *Campbell Dudek and Smith* (1970:631) dilakukan dengan tahapan-tahapan berikut:

- 1) Ambil urutan pertama $k = 1$. Untuk seluruh tugas yang ada, cari harga $t_{j,1}^k$ dan $t_{j,2}^k$ yang minimal yang merupakan waktu proses mesin pertama dan kedua pada *iterasi* ke- k .
- 2) Jika waktu minimum didapat pada mesin pertama (misal $t_{j,1}^k$) selanjutnya tempatkan tugas tersebut pada urutan awal, bila waktu minimal didapat pada mesin kedua (misal $t_{j,2}^k$) tugas tersebut ditempatkan pada urutan terakhir.
- 3) Pindahkan tugas-tugas tersebut dari daftarnya dan urutkan. Total waktu $t_{1,1}$ yaitu waktu proses *job* 1 pada mesin 1. Total waktu $t_{1,2}$ yaitu $t_{1,1} + t_{1,2}$. Total waktu $t_{2,1}$ yaitu $t_{1,1} + t_{2,1}$. Total waktu $t_{2,2}$ yaitu max

$\{t_{1,2}, t_{2,1}\} + t_{2,2}$ dan seterusnya. Jika masih ada tugas yang tersisa ulangi kembali langkah 1, sebaliknya jika tidak ada lagi tugas yang tersisa, berarti pengurutan telah selesai.

Bagan alur proses kerja dengan menggunakan metode CDS disajikan seperti pada gambar 3.1.

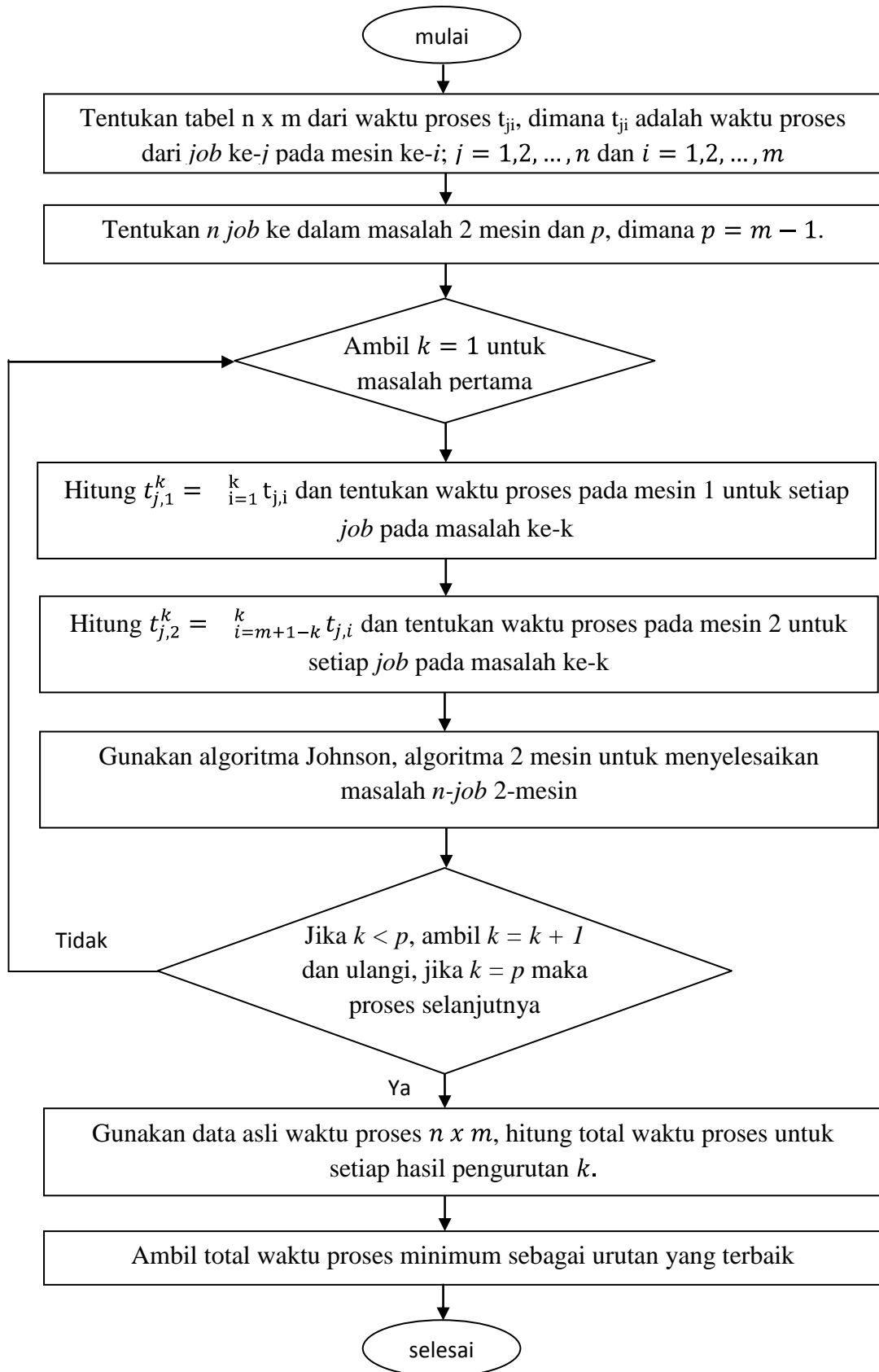
Berikut ini akan dijelaskan contoh penjadwalan dengan metode *Campbell Dudek Smith (CDS)* dalam 8 *job* dan 7 mesin (*Campbell Dudek Smith, 1970:632*).

Tabel 3.2 Penjadwalan 8 *job* dan 7 mesin

mesin <i>job</i>	Waktu Proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
1	13	79	23	71	60	27	2
2	31	13	14	94	60	61	57
3	17	1	0	23	36	8	86
4	19	28	10	4	58	73	40
5	94	75	0	58	0	68	46
6	8	24	3	32	4	94	89
7	10	57	13	1	92	75	29
8	80	17	38	40	66	25	88

Tabel 3.2 menunjukkan waktu operasi *job* pada setiap mesin. *Job* 1 membutuhkan waktu 13 menit pada mesin 1, 79 menit pada mesin 2, dan seterusnya. *Job* 2 membutuhkan waktu operasi 31 menit pada mesin 1, 13 menit pada mesin 2, dan seterusnya.

Dari tabel 3.2 maka diperoleh banyaknya *iterasi* yaitu : $k = m - 1 = 7 - 1 = 6$.



Gambar 3.1 Alur Proses Kerja Metode CDS

Iterasi pertama, $k = 1$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^1 = t_{j,1}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^1 = t_{j,7}$$

Tabel 3.3 Iterasi Pertama *CDS*

Mesin Job	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^1$	$t_{j,2}^1$
1	13	2
2	31	57
3	17	86
4	19	40
5	94	46
6	8	89
7	10	29
8	80	88

Untuk $k = 1$ menghasilkan urutan $6 - 7 - 3 - 4 - 2 - 8 - 5 - 1$ sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 3.4 Total Waktu Iterasi Pertama *CDS*

Mesin Job	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
6	8	32	35	67	71	165	254
7	18	89	102	103	195	270	299
3	35	90	102	126	231	278	385
4	54	118	128	132	289	362	425
2	85	131	145	239	349	423	482
8	165	182	220	279	345	448	570
5	259	334	334	392	392	516	616
1	272	413	436	507	567	594	618

Total waktu pada tabel 3.4 didapat dari : $t_{1,1}^k = t_{1,1}$, $t_{1,2}^k = t_{1,1}^k + t_{1,2}$, \dots ,
 $t_{1,m}^k = t_{1,1}^k + t_{1,2}^k + \dots + t_{1,m}$. $t_{2,1}^k = t_{1,1}^k + t_{2,1}$, $t_{2,2}^k = \max t_{1,2}^k, t_{2,1}^k +$
 $t_{2,2}$, dan seterusnya.

Iterasi kedua, $k = 2$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^2 = t_{j,1} + t_{j,2}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^2 = t_{j,6} + t_{j,7}.$$

Tabel 3.5 Iterasi kedua *CDS*

<i>Job</i> \ Mesin	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^2$	$t_{j,2}^2$
1	92	29
2	44	118
3	18	94
4	47	113
5	169	114
6	32	183
7	67	104
8	97	113

Untuk $k = 2$ menghasilkan urutan $3 - 6 - 2 - 4 - 7 - 8 - 5 - 1$ sehingga
didapat total waktu berikut.

Tabel 3.6 Total Waktu Iterasi Kedua *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
3	17	18	18	41	77	85	171
6	25	49	52	84	88	182	271
2	56	69	83	178	238	299	256
4	75	103	113	182	296	372	412
7	85	160	173	183	275	447	476
8	165	182	220	260	341	472	564
5	259	334	334	392	392	440	610
1	272	413	436	507	567	467	612

Iterasi ketiga, $k = 3$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^3 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^3 = t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} .$$

Tabel 3.7 Iterasi Ketiga *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^3$	$t_{j,2}^3$
1	115	89
2	58	178
3	18	130
4	57	171
5	169	114
6	35	187
7	80	196
8	135	179

Untuk $k = 3$ menghasilkan urutan $3 - 6 - 4 - 2 - 7 - 8 - 5 - 1$ sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 3.8 Total Waktu Iterasi Ketiga *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
3	17	18	18	41	77	85	171
6	25	49	52	84	88	182	271
4	44	77	87	91	149	255	311
2	75	90	104	198	258	319	376
7	85	147	160	199	350	425	454
8	165	182	220	260	416	450	538
5	259	334	334	392	416	518	584
1	272	413	436	507	567	594	596

Iterasi keempat, $k = 4$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^4 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^4 = t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} .$$

Tabel 3.9 Iterasi Keempat *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^4$	$t_{j,2}^4$
1	186	160
2	152	272
3	41	153
4	61	175
5	227	172
6	67	219
7	81	197
8	175	219

Untuk $k = 4$ menghasilkan urutan $3 - 4 - 6 - 7 - 2 - 8 - 5 - 1$ sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.10.

