



TUGAS AKHIR – TI 184833

**SIMULASI PENJADWALAN PRODUKSI *MULTI-PRODUCT*, *MULTI-STAGE*,
DAN *MULTI-MACHINE* DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN
*DISCRETE-EVENT***

SALSA SHAUMA JADIDA

NRP. 02411640000091

DOSEN PEMBIMBING:

Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



TUGAS AKHIR – TI 184833

**SIMULASI PENJADWALAN PRODUKSI *MULTI-PRODUCT*, *MULTI-STAGE*,
DAN *MULTI-MACHINE* DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN
*DISCRETE-EVENT***

SALSA SHAUMA JADIDA

NRP. 02411640000091

DOSEN PEMBIMBING:

Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM

INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER

SURABAYA

2020



FINAL PROJECT – TI 184833

SIMULATION OF MULTI-PRODUCT, MULTI-STAGE, AND MULTI-MACHINE PRODUCTION SCHEDULING USING DISCRETE-EVENT MODELLING APPROACH

SALSA SHAUMA JADIDA

NRP. 02411640000091

SUPERVISOR:

Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

DEPARTMENT OF SYSTEMS AND INDUSTRIAL ENGINEERING
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER
SURABAYA

2020

LEMBAR PENGESAHAN
SIMULASI PENJADWALAN PRODUKSI *MULTI-PRODUCT, MULTI-STAGE, DAN MULTI-MACHINE* DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN *DISCRETE-EVENT*
TUGAS AKHIR


Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Teknik
Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem
Institut Teknologi Sepuluh Nopember
Surabaya

Oleh:

SALSA SHAUMA JADIDA

NRP 024 1164 0000091

Disetujui oleh Dosen Pembimbing Tugas Akhir:


Niniet Indah Arvitrida S.T., M.T., Ph.D.

NIP. 198407062009122007

SURABAYA, AGUSTUS 2020



SIMULASI PENJADWALAN PRODUKSI *MULTI-PRODUCT*, *MULTI-STAGE*, DAN *MULTI-MACHINE* DENGAN PENDEKATAN PEMODELAN *DISCRETE-EVENT*

Nama: Salsa Shauma Jadida

NRP: 0241164000091

Pembimbing: Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D

ABSTRAK

Penjadwalan produksi merupakan salah satu permasalahan utama pada industri manufaktur. Penjadwalan produksi penting untuk diperhatikan karena memiliki dampak pada banyak aspek dan dapat mempengaruhi kinerja sistem produksi. Objek amatan penelitian ini adalah produsen kemasan kosmetik berbahan plastik yang memiliki *multi-product*, *multi-stage*, dan *multi-machine*. Permasalahan yang ditemukan pada sistem produksi objek amatan yaitu terdapat banyak keterlambatan penyelesaian *job* dan *flow time job* melebihi 14 hari. Permasalahan muncul karena *dispatching rules* yang dipakai saat ini yaitu *Earliest Due Date* belum bisa meminimalkan *job waiting time*. *Job waiting time* berpengaruh terhadap ketepatan waktu penyelesaian *job* dan *job flow time*. Pada penelitian ini, penyelesaian permasalahan memakai pendekatan *discrete-event simulation*. Penggunaan *discrete-event simulation* karena ingin memodelkan sistem antrean pada rantai produksi objek amatan. Tahapan yang dilakukan adalah membuat model konseptual, membuat model simulasi, verifikasi dan validasi model, pembuatan desain skenario, eksperimen model simulasi, dan analisis hasil eksperimen. Skenario simulasi yang dipilih adalah *dispatching rules Shortest Processing Time (SPT)*, *Job with Similar Setup and Shortest Processing Time (JSPT)*, dan *Job with Similar Setup and Earliest Due Date (JEDD)*. Dari hasil perbandingan skenario didapatkan bahwa skenario terbaik adalah *dispatching rules SPT* dengan penurunan jumlah *tardy job* dari 13,85% menjadi 13,70% atau penurunan sebesar 1,08% dan penurunan *mean flow time* dari 150,62 jam menjadi 138,96 jam atau penurunan sebesar 7,74%. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa penelitian ini mampu mencapai tujuan yaitu membuat model simulasi untuk penjadwalan produksi yang mempertimbangkan *variability* dan *interdependency* dalam sistem, serta dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan *mean flow time*.

Kata kunci: *discrete-event simulation*, penjadwalan produksi, *dispatching rules*, *tardy job*, *mean flow time*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

SIMULATION OF MULTI-PRODUCT, MULTI-STAGE, AND MULTI-MACHINE PRODUCTION SCHEDULING USING DISCRETE-EVENT MODELLING APPROACH

Name: Salsa Shauma Jadida

NRP: 0241164000091

Supervisor: Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D

ABSTRACT

Production scheduling is one of the main problems in the manufacturing industry. It is important to pay attention to the impact on many aspects and its effects on production system performance. The object of this research is a plastic cosmetic packaging manufacturer that has multi-product, multi-stage, and multi-machine. The main problem found in the observed object production system is that there are a lot of delays in completing jobs and the job flow time exceeds 14 days. The problem arises because the dispatching rules currently in use, namely Earliest Due Date, have not been able to minimize job waiting time. Job waiting time affects the timeliness of job completion and job flow time. This research focuses on utilizing discrete-event simulation approach for solving the problems. This approach is used to model the queue system on the production floor of the observed object. The steps taken are making conceptual models, making simulation models, verifying and validating models, making scenario designs, simulating experimental models, and analyzing experimental results. The simulation scenarios chosen are dispatching rules Shortest Processing Time (SPT), Job with Similar Setup and Shortest Processing Time (JSPT), and Job with Similar Setup and Earliest Due Date (JEDD). From the experiment, it is found that the best scenario is SPT dispatching rules, resulting in tardy jobs reduction from 13.85% to 13.70% (1.08% decrement) and mean flow time reduction from 150.62 hours to 138.96 hours (7.74% decrement). Therefore, it can be concluded that this study was able to achieve the goal of creating a simulation model for production scheduling that considers variability and interdependency in the system, and minimizing the number of tardy jobs and mean flow time.

Keywords: *discrete-event simulation, production scheduling, dispatching rules, tardy job, mean flow time*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Allah SWT Tuhan Yang Maha Esa atas rahmat, taufiq, dan hidayah-Nya, penulisan tugas akhir yang dilakukan oleh penulis dengan judul “Simulasi Penjadwalan Produksi *Multi-Product, Multi-Stage, dan Multi-Machine* dengan Pendekatan Pemodelan *Discrete-Event*” dapat diselesaikan tepat pada waktunya dan berjalan dengan lancar. Penelitian ini dilakukan untuk memenuhi persyaratan kelulusan program studi S1 dan untuk mendapatkan Gelar Sarjana Departemen Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya.

Selama pelaksanaan dan penulisan laporan tugas akhir ini, penulis telah mendapatkan banyak bantuan, pengarahan, dan dukungan dari pihak-pihak terkait. Oleh karena itu, pada kesempatan ini, penulis ingin mengungkapkan rasa terima atas segala hal yang telah diberikan dalam rangka selesainya penelitian tugas akhir ini, kepada:

1. Ibu Niniet Indah Arvitrida, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah meluangkan waktu, memberikan masukan, motivasi, kritik, dan saran kepada penulis selama penulisan laporan tugas akhir ini.
2. Bapak Djainul Abidin selaku pembimbing eksternal penulis pada objek amatan, serta Bapak Mochammad Solikin, Bapak Agus Supriyadi, Ibu Ernie Kusriwati, Mbak Alfia Khairani, dan Mbak Novi yang telah bersedia memberikan informasi yang berguna bagi laporan tugas akhir ini.
3. Bapak Prof. Ir. Suparno, MSIE., Ph. D., Prof. Dr. Ir. I Nyoman Pujawan, MEng, Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T., Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D., dan Ibu Nani Kurniati, ST, MT., Ph.D., selaku dosen penguji seminar proposal dan sidang tugas akhir yang telah meluangkan waktu untuk menguji dan memberikan saran serta perbaikan untuk laporan tugas akhir ini.
4. Beasiswa Unggulan Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan yang telah memberikan bantuan dana pendidikan dan penelitian sehingga kegiatan perkuliahan dan penulisan laporan tugas akhir ini dapat berjalan lancar.

5. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D. selaku kepala departemen Teknik Sistem dan Industri ITS.
6. Bapak Heri Mustofa dan Ibu Yeny Ruliani, selaku kedua orang tua penulis, serta saudara kandung penulis, Pradanita Rahma Jadida, Muhammad Ruhul Jadid, dan Fatih Ahmad Jadid, yang senantiasa memberikan dukungan, semangat, serta doa yang luar biasa.
7. Ahmad Fahmi Pratama, selaku teman dekat penulis yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan doa selama menjalani perkuliahan di Teknik Sistem dan Industri ITS.
8. Shafa Amelia, Indriyani R, Amelia Isnief, Latifah Salsabila, Rahmadilah W, Maria Ulfa, Denty Rosari Astamiar, Ailsa Amanda, Luluk Nur Faizah, Ratna Vimala Devi, dan seluruh teman-teman Teknik Sistem dan Industri ITS angkatan 2016 (ADHIGANA) yang telah memberikan dukungan, bantuan, dan motivasi bagi penulis selama masa perkuliahan.

Laporan tugas akhir ini tidak luput dari kesalahan, apabila dalam penulisan laporan terdapat kesalahan, penulis mohon maaf yang sebesar-besarnya. Masukan dan kritik sangat penulis harapkan untuk membuat penulis menjadi lebih baik. Penulis berharap agar laporan tugas akhir ini bermanfaat bagi semua yang membutuhkan.

Surabaya, Agustus 2020

Penulis

DAFTAR ISI

ABSTRAK	i
<i>ABSTRACT</i>	iii
KATA PENGANTAR	v
DAFTAR ISI	vii
DAFTAR TABEL	ix
DAFTAR GAMBAR	xi
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Perumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Manfaat	6
1.5 Ruang Lingkup Penelitian	6
1.5.1 Batasan	6
1.5.2 Asumsi	7
1.6 Sistematika Penulisan	8
BAB II TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Sistem Perencanaan Produksi	11
2.1.1 <i>Manufacturing Planning and Control (MPC) System</i>	11
2.1.2 <i>Production Activity Control (PAC)</i>	14
2.1.3 Penjadwalan Produksi	15
2.1.4 <i>Dispatching Rules</i>	16
2.1.5 Model Matematis dalam Penjadwalan Produksi	18
2.1.6 Istilah dalam Penjadwalan Produksi	18
2.2 Simulasi	19
2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu	21
BAB III METODOLOGI PENELITIAN	23
3.1 Pengumpulan Data	25
3.2 Pengolahan Data	25
3.3 Pembuatan Model Konseptual	26
3.3.1 Komponen Model Konseptual	27
3.3.2 Validasi Model Konseptual	28