Tabel 3.10 Total Waktu Iterasi Keempat *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
3	17	18	18	41	77	85	171
4	36	64	74	78	136	209	249
6	44	88	91	123	140	303	392
7	54	145	158	159	251	378	421
2	85	158	172	266	326	439	496
8	165	182	220	306	392	464	584
5	259	334	334	392	392	532	630
1	272	413	436	507	567	594	632

Iterasi kelima, $k = 5$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^5 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^5 = t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} .$$

Tabel 3.11 Iterasi Kelima *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^5$	$t_{j,2}^5$
1	246	183
2	212	286
3	77	153
4	119	185
5	227	172
6	71	222
7	173	210
8	241	257

Untuk $k = 5$ menghasilkan urutan $6 - 3 - 4 - 7 - 2 - 8 - 1 - 5$ sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 3.12 Total Waktu Iterasi Kelima *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
6	8	32	35	67	71	165	254
3	25	33	35	90	126	173	340
4	44	72	82	94	184	257	380
7	54	129	142	143	276	351	409
2	85	142	156	250	336	412	469
8	165	182	220	290	402	437	557
1	178	261	284	361	462	489	559
5	272	347	347	419	462	557	605

Iterasi keenam, $k = 6$:

$$t_{j,1}^k = \sum_{i=1}^k t_{j,i}$$

$$t_{j,1}^6 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6}$$

$$t_{j,2}^k = \sum_{i=m+1-k}^m t_{j,i}$$

$$t_{j,2}^6 = t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} .$$

Tabel 3.13 Iterasi Keenam *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Total waktu proses (menit)	
	$t_{j,1}^6$	$t_{j,2}^6$
1	273	262
2	273	299
3	85	154
4	192	213
5	295	247
6	165	246
7	248	267
8	266	274

Untuk $k = 6$ menghasilkan urutan $3 - 6 - 4 - 7 - 8 - 2 - 1 - 5$ sehingga didapat total waktu berikut.

Tabel 3.14 Total Waktu Iterasi Keenam *CDS*

Mesin <i>Job</i>	Waktu proses (menit)						
	1	2	3	4	5	6	7
3	17	18	18	41	77	85	171
6	25	49	52	84	88	182	271
4	44	77	87	91	149	255	311
7	54	134	147	148	241	330	359
8	134	151	189	229	307	355	447
2	165	178	203	323	383	444	504
1	178	257	280	394	454	481	506
5	272	347	347	452	454	549	595

Dari keenam urutan tersebut dengan $k = 1$ sampai dengan $k = 6$ dapat diperoleh tabel urutan sebagai berikut.

Tabel 3.15 Nilai *Makespan* untuk Masing-masing Iterasi

Iterasi (k)	Urutan <i>job</i>	<i>Makespan</i>
1	6 - 7 - 3 - 4 - 2 - 8 - 5 - 1	618
2	3 - 6 - 2 - 4 - 7 - 8 - 5 - 1	628
3	3 - 6 - 4 - 2 - 7 - 8 - 5 - 1	596
4	3 - 4 - 6 - 7 - 2 - 8 - 5 - 1	632
5	6 - 3 - 4 - 7 - 2 - 8 - 1 - 5	605
6	3 - 6 - 4 - 7 - 8 - 2 - 1 - 5	595

Sehingga diperoleh total waktu optimal sebesar 595 dengan urutan pengerjaan job $3 - 6 - 4 - 7 - 8 - 2 - 1 - 5$.

Dari hasil pemrosesan dengan program WinQSB didapat nilai C_{max} (*min. makespan*) sebesar 595 dengan urutan *job* $3 - 6 - 4 - 7 - 8 - 2 - 1 - 5$ seperti

yang sudah terlampir (lampiran1:70). Hasil dari program tersebut sesuai dengan hasil yang didapat dengan perhitungan yaitu dengan nilai *makespan* sebesar 595.

C. Penjadwalan Mesin Produksi Pada Perusahaan Manufaktur

1. Perhitungan dengan metode CDS

Pada salah satu perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur, lamanya waktu kerja untuk setiap mesin adalah 10 jam setiap harinya yaitu mulai pukul 07.00 s/d 17.00. Dalam proses produksi terdapat beberapa kriteria yang telah dipenuhi yaitu sebagai berikut :

- a.) Material sudah tersedia dan siap untuk diproses.
- b.) Mesin-mesin yang dipergunakan tidak mengalami gangguan atau kerusakan.
- c.) Kemampuan dari operator dan alat bantu di perusahaan sama.
- d.) Selama proses berlangsung tidak ada perubahan *order* dan *customer*.

Dari data yang diperoleh dari salah satu perusahaan manufaktur terdapat 16 *job* yang harus diproduksi, yaitu SG 1601, SG 1602, F 1352, F 1448, F 1513, F 1514, F 1567, F 1568, F 1569, F 1579, F 1590, F 1592, TE 1595, TE 1597, TE 1598, P 1572. *Job-job* tersebut merupakan pesanan dari *customer* berupa cetakan suatu produk. Setiap *job* yang diproduksi menghasilkan 1 buah cetakan produk terbuat dari besi. Model dan ukuran cetakan produk sesuai dengan permintaan *customer* karena masing-masing *customer* memproduksi barang yang berbeda-beda. Proses produksi tersebut melewati urutan alur mesin produksi yang sama dan jumlah keseluruhan mesin

yang bekerja adalah 8 mesin. Urutan mesin-mesin tersebut adalah RB 1 - RB 2 - RB 3 - RB 5 - RB 6 - ULTRA - MA 3 - ROBOT.

Waktu memulai seluruh *job* yang akan diproduksi yaitu mulai tanggal 1 November 2013 pukul 07.00. Pada waktu tersebut seluruh mesin yang akan digunakan telah siap bekerja. Tabel 3.16 merupakan data waktu operasi *job* pada setiap mesin produksi yang bekerja dalam satuan jam.

Tabel 3.16 Data Waktu Kerja Mesin Pada Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	RB 1	RB 2	RB 3	RB 5	RB 6	ULTRA	MA 3	ROBOT
SG 1601	16.75	6.75	15.75	21.75	25	10	12	5
SG 1602	19.25	25	37.5	13.25	13.25	20	4.24	5
F 1352	6.75	5	10	3.25	5	0	2.5	3.25
F 1448	11.75	6.25	8.25	3.25	3.25	6.5	2	6.25
F 1513	10	8.25	11.45	0	8	6.25	2	0
F 1514	10	0	5	10	30	8	7	9
F 1567	30	10	10	3.25	8.25	10	10	5
F 1568	21	15	5	6	0	15	7	10
F 1569	10	23.25	8.25	3.25	10	3.25	8.25	5
F 1579	20	23	26	26	15	20	43	41
F 1590	3	2	5	5	5	0	3	0
F 1592	3.25	5.5	3	3.25	4	0	5.75	3
TE 1595	5	6	5	10	8.25	5	10	3.25
TE 1597	12	15	13	10.5	9.75	7.5	8	4
TE 1598	3.25	3.26	3.27	5	5	5	4.5	0
P 1572	18	48	15	18	33	60	33	45

Masing-masing *job* memiliki alur operasi yang sama yaitu RB 1 - RB 2 - RB 3 - RB 5 - RB 6 - ULTRA - MA 3 - ROBOT. Dengan urutan mesin yang sama untuk masing-masing *job* maka penjadwalan tersebut termasuk ke dalam jenis penjadwalan *flowshop*.

Untuk mendapatkan nilai *makespan* yang optimal maka akan digunakan metode *CDS* dimana metode ini merupakan pengembangan dari Algoritma *Johnson*. Algoritma tersebut digunakan untuk masalah dua mesin, sehingga dalam metode *CDS* yaitu merubah masalah m mesin menjadi masalah dua mesin.

Data yang akan diolah menggunakan metode *CDS* terdiri dari 16 *job* yang semuanya memiliki urutan pengolahan yang sama. Oleh karena itu, metode *CDS* dapat diterapkan dan menghasilkan k iterasi. Banyaknya iterasi yaitu $k = m - 1 = 8 - 1 = 7$. Ketujuh iterasi tersebut didapat dengan membandingkan waktu setiap *job* di masing-masing mesin.

Berdasarkan proses *CDS* yang telah dijelaskan sebelumnya maka dari 16 *job* dan 8 mesin tersebut dihasilkan tujuh iterasi yaitu sebagai berikut.

Iterasi pertama, $k = 1$

$$t_{j,1}^1 = t_{j,1}$$

$$t_{j,2}^1 = t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.17.

Untuk $k = 1$ menghasilkan urutan kerja P1572 – F1579 – F1568 – F1514 – F1448 – SG1602 – F1567 – F1569 – SG1601 – TE1597 – TE1595 – F1352 – F1592 – F1590 – TE1598 – F1513 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.18. Dari tabel 3.18 didapat nilai *makespan* sebesar 371,5 jam.