3.4	Pembuatan Model Simulasi dan Rancangan Skenario	29
3.4.1	Pembuatan Model Simulasi	29
3.4.2	Verifikasi Model Simulasi	29
3.4.3	Validasi Model Simulasi.....	30
3.4.4	Pembuatan Desain Skenario	31
3.4.5	Analisis <i>Output</i>	33
BAB IV PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL.....		35
4.1	Pengumpulan Data	35
4.1.1	Perencanaan Produksi dan Alur Proses Produksi.....	35
4.1.2	Mesin pada Lantai Produksi.....	36
4.2	Pengolahan Data.....	37
4.3	Pembuatan Model Konseptual.....	42
4.4	Pembuatan Model Simulasi Awal	56
4.5	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi Awal.....	59
4.6	Pembuatan Model Simulasi Skenario.....	64
BAB V HASIL DAN ANALISIS		72
5.1	Hasil Simulasi.....	73
5.1.1	Hasil Model Awal dan Model Skenario.....	73
5.1.2	Hasil Perbandingan Skenario	86
5.1.3	<i>Job Sequence</i> Hasil Simulasi	90
5.2	Analisis	92
5.2.1	Analisis Kondisi Riil	92
5.2.2	Analisis Model Awal	94
5.2.3	Analisis Masing-masing Model Skenario	94
5.2.4	Analisis Model Skenario Terpilih	97
BAB VI KESIMPULAN DAN SARAN		99
6.1	Kesimpulan.....	99
6.2	Saran	99
DAFTAR PUSTAKA		101
LAMPIRAN		103
BIOGRAFI PENULIS		124

DAFTAR TABEL

Tabel 1. 1 Total <i>Job</i> Tahun 2019 dan Persentase <i>On-Time Job</i> dan <i>Tardy Job</i>	2
Tabel 1. 2 Total <i>Job</i> Tahun 2019 dan Persentase <i>Job Flow Time</i> sesuai Target	3
Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu	21
Tabel 3. 1 Data Penelitian Sistem Produksi Kemasan Kosmetik.....	25
Tabel 4. 1 Perencanaan Produksi Desember 2019	35
Tabel 4. 2 Mesin setiap Stasiun Kerja.....	36
Tabel 4. 3 Data <i>Job Routing</i> Desember 2019	38
Tabel 4. 4 <i>Fitting Distribution</i> Stasiun Kerja <i>Blow Molding</i>	38
Tabel 4. 5 <i>Fitting Distribution</i> Stasiun Kerja <i>Injection Molding</i>	39
Tabel 4. 6 <i>Fitting Distribution</i> Stasiun Kerja <i>Printing</i>	40
Tabel 4. 7 <i>Fitting Distribution</i> Stasiun Kerja <i>Stamping</i>	40
Tabel 4. 8 <i>Fitting Distribution</i> Stasiun Kerja <i>Assembly</i>	41
Tabel 4. 9 Variabel Input Model.....	42
Tabel 4. 10 Contoh Data <i>Job Routing</i>	43
Tabel 4. 11 Detail Alur Produksi Kemasan Kosmetik.....	46
Tabel 4. 12 Implementasi Variabel Model Konseptual pada Model Simulasi	56
Tabel 4. 13 Verifikasi Waktu Kedatangan Model Simulasi	61
Tabel 4. 14 Data Hasil Rata-rata <i>Job Flow Time</i> Model Simulasi Awal dan Historis	62
Tabel 4. 15 Hasil Validasi Uji Student's t Model Simulasi Awal	63
Tabel 4. 16 Variabel Kontrol yang Tetap dan Berubah	64
Tabel 4. 17 <i>Experimental Factor</i> dan Desain Skenario	65
Tabel 5. 1 Hasil Simulasi Masing-masing Model.....	73
Tabel 5. 2 Contoh Entitas untuk <i>Gantt Chart</i>	78
Tabel 5. 3 Urutan Entitas pada Mesin A-6 dan BC320-2	79
Tabel 5. 4 Hasil ANOVA One-Way Rata-rata <i>Flow Time</i>	87
Tabel 5. 5 Hasil ANOVA One-Way Persentase Jumlah <i>Tardy Job</i>	89
Tabel 5. 6 <i>Job Sequence</i> Stasiun Kerja <i>Blow Molding</i>	91
Tabel 5. 7 Contoh <i>Part Number</i> 1063195.....	93
Tabel 5. 8 Contoh <i>Dispatching Rule</i> EDD.....	94

Tabel 5. 9 Alternatif Mesin <i>Part Number</i> 730310	96
Tabel 5. 10 <i>Improvement</i> pada Masing-masing Skenario	98