Tabel 3.17 Iterasi Pertama Perusahaan Manufaktur

<i>mesin</i> <i>job</i>	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^1$	$t_{j,2}^1$
SG 1601	16,75	5
SG 1602	19,25	6
F 1352	6,75	3,25
F 1448	11,75	6,25
F 1513	10	0
F 1514	10	9
F 1567	30	5,5
F 1568	21	10
F 1569	10	5,25
F 1579	20	41
F 1590	3	0
F 1592	3,25	3
TE 1595	5	3,25
TE 1597	12	4
TE 1598	3,25	0
P 1572	18	45

Tabel 3.18 Total Waktu Iterasi Pertama Perusahaan Manufaktur

<i>mesin</i> <i>job</i>	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
P 1572	18	66	81	99	132	192	225	270
F 1579	38	89	115	141	156	212	268	311
F 1568	59	104	120	147	156	227	275	321
F 1514	69	104	125	157	187	235	282	330
F 1448	80,75	110,25	133,25	160,25	190,25	241,5	284	336,25
SG 1602	100	135,25	172,75	186	203,5	261,5	288,25	342,25
F 1567	130	145,25	182,75	189,25	211,75	271,5	298,25	347,75
F 1569	140	168,5	191	194,25	221,75	274,75	306,5	353
SG 1601	156,75	175,25	206,75	228,5	253,5	284,75	318,5	358
TE 1597	168,75	190,25	219,75	239	263,25	292,25	326,5	362
TE 1595	173,75	196,25	224,75	249	271,5	297,25	336,5	365,25
F 1352	180,5	201,25	234,75	252,25	276,5	297,25	339	368,5
F 1592	183,75	206,75	237,75	255,5	280,5	297,25	344,75	371,5
F 1590	186,75	208,75	242,75	260,5	285,5	297,25	347,75	371,5
TE 1598	190	212	246	265,5	290,5	302,25	352,25	371,5
F 1513	200	220,25	257,75	265,5	298,5	308,5	354,25	371,5

Iterasi kedua, $k = 2$

$$t_{j,1}^2 = t_{j,1} + t_{j,2}$$

$$t_{j,2}^2 = t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.19.

Untuk $k = 2$ menghasilkan urutan kerja F1592 – F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – SG1601 – F1568 – F1567 – F1569 – TE1597 – SG1602 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1590 – F1513 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.20. Dari tabel 3.20 didapat nilai *makespan* sebesar 358,5 jam.

Tabel 3.19 Iterasi Kedua Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^2$	$t_{j,2}^2$
SG 1601	23,5	17
SG 1602	44,25	10,25
F 1352	11,75	5,75
F 1448	18	8,25
F 1513	18,25	2
F 1514	10	16
F 1567	40	15,5
F 1568	36	17
F 1569	33,25	13,5
F 1579	43	84
F 1590	5	3
F 1592	8,75	8,75
TE 1595	11	13,25
TE 1597	27	12
TE 1598	6,5	4,5
P 1572	66	78

Tabel 3.20 Total Waktu Iterasi Kedua Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
F 1592	3,25	8,75	11,75	15	19	19	24,75	27,75
F 1514	13,25	13,25	18,25	28,25	58,25	66,25	73,25	82,25
TE 1595	18,25	24,25	29,25	39,25	66,5	71,5	83,25	86,5
F 1579	38,25	61,25	87,25	113,25	128,25	148,25	191,25	232,25
P 1572	56,25	109,25	124,25	142,25	175,25	235,25	268,25	313,25
SG 1601	73	116	140	164	200,25	245,25	280,25	318,25
F 1568	94	131	145	170	200,25	260,25	287,25	328,25
F 1567	124	141	155	173,25	208,5	270,25	297,25	333,75
F 1569	134	164,25	172,5	176,5	218,5	273,5	305,5	339
TE 1597	146	179,25	192,25	202,75	228,25	281	313,5	343
SG 1602	165,25	204,25	241,75	255	268,25	301	317,75	349
F 1448	177	210,5	250	258,25	271,5	307,5	319,75	355,25
F 1352	183,75	215,5	260	263,25	276,5	307,5	322,25	358,5
TE 1598	187	218,75	263,25	268,25	281,5	312,5	326,75	358,5
F 1590	190	220,75	268,25	273,25	286,5	312,5	329,75	358,5
F 1513	200	229	280	280	294,5	318,75	331,75	358,5

Iterasi ketiga, $k = 3$

$$t_{j,1}^3 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3}$$

$$t_{j,2}^3 = t_{j,6} + t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.21.

Untuk $k = 3$ menghasilkan urutan kerja F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – F1568 – SG1602 – SG1601 – F1567 – TE1597 – F1569 – F1448 – TE1598 – F1592 – F1513 – F1352 – F1590 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.22. Dari tabel 3.22 didapat nilai *makespan* sebesar 358,25 jam.

Tabel 3.21 Iterasi Ketiga Perusahaan Manufaktur

<i>mesin</i> <i>job</i>	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^3$	$t_{j,2}^3$
SG 1601	39,25	27
SG 1602	81,75	30,25
F 1352	21,75	5,75
F 1448	26,25	14,75
F 1513	29,7	8,25
F 1514	15	24
F 1567	50	25,5
F 1568	41	32
F 1569	41,5	16,75
F 1579	69	104
F 1590	10	3
F 1592	11,75	8,75
TE 1595	16	18,25
TE 1597	40	19,5
TE 1598	9,75	9,5
P 1572	81	138

Tabel 3.22 Total Waktu Iterasi Ketiga Perusahaan Manufaktur

<i>mesin</i> <i>job</i>	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
F 1514	10	10	15	25	55	63	70	79
TE 1595	15	21	26	36	63,25	68,25	80	83,25
F 1579	35	58	84	110	125	145	188	229
P 1572	53	106	121	139	172	232	265	310
F 1568	74	121	126	145	172	247	272	320
SG 1602	93,25	146	183,5	196,75	210	267	276,25	326
SG 1601	110	152,75	199,25	221	246	277	289	331
F 1567	140	162,75	209,25	224,25	254,25	287	299	336,5
TE 1597	152	177,75	222,25	234,75	264	294,5	307	340,5
F 1569	162	201	230,5	238	274	297,75	315,25	345,75
F 1448	173,75	207,25	238,75	242	277,25	304,25	317,25	352
TE 1598	177	210,5	242	247	282,25	309,25	321,75	352
F 1592	180,25	216	245	250,25	286,25	309,25	327,5	355
F 1513	190,25	224,25	256,75	256,75	294,25	315,5	329,5	355
F 1352	197	229,25	266,75	270	299,25	315,5	332	358,25
F 1590	200	231,25	271,75	276,75	304,25	315,5	335	358,25

Iterasi keempat, $k = 4$

$$t_{j,1}^4 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4}$$

$$t_{j,2}^4 = t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.23.

Untuk $k = 4$ menghasilkan urutan kerja F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – SG1601 – SG1602 – F1567 – F1568 – TE1597 – F1569 – F1448 – F1513 – TE1598 – F1592 – F1352 – F1590 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.24. Dari tabel 3.24 didapat nilai *makespan* sebesar 358,25 jam.

Tabel 3.23 Iterasi Keempat Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^4$	$t_{j,2}^4$
SG 1601	61	52
SG 1602	95	43,5
F 1352	25	10,75
F 1448	29,5	18
F 1513	29,7	16,25
F 1514	25	54
F 1567	53,25	33,75
F 1568	47	32
F 1569	44,75	26,75
F 1579	95	119
F 1590	15	8
F 1592	15	12,75
TE 1595	26	26,5
TE 1597	50,5	29,25
TE 1598	14,75	14,5
P 1572	99	171

Tabel 3.24 Total Waktu Iterasi Keempat Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
F 1514	10	10	15	25	55	63	70	79
TE 1595	15	21	26	36	63,25	68,25	80	83,25
F 1579	35	58	84	110	125	145	188	229
P 1572	53	106	121	139	172	232	265	310
SG 1601	69,75	112,75	136,75	160,75	197	242	277	315
SG 1602	89	137,75	175,25	188,5	210,25	262	281,25	321
F 1567	119	147,75	185,25	191,75	218,5	272	291,25	326,5
F 1568	140	162,75	190,25	197,75	218,5	287	298,25	336,5
TE 1597	152	177,75	203,25	213,75	228,25	294,5	306,25	340,5
F 1569	162	201	211,5	217	238,25	297,75	314,5	345,75
F 1448	173,75	207,25	219,75	223	241,5	304,25	316,5	352
F 1513	183,75	215,5	231,5	231,5	249,5	310,5	318,5	352
TE 1598	187	218,75	234,75	239,75	254,5	315,5	323	352
F 1592	190,25	224,25	237,75	243	258,5	315,5	328,75	355
F 1352	197	229,25	247,75	251	263,5	315,5	331,25	358,25
F 1590	200	231,25	252,75	257,75	268,5	315,5	334,25	358,25

Iterasi kelima, $k = 5$

$$t_{j,1}^5 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5}$$

$$t_{j,2}^5 = t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.25.

Untuk $k = 5$ menghasilkan urutan kerja TE1595 – F1514 – F1579 – P1572 – SG1601 – SG1602 – TE1597 – F1568 – F1567 – F1569 – F1448 – TE1598 – F1513 – F1592 – F1352 – F1590 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.26. Dari tabel 3.26 didapat nilai *makespan* sebesar 358,25 jam.

Tabel 3.25 Iterasi Kelima Perusahaan Manufaktur

<i>job</i> \ mesin	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^5$	$t_{j,2}^5$
SG 1601	86	73,75
SG 1602	108,25	56,75
F 1352	30	14
F 1448	32,75	21,25
F 1513	38	16,25
F 1514	55	64
F 1567	61,5	37
F 1568	47	38
F 1569	54,75	30
F 1579	110	145
F 1590	20	13
F 1592	19	16
TE 1595	34,25	36,5
TE 1597	60,25	39,75
TE 1598	19,75	19,5
P 1572	132	189

Tabel 3.26 Total Waktu Iterasi Kelima Perusahaan Manufaktur

<i>job</i> \ mesin	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
TE 1595	5	11	16	26	34,25	39,25	49,25	52,5
F 1514	15	15	21	36	66	74	81	90
F 1579	35	58	84	110	125	145	188	229
P 1572	53	106	121	139	172	232	265	310
SG 1601	69,75	112,75	136,75	160,75	197	242	277	315
SG 1602	89	137,75	175,25	188,5	210,25	262	281,25	321
TE 1597	101	152,75	188,25	199	220	269,5	289,25	325
F 1568	122	167,75	193,25	205	220	284,5	296,25	335
F 1567	152	177,75	203,25	208,25	228,25	294,5	306,25	340,5
F 1569	162	201	211,5	214,75	238,25	297,75	314,5	345,75
F 1448	173,75	207,25	219,75	223	241,5	304,25	316,5	352
TE 1598	177	210,5	223	228	246,5	309,25	321	352
F 1513	187	218,75	234,75	234,75	254,5	315,5	323	352
F 1592	190,25	224,25	237,75	241	258,5	315,5	328,75	355
F 1352	197	229,25	247,75	251	263,5	315,5	331,25	358,25
F 1590	200	231,25	252,75	257,75	268,5	315,5	334,25	358,25

Iterasi keenam, $k = 6$

$$t_{j,1}^6 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6}$$

$$t_{j,2}^6 = t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.27.