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2. 1 <i>Manufacturing Planning and Control (MPC) System</i>	12
Gambar 2. 2 <i>Manufacturing Resource Planning</i>	13
Gambar 3. 1 <i>Flow Chart</i> Metodologi Penelitian.....	23
Gambar 3. 2 <i>Flow Chart</i> Metodologi Penelitian (Lanjutan).....	24
Gambar 4. 1 <i>Operation Process Chart</i> pada Job 1572722110	44
Gambar 4. 2 <i>Operation Process Chart</i> pada Job 1573087010	44
Gambar 4. 3 <i>Operation Process Chart</i> pada Job 1572685310	45
Gambar 4. 4 Alur Proses Produksi Kemasan Kosmetik pada Objek Amatan	46
Gambar 4. 5 <i>Influence Diagram</i> Lantai Produksi Objek Amatan.....	49
Gambar 4. 6 <i>Flow Chart</i> Alur Job dalam Sistem secara Keseluruhan.....	50
Gambar 4. 7 <i>Flow Chart</i> Alur Job dalam Sistem secara Keseluruhan (Lanjutan)	51
Gambar 4. 8 Detail Proses pada setiap Stasiun Kerja	52
Gambar 4. 9 Alur Setiap <i>Job</i> pada Lantai Produksi <i>Dispatching Rule EDD</i>	54
Gambar 4. 10 Alur Setiap <i>Job</i> pada Lantai Produksi (Lanjutan).....	55
Gambar 4. 11 Model Simulasi Awal Stasiun Kerja <i>Printing</i>	57
Gambar 4. 12 Logika Job Memilih Mesin (Part Number 1028953).....	57
Gambar 4. 13 Sub-model Mesin ATMA-1	58
Gambar 4. 14 <i>Decision System</i> Alur Proses Produksi setiap Job.....	58
Gambar 4. 15 Pengecekan <i>Syntax Error</i> Model Simulasi Awal.....	59
Gambar 4. 16 Pengecekan <i>Semantic Error</i> pada Kerusakan Mesin	60
Gambar 4. 17 Pengecekan <i>Semantic Error</i> untuk setiap Job	60
Gambar 4. 18 <i>Flow Diagram</i> Logika Antrean SPT pada Mesin	66
Gambar 4. 19 <i>Flow Diagram</i> Logika Antrean JSPT pada Mesin	67
Gambar 4. 20 <i>Flow Diagram</i> Logika Antrean JSPT pada Mesin (Lanjutan)	68
Gambar 4. 21 <i>Flow Diagram</i> Logika Antrean JEDD pada Mesin.....	69
Gambar 4. 22 <i>Flow Diagram</i> Logika Antrean JEDD pada Mesin (Lanjutan).....	70
Gambar 4. 23 Sub-model Mesin pada Model Skenario JSPT dan JEDD	71
Gambar 5. 1 Grafik Persentase Jumlah <i>Tardy Job</i> Masing-masing Model	75
Gambar 5. 2 Grafik <i>Mean Flow Time</i> dan <i>Mean Waiting Time</i> Masing-masing Model	75

Gambar 5. 3 <i>Box Plot</i> Variabel <i>Job Flow Time</i> Masing-masing Model.....	76
Gambar 5. 4 <i>Box Plot</i> Variabel <i>Tardy Job</i> Masing-masing Model.....	77
Gambar 5. 5 <i>Gantt Chart</i> untuk <i>Dispatching Rule</i> EDD	80
Gambar 5. 6 <i>Gantt Chart</i> untuk <i>Dispatching Rule</i> SPT.....	80
Gambar 5. 7 <i>Gantt Chart</i> untuk <i>Dispatching Rule</i> JSPT.....	81
Gambar 5. 8 <i>Gantt Chart</i> untuk <i>Dispatching Rule</i> JEDD.....	81
Gambar 5. 9 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Blow Molding</i>	82
Gambar 5. 10 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Injection Molding</i> Mesin A-2- Mesin B-3.....	83
Gambar 5. 11 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Injection Molding</i> Mesin B-4- Mesin C-2.....	83
Gambar 5. 12 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Injection Molding</i> Mesin D-1- Mesin HT-3	84
Gambar 5. 13 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Printing</i>	84
Gambar 5. 14 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Stamping</i> Mesin KKS-1-Mesin KKS-15	85
Gambar 5. 15 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Stamping</i> Mesin KKS-16-Mesin RT 8.....	85
Gambar 5. 16 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja <i>Assembly</i>	86
Gambar 5. 17 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Rata-rata <i>Job Flow Time</i>	87
Gambar 5. 18 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Rata-rata <i>Job Flow Time</i> (Lanjutan).....	88
Gambar 5. 19 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Jumlah <i>Tardy Job</i>	89
Gambar 5. 20 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Jumlah <i>Tardy Job</i> (Lanjutan)	90

BAB I

PENDAHULUAN

Pada bab 1 dijelaskan mengenai latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan, asumsi, dan sistematika penulisan penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Penjadwalan produksi merupakan salah satu permasalahan utama pada industri manufaktur. Menurut Pinedo (2016), penjadwalan produksi merupakan proses pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya untuk mengerjakan *job* selama periode waktu tertentu dengan tujuan mengoptimalkan satu atau lebih objektif. Penjadwalan produksi menjadi penting karena memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja sistem. Menurut Herrmann (2006), dalam sistem manufaktur dengan beragam produk, proses, dan tingkat produksi, penjadwalan produksi dapat memungkinkan koordinasi yang lebih baik untuk meningkatkan produktivitas dan meminimalkan biaya operasi. Dalam industri manufaktur, *dispatching rules* adalah salah satu metode yang bisa dipakai untuk melakukan penjadwalan. *Dispatching rules* adalah aturan dalam penjadwalan untuk memilih *job* berikutnya yang akan diproses dari serangkaian *job* yang mengantre (Sharma & Jain, 2015). *Dispatching rules* menentukan antrean dalam sistem produksi. Penggunaan *dispatching rules* yang sesuai akan menghasilkan penjadwalan produksi yang baik.

Perusahaan yang dijadikan objek penelitian ini memproduksi kemasan kosmetik dan produk perawatan yang berbahan baku plastik seperti botol, *compact packaging, tube, jar, pump*, dan lain-lain. Perusahaan ini cukup dikenal sebagai produsen kemasan kosmetik yang memiliki produk berkualitas dan dapat melayani pesanan produk *customized*. Sistem produksi bersifat *multi-product* karena memiliki banyak jenis produk, *multi-stage* karena memiliki banyak tahapan proses untuk setiap jenis produk, *multi-machine* karena terdiri dari banyak mesin, dan *make-to-order* karena memulai produksi saat *order* datang. Lantai produksi pada perusahaan ini terdiri dari 6 stasiun kerja, yaitu *mixing, blow molding, injection molding, printing, stamping*, dan *assembly*. Pada perusahaan ini diidentifikasi

terdapat permasalahan pada penjadwalan produksi. Detail permasalahan akan dijelaskan lebih lanjut pada subbab ini. Pada penelitian ini, stasiun kerja *mixing* tidak termasuk dalam cakupan penelitian. Stasiun kerja *mixing* bekerja secara *on demand* berdasarkan permintaan material dari stasiun kerja *blow molding* dan *injection molding* sehingga tidak dilakukan penjadwalan produksi.