Untuk $k = 6$ menghasilkan urutan kerja F1592 – TE1595 – F1514 – F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – TE1597 – F1567 – F1568 – F1569 – F1448 – F1513 – F1352 – TE1598 – F1590 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.28. Dari tabel 3.28 didapat nilai *makespan* sebesar 358,5 jam.

Tabel 3.27 Iterasi Keenam Perusahaan Manufaktur

$\begin{matrix} \text{mesin} \\ \text{job} \end{matrix}$	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^6$	$t_{j,2}^6$
SG 1601	96	89,5
SG 1602	128,25	94,25
F 1352	30	24
F 1448	39,25	29,5
F 1513	44,25	28
F 1514	63	69
F 1567	71,5	47
F 1568	62	43
F 1569	58	38,25
F 1579	130	171
F 1590	20	18
F 1592	19	19
TE 1595	39,25	41,5
TE 1597	67,75	52,75
TE 1598	24,75	22,75
P 1572	192	204

Tabel 3.28 Total Waktu Iterasi Keenam Perusahaan Manufaktur

mesin <i>job</i>	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
F 1592	3,25	8,75	11,75	15	19	19	24,75	27,75
TE 1595	8,25	14,75	19,75	29,75	38	43	53	56,25
F 1514	18,25	18,25	24,75	39,75	69,75	77,75	84,75	93,75
F 1579	38,25	61,25	87,25	113,25	128,25	148,25	191,25	232,25
P 1572	56,25	109,25	124,25	142,25	175,25	235,25	268,25	313,25
SG 1602	75,5	134,25	171,75	185	198,25	255,25	272,5	319,25
SG 1601	92,25	141	187,5	209,25	234,25	265,25	284,5	324,25
TE 1597	104,25	156	200,5	219,75	244	272,75	292,5	328,25
F 1567	134,25	166	210,5	223	252,25	282,75	302,5	333,75
F 1568	155,25	181	215,5	229	252,25	297,75	309,5	343,75
F 1569	165,25	204,25	223,75	232,25	262,25	301	317,75	349
F 1448	177	210,5	232	235,5	265,5	307,5	319,75	355,25
F 1513	187	218,75	243,75	243,75	273,5	313,75	321,75	355,25
F 1352	193,75	223,75	253,75	257	278,5	313,75	324,25	358,5
TE 1598	197	227	257	262	283,5	318,75	328,75	358,5
F 1590	200	229	262	267	288,5	318,75	331,75	358,5

Iterasi ketujuh, $k = 7$

$$t_{j,1}^7 = t_{j,1} + t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7}$$

$$t_{j,2}^7 = t_{j,2} + t_{j,3} + t_{j,4} + t_{j,5} + t_{j,6} + t_{j,7} + t_{j,8}$$

sehingga didapat total waktu proses seperti pada tabel 3.29.

Untuk $k = 7$ menghasilkan urutan kerja F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – F1514 – TE1597 – F1569 – F1568 – F1567 – TE1595 – F1513 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1592 – F1590 sehingga didapat total waktu seperti pada tabel 3.30.

Dari tabel 3.30 didapat nilai *makespan* sebesar 355,5 jam.

Tabel 3.29 Iterasi Ketujuh Perusahaan Manufaktur

<i>job</i> \ mesin	Total waktu proses (jam)	
	$t_{j,1}^7$	$t_{j,2}^7$
SG 1601	108	96,25
SG 1602	132,5	119,25
F 1352	32,5	29
F 1448	41,25	35,75
F 1513	46,25	36,25
F 1514	70	69
F 1567	81,5	57
F 1568	69	58
F 1569	66,25	61,5
F 1579	173	194
F 1590	23	20
F 1592	24,75	24,5
TE 1595	49,25	47,5
TE 1597	75,75	67,75
TE 1598	29,25	26
P 1572	225	252

Tabel 3.30 Total Waktu Iterasi Ketujuh Perusahaan Manufaktur

<i>job</i> \ mesin	Waktu proses (jam)							
	RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
F 1579	20	43	69	95	110	130	173	214
P 1572	38	91	106	124	157	217	250	295
SG 1602	57,25	116	153,5	166,75	180	237	254,25	301
SG 1601	74	122,75	169,25	191	216	247	266,25	306
F 1514	84	122,75	174,25	201	246	255	273,25	315
TE 1597	96	137,75	187,25	211,5	255,75	263,25	281,25	319
F 1569	106	161	195,5	214,75	265,75	269	289,5	324,25
F 1568	127	176	200,5	220,75	265,75	284	296,5	334,25
F 1567	157	186	210,5	224	274	294	306,5	339,75
TE 1595	162	192	215,5	234	282,25	299	316,5	343
F 1513	172	200,25	227,25	234	290,25	305,25	318,5	343
F 1448	183,75	206,5	235,5	238,75	293,5	311,75	320,5	349,25
F 1352	190,5	211,5	245,5	248,75	298,5	311,75	323	352,5
TE 1598	193,75	214,75	248,75	253,75	303,5	316,75	327,5	352,5
F 1592	197	220,25	251,75	257	307,5	316,75	333,25	355,5
F 1590	200	222,25	256,75	262	312,5	316,75	336,25	355,5

Nilai *makespan* untuk masing-masing iterasi tersebut disajikan seperti pada tabel 3.31. Dari ketujuh iterasi pada tabel 3.31 maka diperoleh nilai minimum *makespan* sebesar 355,5 jam pada iterasi ketujuh dengan urutan kerja *job* yaitu F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – F1514 – TE1597 – F1569 – F1568 – F1567 – TE1595 – F1513 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1592 – F1590.

Tabel 3.31 Nilai *Makespan* setiap Iterasi Perusahaan Manufaktur

Iterasi (<i>k</i>)	Nilai <i>makespan</i> (jam)
1	371,5
2	358,5
3	358,25
4	358,25
5	358,25
6	358,5
7	355,5

2. Perhitungan dengan program WinQSB

Perhitungan nilai *makespan* dalam *job scheduling* (penjadwalan kerja) juga dapat menggunakan program WinQSB untuk mendapatkan nilai yang optimal. Berikut ini merupakan *output* program WinQSB dari data di atas :

1.) Jadwal kerja pada mesin RB1 (mesin pertama)

Output WinQSB (gambar 3.2) menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin RB1 mulai jam ke-0 s.d jam ke-200. Sehingga mesin RB1 bekerja mulai tanggal 1 Nov pukul 07.00 dan selesai tanggal 20 Nov pukul 17.00.

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time	▲
1	Machine 1	F 1579	1	20	0	20	
2	Machine 1	P 1572	1	18	20	38	
3	Machine 1	SG 1602	1	19,25	38	57,25	
4	Machine 1	SG 1601	1	16,75	57,25	74	
5	Machine 1	F 1514	1	10	74	84	
6	Machine 1	TE 1597	1	12	84	96	
7	Machine 1	F 1569	1	10	96	106	
8	Machine 1	F 1568	1	21	106	127	
9	Machine 1	F 1567	1	30	127	157	
10	Machine 1	TE 1595	1	5	157	162	
11	Machine 1	F 1513	1	10	162	172	
12	Machine 1	F 1448	1	11,75	172	183,75	
13	Machine 1	F 1352	1	6,75	183,75	190,5	
14	Machine 1	TE 1598	1	3,25	190,5	193,75	
15	Machine 1	F 1592	1	3,25	193,75	197	
16	Machine 1	F 1590	1	3	197	200	

Gambar 3.2 Jadwal Kerja Mesin RB1

2.) Jadwal kerja pada mesin RB2 (mesin kedua)

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time	▲
17	Machine 2	F 1579	2	23	20	43	
18	Machine 2	P 1572	2	48	43	91	
19	Machine 2	SG 1602	2	25	91	116	
20	Machine 2	SG 1601	2	6,75	116	122,75	
21	Machine 2	F 1514	2	0	122,75	122,75	
22	Machine 2	TE 1597	2	15	122,75	137,75	
23	Machine 2	F 1569	2	23,25	137,75	161	
24	Machine 2	F 1568	2	15	161	176	
25	Machine 2	F 1567	2	10	176	186	
26	Machine 2	TE 1595	2	6	186	192	
27	Machine 2	F 1513	2	8,25	192	200,25	
28	Machine 2	F 1448	2	6,25	200,25	206,5	
29	Machine 2	F 1352	2	5	206,5	211,5	
30	Machine 2	TE 1598	2	3,25	211,5	214,75	
31	Machine 2	F 1592	2	5,5	214,75	220,25	
32	Machine 2	F 1590	2	2	220,25	222,25	

Gambar 3.3 Jadwal Kerja Mesin RB2

Output WinQSB di atas menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin RB2 mulai jam ke-20 s.d jam ke-222,25. Sehingga mesin RB2 bekerja mulai tanggal 3 Nov pukul 07.00 dan selesai tanggal 23 Nov pukul 09.15.

3.) Jadwal kerja pada mesin RB3 (mesin ketiga)

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time	▲
33	Machine 3	F 1579	3	26	43	69	
34	Machine 3	P 1572	3	15	91	106	
35	Machine 3	SG 1602	3	37,5	116	153,5	
36	Machine 3	SG 1601	3	15,75	153,5	169,25	
37	Machine 3	F 1514	3	5	169,25	174,25	
38	Machine 3	TE 1597	3	13	174,25	187,25	
39	Machine 3	F 1569	3	8,25	187,25	195,5	
40	Machine 3	F 1568	3	5	195,5	200,5	
41	Machine 3	F 1567	3	10	200,5	210,5	
42	Machine 3	TE 1595	3	5	210,5	215,5	
43	Machine 3	F 1513	3	11,75	215,5	227,25	
44	Machine 3	F 1448	3	8,25	227,25	235,5	
45	Machine 3	F 1352	3	10	235,5	245,5	
46	Machine 3	TE 1598	3	3,25	245,5	248,75	
47	Machine 3	F 1592	3	3	248,75	251,75	
48	Machine 3	F 1590	3	5	251,75	256,75	

Gambar 3.4 Jadwal Kerja Mesin RB3

Output WinQSB di atas menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin RB3 mulai jam ke-43 s.d jam ke-256,75. Sehingga mesin RB3 bekerja mulai tanggal 4 Nov pukul 10.00 dan selesai tanggal 26 Nov pukul 13.45.

4.) Jadwal kerja pada mesin RB5 (mesin keempat)

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time	▲
49	Machine 4	F 1579	4	26	69	95	
50	Machine 4	P 1572	4	18	106	124	
51	Machine 4	SG 1602	4	13,25	153,5	166,75	
52	Machine 4	SG 1601	4	21,75	169,25	191	
53	Machine 4	F 1514	4	10	191	201	
54	Machine 4	TE 1597	4	10,5	201	211,5	
55	Machine 4	F 1569	4	3,25	211,5	214,75	
56	Machine 4	F 1568	4	6	214,75	220,75	
57	Machine 4	F 1567	4	3,25	220,75	224	
58	Machine 4	TE 1595	4	10	224	234	
59	Machine 4	F 1513	4	0	234	234	
60	Machine 4	F 1448	4	3,25	235,5	238,75	
61	Machine 4	F 1352	4	3,25	245,5	248,75	
62	Machine 4	TE 1598	4	5	248,75	253,75	
63	Machine 4	F 1592	4	3,25	253,75	257	
64	Machine 4	F 1590	4	5	257	262	

Gambar 3.5 Jadwal Kerja Mesin RB5

Output WinQSB (gambar 3.5) menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin RB5 mulai jam ke-69 s.d jam ke-262. Sehingga mesin RB5 bekerja mulai tanggal 7 Nov pukul 16.00 dan selesai tanggal 27 Nov pukul 09.00.

5.) Jadwal kerja pada mesin RB6 (mesin kelima)

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time ▲
65	Machine 5	F 1579	5	15	95	110
66	Machine 5	P 1572	5	33	124	157
67	Machine 5	SG 1602	5	13,25	166,75	180
68	Machine 5	SG 1601	5	25	191	216
69	Machine 5	F 1514	5	30	216	246
70	Machine 5	TE 1597	5	9,75	246	255,75
71	Machine 5	F 1569	5	10	255,75	265,75
72	Machine 5	F 1568	5	0	265,75	265,75
73	Machine 5	F 1567	5	8,25	265,75	274
74	Machine 5	TE 1595	5	8,25	274	282,25
75	Machine 5	F 1513	5	8	282,25	290,25
76	Machine 5	F 1448	5	3,25	290,25	293,5
77	Machine 5	F 1352	5	5	293,5	298,5
78	Machine 5	TE 1598	5	5	298,5	303,5
79	Machine 5	F 1592	5	4	303,5	307,5
80	Machine 5	F 1590	5	5	307,5	312,5

Gambar 3.6 Jadwal Kerja Mesin RB6

Output WinQSB di atas menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin RB6 mulai jam ke-95 s.d jam ke-312,5. Sehingga mesin RB6 bekerja mulai tanggal 10 Nov pukul 12.00 dan selesai tanggal 2 Des pukul 09.30.

6.) Jadwal kerja pada mesin ULTRA (mesin keenam)

Output WinQSB (gambar 3.7) menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin ULTRA mulai jam ke-110 s.d jam ke-316,75. Sehingga mesin ULTRA bekerja mulai tanggal 12 Nov pukul 07.00 dan selesai tanggal 2 Des pukul 13.45.

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time ▲
81	Machine 6	F 1579	6	20	110	130
82	Machine 6	P 1572	6	60	157	217
83	Machine 6	SG 1602	6	20	217	237
84	Machine 6	SG 1601	6	10	237	247
85	Machine 6	F 1514	6	8	247	255
86	Machine 6	TE 1597	6	7,5	255,75	263,25
87	Machine 6	F 1569	6	3,25	265,75	269
88	Machine 6	F 1568	6	15	269	284
89	Machine 6	F 1567	6	10	284	294
90	Machine 6	TE 1595	6	5	294	299
91	Machine 6	F 1513	6	6,25	299	305,25
92	Machine 6	F 1448	6	6,5	305,25	311,75
93	Machine 6	F 1352	6	0	311,75	311,75
94	Machine 6	TE 1598	6	5	311,75	316,75
95	Machine 6	F 1592	6	0	316,75	316,75
96	Machine 6	F 1590	6	0	316,75	316,75

Gambar 3.7 Jadwal Kerja Mesin ULTRA

7.) Jadwal kerja pada mesin MA3 (mesin ketujuh)

03-14-2014	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time ▲
97	Machine 7	F 1579	7	43	130	173
98	Machine 7	P 1572	7	33	217	250
99	Machine 7	SG 1602	7	4,25	250	254,25
100	Machine 7	SG 1601	7	12	254,25	266,25
101	Machine 7	F 1514	7	7	266,25	273,25
102	Machine 7	TE 1597	7	8	273,25	281,25
103	Machine 7	F 1569	7	8,25	281,25	289,5
104	Machine 7	F 1568	7	7	289,5	296,5
105	Machine 7	F 1567	7	10	296,5	306,5
106	Machine 7	TE 1595	7	10	306,5	316,5
107	Machine 7	F 1513	7	2	316,5	318,5
108	Machine 7	F 1448	7	2	318,5	320,5
109	Machine 7	F 1352	7	2,5	320,5	323
110	Machine 7	TE 1598	7	4,5	323	327,5
111	Machine 7	F 1592	7	5,75	327,5	333,25
112	Machine 7	F 1590	7	3	333,25	336,25

Gambar 3.8 Jadwal Kerja Mesin MA3

Output WinQSB di atas menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin MA3 mulai jam ke-130 s.d jam ke-336,25. Sehingga mesin MA3 bekerja mulai tanggal 14 Nov pukul 07.00 dan selesai tanggal 4 Des pukul 13.15.

8.) Jadwal kerja pada mesin Robot (mesin kedelapan)

113	Machine 8	F 1579	8	41	173	214
114	Machine 8	P 1572	8	45	250	295
115	Machine 8	SG 1602	8	6	295	301
116	Machine 8	SG 1601	8	5	301	306
117	Machine 8	F 1514	8	9	306	315
118	Machine 8	TE 1597	8	4	315	319
119	Machine 8	F 1569	8	5,25	319	324,25
120	Machine 8	F 1568	8	10	324,25	334,25
121	Machine 8	F 1567	8	5,5	334,25	339,75
122	Machine 8	TE 1595	8	3,25	339,75	343
123	Machine 8	F 1513	8	0	343	343
124	Machine 8	F 1448	8	6,25	343	349,25
125	Machine 8	F 1352	8	3,25	349,25	352,5
126	Machine 8	F 1592	8	3	352,5	355,5
127	Machine 8	TE 1598	8	0	352,5	352,5
128	Machine 8	F 1590	8	0	355,5	355,5
		Cmax =	355,5	MC =	324,9688	Wmax = 332,5
		MW =	237,8594	Fmax =	355,5	MF = 324,9688
		Lmax =	0	ML =	-281,2813	Emax = 386
		ME =	281,2813	Tmax =	0	MT = 0
		NT =	0	WIP =	14,6259	MU = 0,4901
		TJC =	0	TMC =	0	TC = 0
		Solved by	CDS			Criterion: Cmax

Gambar 3.9 Jadwal Kerja Mesin Robot

Output WinQSB di atas menunjukkan bahwa waktu kerja produksi mesin Robot mulai jam ke-173 s.d jam ke-355,5. Sehingga mesin Robot bekerja mulai tanggal 18 Nov pukul 10.00 dan selesai tanggal 6 Des pukul 12.30.

Nilai *makespan* dari program WinQSB sama dengan metode *campbell dudek smith* yaitu 355,5 jam. *Output* di atas bertujuan untuk mempermudah membuat jadwal mesin dilihat dari masing-masing mesin. Kedelapan jadwal mesin di atas maka menghasilkan waktu operasi mesin dan waktu operasi *job* sebagai berikut.

Tabel 3.32 Waktu Operasi Mesin Perusahaan Manufaktur

No.	Mesin	Waktu Mulai		Waktu Selesai	
		Tanggal	Jam	Tanggal	Jam
1	RB1	1 November	07:00	20 November	17:00
2	RB2	3 November	07:00	23 November	09:15
3	RB3	5 November	10:00	26 November	13:45
4	RB5	7 November	16:00	27 November	09:00
5	RB6	10 November	12:00	2 Desember	09:30
6	ULTRA	12 November	07:00	2 Desember	13:45
7	MA3	14 November	07:00	4 Desember	13:15
8	ROBOT	18 November	10:00	6 Desember	12:30

Tabel 3.33 Waktu Operasi *Job* Perusahaan Manufaktur

No.	<i>Job</i>	Waktu Mulai		Waktu Selesai	
		Tanggal	Jam	Tanggal	Jam
1	F 1579	1 November	07:00	22 November	11:00
2	P 1572	3 November	07:00	30 November	12:00
3	SG 1602	4 November	15:00	1 Desember	08:00
4	SG 1601	6 November	14:15	1 Desember	13:00
5	F 1514	8 November	11:00	2 Desember	12:00
6	TE 1597	9 November	11:00	2 Desember	16:00
7	F 1569	10 November	13:00	3 Desember	11:15
8	F 1568	11 November	13:00	4 Desember	11:15
9	F 1567	13 November	14:00	4 Desember	16:45
10	TE 1595	16 November	14:00	5 Desember	10:00
11	F 1513	17 November	09:00	2 Desember	15:30
12	F 1448	18 November	09:00	5 Desember	16:15
13	F 1352	19 November	10:45	6 Desember	09:30
14	TE 1598	20 November	07:30	3 Desember	14:30
15	F 1592	20 November	10:45	6 Desember	12:30
16	F 1590	20 November	14:00	4 Desember	13:15

Dari tabel 3.32 dan 3.33 maka dapat dihasilkan jadwal operasi mesin sebagai berikut.

Tabel 3.34 Jadwal Operasi Mesin Produksi Perusahaan Manufaktur

mesin tanggal		RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
N o v e m b e r	1	F1579							
	2	F1579							
	3	P1572	F1579						
	4	P1572 SG1602	F1579						
	5	SG1602	F1579 P1572	F1579					
	6	SG1602 SG1601	P1572	F1579					
	7	SG1601	P1572	F1579	F1579				
	8	SG1601 F1514	P1572		F1579				
	9	F 1514 TE1597	P1572		F1579				
	10	TE 1597 F1569	P1572 SG1602	P1572	F1579	F1579			
	11	F1569 F1568	SG1602	P1572	P1572	F1579			
	12	F1568	SG1602 SG601	SG 1602	P1572		F1579		
	13	F1568 F1567	SG1601 F1514 TE1597	SG 1602	P1572	P1572	F1579		
	14	F1567	TE 1597 F1569	SG 1602		P1572		F1579	
	15	F1567	F1569	SG 1602		P1572		F1579	

16	F1567 TE1595	F1569	SG 1602 SG1601	SG1602	P1572	P1572	F1579	
17	TE1595 F1513	F1569 F1568	SG1601 F1514	SG1602 SG1601	SG1602	P1572	F1579	
18	F1513 F1448	F1568 F1567	F 1514 TE1597		SG1602	P1572	F1579	F1579
19	F1448 F1352	F1567 TE1595	TE 1597 F1569			P1572		F1579
20	F1352 TE1598 F1592 F1590	TE1595 F1513	F1569 F1568	SG1601 F1514	SG1601	P1572		F1579
21		F1513 F1448 F1352	F1568 F1567	F 1514 TE1597	SG1601	P1572		F1579
22		F1352 F1592	F1567 TE1595 F1513	TE 1597 F1569 F1568	SG1601 F1514	P1572 SG1602	P1572	F1579
23		F1592 F1590	F1513 F1448	F1568 F1567 F1595	F1514	SG1602	P1572	
24			F1448 F1352	F1595 F1513 F1448	F1514	SG1602 SG1601	P1572	
25			F1352 TE1598 F1592	F1352 TE1598 F1592	F1514 TE1597	SG1601 F1514	P1572	
26			F1592 F1590	TE1598 F1592 F1590	TE 1597 F1569	F1514 TE1597	SG1602 SG1601	P1572
27				F1590	F1569 F1568 F1567	TE1597 F1569 F1568	SG1601 F1514	P1572
28					F1567 TE1595	F1568	F1514 TE1597	P1572
29					TE1595 F1513	F1568 F1567	TE1597 F1569 F1568	P1572
30					F1513	F1567	F1568	P1572

						F1448 F1352 TE1598	TE1595 F1513	F1567	SG1602
D e s e m b e r	1					TE1598 F1592 F1590	F1513 F1448	F1567 TE1595	SG1602 SG1601 F1514
	2					F1590	F1448 F1352 F1592 F1590	TE1595 F1513 F1448	F1514 TE1597 F1569
	3							F1448 F1352 TE1598 F1592	F1569 F1568
	4							F1592 F1590	F1568 F1567 TE1595
	5								TE1595 F1513 F1448 F1352
	6								F1352 F1592 TE1598 F1590

BAB IV

PENUTUP

A. Kesimpulan

Berdasarkan pembahasan sebelumnya, maka dapat diambil kesimpulan sebagai berikut:

- 1) Mesin produksi pada perusahaan manufaktur tersebut mempunyai urutan kerja yaitu RB1 – RB2 – RB3 – RB5 – RB6 – ULTRA – MA3 – ROBOT sehingga dapat digunakan metode *CDS* untuk penjadwalannya. Penjadwalan mesin produksi dengan metode *CDS* pada perusahaan manufaktur menghasilkan tujuh *iterasi*. *Iterasi* pertama menghasilkan nilai *makespan* sebesar 371,5 jam dengan urutan kerja P1572 – F1579 – F1568 – F1514 – F1448 – SG1602 – F1567 – F1569 – SG1601 – TE1597 – TE1595 – F1352 – F1592 – F1590 – TE1598 – F1513. *Iterasi* kedua menghasilkan nilai *makespan* sebesar 358,5 jam dengan urutan kerja F1592 – F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – SG1601 – F1568 – F1567 – F1569 – TE1597 – SG1602 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1590 – F1513. *Iterasi* ketiga menghasilkan nilai *makespan* sebesar 358,25 jam dengan urutan kerja F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – F1568 – SG1602 – SG1601 – F1567 – TE1597 – F1569 – F1448 – TE1598 – F1592 – F1513 – F1352 – F1590. *Iterasi* keempat menghasilkan nilai *makespan* sebesar 358,25 jam dengan urutan kerja F1514 – TE1595 – F1579 – P1572 – SG1601 – SG1602 – F1567 – F1568 – TE1597 – F1569 – F1448 – F1513 – TE1598 – F1592 – F1352 – F1590. *Iterasi* kelima menghasilkan nilai

makespan sebesar 358,25 jam dengan urutan kerja TE1595 – F1514 – F1579 – P1572 – SG1601 – SG1602 – TE1597 – F1568 – F1567 – F1569 – F1448 – TE1598 – F1513 – F1592 – F1352 – F1590. *Iterasi* keenam menghasilkan nilai *makespan* sebesar 358,5 jam dengan urutan kerja F1592 – TE1595 – F1514 – F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – TE1597 – F1567 – F1568 – F1569 – F1448 – F1513 – F1352 – TE1598 – F1590. *Iterasi* ketujuh menghasilkan nilai *makespan* sebesar 355,5 jam dengan urutan kerja F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – F1514 – TE1597 – F1569 – F1568 – F1567 – TE1595 – F1513 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1592 – F1590. Dari ketujuh iterasi tersebut maka diperoleh nilai minimal *makespan* sebesar 355,5 jam pada iterasi ketujuh dengan urutan kerja *job* yaitu F1579 – P1572 – SG1602 – SG1601 – F1514 – TE1597 – F1569 – F1568 – F1567 – TE1595 – F1513 – F1448 – F1352 – TE1598 – F1592 – F1590.

- 2) Penjadwalan mesin produksi dengan menggunakan metode *CDS* pada perusahaan manufaktur menghasilkan jadwal yang optimal mulai tanggal 1 November 2013 sampai dengan 6 Desember 2013 (lampiran 4:75).

B. Saran

Pada penelitian selanjutnya disarankan untuk membahas optimasi penjadwalan mesin produksi dengan metode *CDS*, jika:

1. Pengambilan data waktu kerja dengan memperhatikan *due date*.
2. Mengambil kasus pada perusahaan selain bidang manufaktur.
3. Terdapat *job* baru yang masuk sehingga harus melakukan penjadwalan ulang.

DAFTAR PUSTAKA

- Aryetta, Rizky. (2007). *Penjadwalan Mesin Dengan Metode CDS (Campbell, Dudek & Smith) dan Metode Palmer pada Bagian Casing Shop di PT Indonesia Asahan Alumunium (INALUM)*, Karya Akhir. Medan: Universitas Sumatera Utara.
- Azwar, Saifuddin. (2004). *Metode Penelitian*. Yogyakarta: Pustaka Pelajar, cetakan V.
- Baker, Kenneth R., Trietsch. (2009). *Principles of Sequencing and Scheduling*. America : John Wiley & Sons, Inc.
- Bedworth, David D. & Cao, Jing. (2002). *Flow Shop Scheduling in Serial Multi-Product Processes With Transfer and set-up Times*. USA: Department of Industrial Engineering, Arizona State University.
- Berlianty, Arifin. (2002). *Teknik-Teknik Optimasi Heuristik*. ISBN : 987-979-756-625-8.
- Bryson, John M., Alston, Farnum K. (2005). *Creating and Implementing Your Strategic Plan*. San Fransisco: Jossey-Bass.
- Christianta, Yudit, Sunarni, Theresia. (2012). *Usulan Penjadwalan Produksi dengan Metode Campbell Dudek and Smith*. Seminar Nasional Teknologi Informasi dan Komunikasi Terapan. Semarang: Teknik Industri Sekolah Tinggi Teknik Musi.
- Conway, Richard W., Maxwell, William L., Miller, Louis W. (2001). *Theory of Scheduling*. America : Addison-Wesley Publishing Company.
- Ginting, Rosnani. (2009). *Penjadwalan Mesin*. Yogyakarta: Graha Ilmu.
- Herjanto, Eddy. (2008). *Manajemen Operasi*. Jakarta : Grasindo.
- Kusuma, Hendra. (2002). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Yogyakarta : ANDI.
- Morton, Thomas E., Pentico, David W. (2001). *Heuristic Scheduling Systems*. Canada: John Wiley & Sons, Inc.
- Nasution, Arman Hakim. (1992). *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*. Surabaya.
- Pamungkas, Catur Sabda. (2008). *Penjadwalan Produksi dengan Menggunakan Metode Campbell Dudek and Smith untuk Meminimasi Waktu Produksi*. Tugas Akhir. Malang: Universitas Muhammadiyah Malang.
- Pinedo, Michael L.(2005). *Planning and Scheduling in Manufacturing and Services*. New York, USA.
- Pinedo, Michael L. (2008). *Scheduling Theory, Algorithms, and System*. New York : Prentice Hall.

- Smith, Campbell, Dudek . (1970). *A Heuristic Algorithm for The n Job, m machine Sequencing Problem*. USA.
- Uher, Thomas E. (2003). *Programming and Scheduling Techniques* . University of New South Wales Press Ltd.
- Uttari, Satria. (2008). *Produk Main Frame Pada Mesin Punch Exentrik di PT Beton Perkasa Wijaksana*. Fakultas Teknik Universitas Pembangunan Nasional. Jakarta.

LAMPIRAN

Lampiran 1

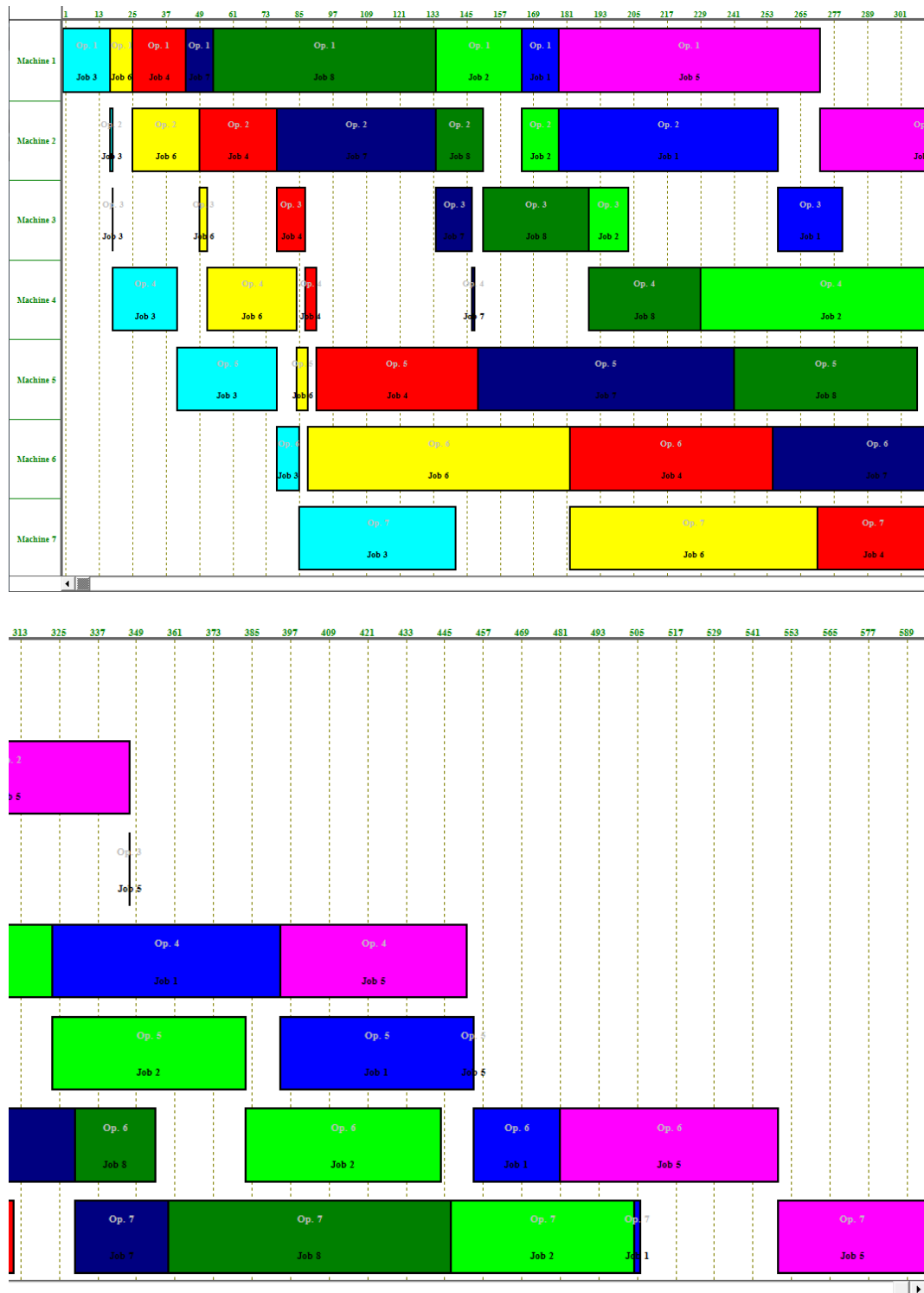
Output WinQSB dari 8 job dan 7 Mesin

12-03-2013	Machine	Job	Operation	Process Time	Start Time	Finish Time	▲
1	Machine 1	Job 3	1	17	0	17	
2	Machine 1	Job 6	1	8	17	25	
3	Machine 1	Job 4	1	19	25	44	
4	Machine 1	Job 7	1	10	44	54	
5	Machine 1	Job 8	1	80	54	134	
6	Machine 1	Job 2	1	31	134	165	
7	Machine 1	Job 1	1	13	165	178	
8	Machine 1	Job 5	1	94	178	272	
9	Machine 2	Job 3	2	1	17	18	
10	Machine 2	Job 6	2	24	25	49	
11	Machine 2	Job 4	2	28	49	77	
12	Machine 2	Job 7	2	57	77	134	
13	Machine 2	Job 8	2	17	134	151	
14	Machine 2	Job 2	2	13	165	178	
15	Machine 2	Job 1	2	79	178	257	
16	Machine 2	Job 5	2	75	272	347	
17	Machine 3	Job 3	3	0	18	18	
18	Machine 3	Job 6	3	3	49	52	
19	Machine 3	Job 4	3	10	77	87	
20	Machine 3	Job 7	3	13	134	147	
21	Machine 3	Job 8	3	38	151	189	
22	Machine 3	Job 2	3	14	189	203	
23	Machine 3	Job 1	3	23	257	280	
24	Machine 3	Job 5	3	0	347	347	
25	Machine 4	Job 3	4	23	18	41	
26	Machine 4	Job 6	4	32	52	84	
27	Machine 4	Job 4	4	4	87	91	
28	Machine 4	Job 7	4	1	147	148	
29	Machine 4	Job 8	4	40	189	229	
30	Machine 4	Job 2	4	94	229	323	
31	Machine 4	Job 1	4	71	323	394	
32	Machine 4	Job 5	4	58	394	452	
33	Machine 5	Job 3	5	36	41	77	
34	Machine 5	Job 6	5	4	84	88	
35	Machine 5	Job 4	5	58	91	149	▼

35	Machine 5	Job 4	5	58	91	149
36	Machine 5	Job 7	5	92	149	241
37	Machine 5	Job 8	5	66	241	307
38	Machine 5	Job 2	5	60	323	383
39	Machine 5	Job 1	5	60	394	454
40	Machine 5	Job 5	5	0	454	454
41	Machine 6	Job 3	6	8	77	85
42	Machine 6	Job 6	6	94	88	182
43	Machine 6	Job 4	6	73	182	255
44	Machine 6	Job 7	6	75	255	330
45	Machine 6	Job 8	6	25	330	355
46	Machine 6	Job 2	6	61	383	444
47	Machine 6	Job 1	6	27	454	481
48	Machine 6	Job 5	6	68	481	549
49	Machine 7	Job 3	7	86	85	171
50	Machine 7	Job 6	7	89	182	271
51	Machine 7	Job 4	7	40	271	311
52	Machine 7	Job 7	7	29	330	359
53	Machine 7	Job 8	7	88	359	447
54	Machine 7	Job 2	7	57	447	504
55	Machine 7	Job 1	7	2	504	506
56	Machine 7	Job 5	7	46	549	595
	Cmax =	595	MC =	395,5	Wmax =	254
	MW =	116,25	Fmax =	595	MF =	395,5
	Lmax =	595	ML =	395,5	Emax =	0
	ME =	0	Tmax =	595	MT =	395,5
	NT =	8	WIP =	5,3176	MU =	0,5364
	TJC =	0	TMC =	0	TC =	0
	Solved by	CDS			Criterion:	Cmax

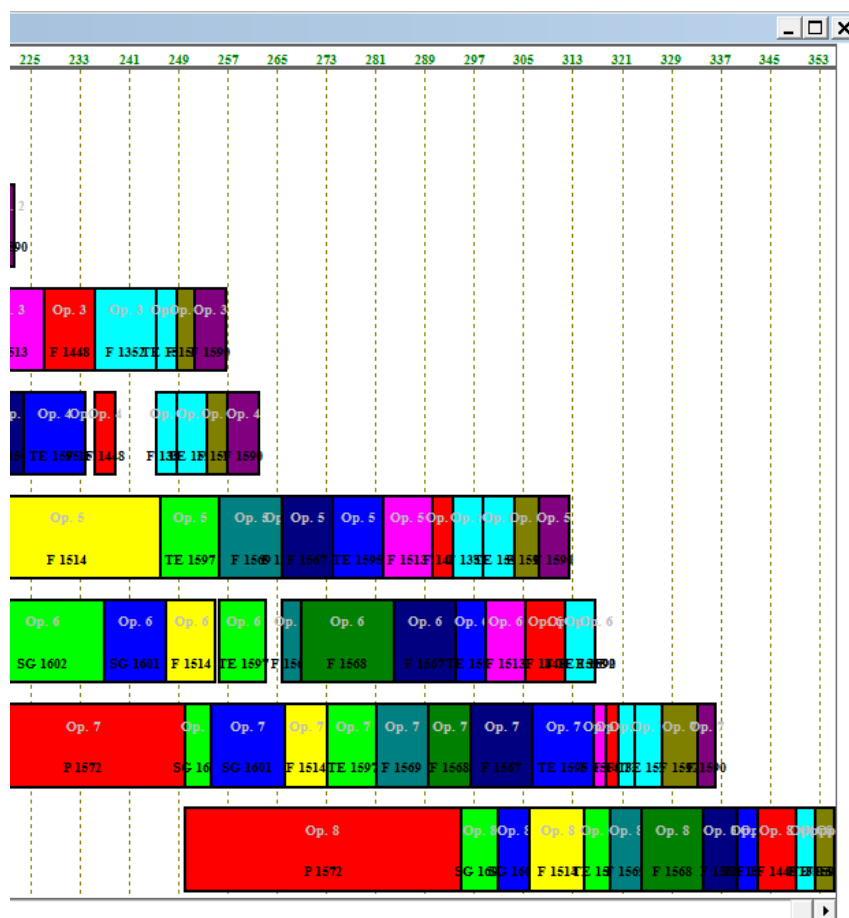
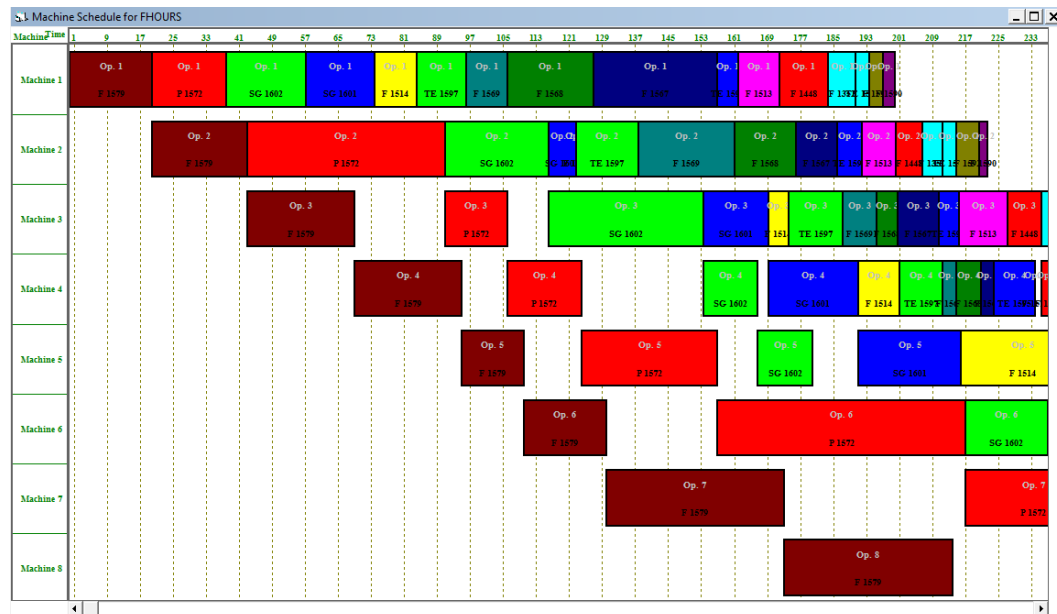
Lampiran 2

Hasil Penjadwalan 8 job 7 mesin dalam *Gantt Chart*



Lampiran 3

Hasil Penjadwalan Mesin Produksi di Perusahaan Manufaktur



Lampiran 4

Jadwal Operasi Mesin Produksi Yang Diterapkan Oleh Perusahaan Manufaktur

mesin tanggal		RB1	RB2	RB3	RB5	RB6	ULTRA	MA3	ROBOT
N o v e m b e r	1	F1579							
	2	F1579							
	3	P1572	F1579						
	4	P1572 SG1602	F1579						
	5	SG1602	F1579 P1572	F1579					
	6	SG1602 SG1601	P1572	F1579					
	7	SG1601	P1572	F1579	F1579				
	8	SG1601 F1514	P1572		F1579				
	9	F 1514 TE1597	P1572		F1579				
	10	TE 1597 F1569	P1572 SG1602	P1572	F1579	F1579			
	11	F1569 F1568	SG1602	P1572	P1572	F1579			
	12	F1568	SG1602 SG601	SG 1602	P1572		F1579		
	13	F1568 F1567	SG1601 F1514 TE1597	SG 1602	P1572	P1572	F1579		
	14	F1567	TE 1597 F1569	SG 1602		P1572		F1579	
	15	F1567	F1569	SG 1602		P1572		F1579	
	16	F1567 TE1595	F1569	SG 1602	SG1602	P1572	P1572	F1579	

			SG1601					
17	TE1595 F1513	F1569 F1568	SG1601 F1514	SG1602 SG1601	SG1602	P1572	F1579	
18	F1513 F1448	F1568 F1567	F 1514 TE1597		SG1602	P1572	F1579	F1579
19	F1448 F1352	F1567 TE1595	TE 1597 F1569			P1572		F1579
20	F1352 TE1598 F1592 F1590	TE1595 F1513	F1569 F1568	SG1601 F1514	SG1601	P1572		F1579
21		F1513 F1448 F1352	F1568 F1567	F 1514 TE1597	SG1601	P1572		F1579
22		F1352 F1592	F1567 TE1595 F1513	TE 1597 F1569 F1568	SG1601 F1514	P1572 SG1602	P1572	F1579
23		F1592 F1590	F1513 F1448	F1568 F1567 F1595	F1514	SG1602	P1572	
24			F1448 F1352	F1595 F1513 F1448	F1514	SG1602 SG1601	P1572	
25			F1352 TE1598 F1592	F1352 TE1598 F1592	F1514 TE1597	SG1601 F1514	P1572	
26			F1592 F1590	TE1598 F1592 F1590	TE 1597 F1569	F1514 TE1597	SG1602 SG1601	P1572
27				F1590	F1569 F1568 F1567	TE1597 F1569 F1568	SG1601 F1514	P1572
28					F1567 TE1595	F1568	F1514 TE1597	P1572
29					TE1595 F1513	F1568 F1567	TE1597 F1569 F1568	P1572
30					F1513 F1448 F1352	F1567 TE1595 F1513	F1568 F1567	P1572 SG1602

						TE1598			
D e c e m b e r	1					TE1598 F1592 F1590	F1513 F1448	F1567 TE1595	SG1602 SG1601 F1514
	2					F1590	F1448 F1352 F1592 F1590	TE1595 F1513 F1448	F1514 TE1597 F1569
	3							F1448 F1352 TE1598 F1592	F1569 F1568
	4							F1592 F1590	F1568 F1567 TE1595
	5								TE1595 F1513 F1448 F1352
	6								F1352 F1592 TE1598 F1590

Lampiran 5

Proses pengerjaan pada setiap mesin

- RB1 : pengerjaan awal dengan program 2 dimensi fokus pada *base* dudukan *part dies* sisi permukaan atas.
- RB2 : pengerjaan awal dengan program 2 dimensi fokus pada *base* dudukan *part dies* sisi permukaan dasar.
- RB3 : pengerjaan *kontur part dies* dengan pisau vertikal menggunakan program 3 dimensi. Pengerjaan awal untuk *base* / dudukan *dies* sisi permukaan atas menggunakan program 2 dimensi.
- RB5 : pengerjaan *kontur part dies* dengan pisau vertikal dan menyudut dengan menggunakan program 3 dimensi.
- RB6 : pengerjaan *kontur part dies* dengan pisau vertikal dengan menggunakan program 3 dimensi.
- ULTRA : pengerjaan *kontur part dies* dengan menggunakan program 3 dimensi. Pengerjaan profil *part dies* menggunakan program 2 dimensi.
- MA3 : pengerjaan *kontur part dies* ukuran kecil menggunakan program 3 dimensi. Pengerjaan profil *part dies* ukuran kecil menggunakan program 2 dimensi.
- ROBOT : pengerjaan profil *part dies* ukuran kecil menggunakan program 2 dimensi.

Lampiran 6

Proses yang dilakukan pada setiap *job*

SG1601	: <i>dies</i> untuk proses pemotongan datar / rata keseluruhan luasan pelat.
SG1602	: <i>dies</i> untuk proses pembengkokan pelat hasil potongan datar.
F1352	: <i>dies</i> untuk proses pembentukan kontur pelat.
F1448	: <i>dies</i> untuk proses pelubangan pelat.
F1513	: <i>dies</i> untuk proses pemotongan dan pelubangan pelat.
F1514	: <i>dies</i> untuk proses pembengkokan pelat sisi tertentu pelat.
F1567	: <i>dies</i> untuk proses pemotongan datar / rata pada bagian tertentu pelat.
F1568	: <i>dies</i> untuk proses pembentukan awal pelat.
F1569	: <i>dies</i> untuk proses pembengkokan dan pelubangan pelat.
F1679	: <i>dies</i> untuk proses pemotongan kecil pelat.
F1590	: <i>dies</i> untuk proses pelubangan pelat kondisi datar.
F1592	: <i>dies</i> untuk proses pelubangan pelat kondisi berkontur.
TE1595	: <i>dies</i> untuk proses pembentukan kontur keseluruhan luasan pelat.
TE1597	: <i>dies</i> untuk proses penekanan ulang bentuk kontur pelat.
TE1598	: <i>dies</i> untuk proses pelubangan pelat dan pembentukan lanjutan.
P1572	: <i>dies</i> untuk proses lanjutan pembentukan kontur pelat.