Seperti yang dijelaskan oleh Pinedo (2016), penjadwalan produksi merupakan proses pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya untuk mengerjakan *job* selama periode waktu tertentu. *Job* pada penelitian ini didefinisikan sebagai pekerjaan memproses material yang memiliki 3 atribut utama yaitu *job number*, *part number* (PN), dan alur proses produksi. Penomoran *job* untuk setiap sub-produk dalam *sales order* (SO) yang sama. Kemudian sub-produk dapat memiliki bagian produk yang lebih kecil lagi. Sebagai contoh, terdapat pesanan produk kemasan *lipstick* dengan atribut 1 *SO number*. Produk kemasan *lipstick* terdiri dari badan *lipstick* dan tutup *lipstick*, maka kedua sub-produk tersebut memiliki *job number* yang berbeda. Namun karena badan dan tutup *lipstick* dalam satu pesanan yang sama, maka keduanya memiliki *SO number* yang sama. Kemudian untuk sub-produk badan *lipstick*, dapat terdiri dari bagian dalam sebagai tempat untuk menampung *lipstick* dan bagian luar yang dapat diputar untuk mengeluarkan produk *lipstick* saat akan dipakai. Setiap mesin hanya dapat memproduksi 1 jenis sub-produk pada satu waktu. Setiap jenis sub-produk memiliki PN yang berbeda. Sepanjang tahun 2019, terdapat 3.434 *job* yang telah dikerjakan. Target dari perusahaan untuk *job* yang selesai tepat waktu (*on time job*) atau dengan kata lain tidak melebihi *due date* adalah sebesar 97% per bulan, sedangkan kondisi saat ini masih jauh dari target. Keterlambatan penyelesaian *job* dapat mengakibatkan keterlambatan pengiriman *finished good* ke *customer*. Tabel 1.1 adalah tabel data jumlah *job* setiap bulan dan persentase *job* yang selesai tepat waktu (*on-time job*) serta *job* yang terlambat (*tardy job*) pada tahun 2019.

Tabel 1. 1 Persentase *On-Time Job* dan *Tardy Job* Tahun 2019

Bulan (2019)	Total Job	<i>On-Time Job</i> (%)	<i>Tardy Job</i> (%)
Januari	289	72.50%	27.50%
Februari	335	70.30%	29.70%
Maret	300	71.30%	28.70%

Tabel 1. 1 Persentase *On-Time Job* dan *Tardy Job* Tahun 2019 (Lanjutan)

Bulan (2019)	Total Job	<i>On-Time Job</i> (%)	<i>Tardy Job</i> (%)
April	230	72.30%	27.70%
Mei	231	70.80%	29.20%
Juni	241	69.30%	30.70%
Juli	312	82.70%	17.30%
Agustus	324	81.70%	18.30%
September	335	77.70%	22.30%
Oktober	325	78.20%	21.80%
November	308	77.50%	22.50%
Desember	204	72.00%	28.00%
Total <i>Job</i> Tahun 2019	3.434		

Pada Tabel 1.1 terlihat bahwa dari seluruh bulan pada tahun 2019, *job* yang selesai tepat waktu masih belum memenuhi target. Hanya pada bulan Juli dan Agustus yang mendekati target (mencapai 80%). Masalah kedua pada perusahaan ini adalah banyaknya *job flow time* aktual yang melebihi target yaitu 14 hari. *Flow time* adalah durasi setiap *job* berada dalam sistem (Baker & Trietsch, 2019). Tabel 1.2 adalah tabel data rata-rata dan persentase *job flow time* yang sesuai target pada tahun 2019.

Tabel 1. 2 Rata-Rata *Flow Time* dan Persentase *Job Flow Time* sesuai Target Tahun 2019

Bulan (2019)	Total Job	<i>Mean Flow Time</i> (hari)	<i>Flow Time Sesuai Target</i> (%)
Januari	289	15.34	70.76%
Februari	335	16.88	64.71%
Maret	300	17.82	62.88%
April	230	19.62	58.21%
Mei	231	17.06	63.21%
Juni	241	16.64	61.61%
Juli	312	13.63	72.20%
Agustus	324	15.48	69.71%
September	335	18.53	62.54%
Oktober	325	18.57	66.23%
November	308	17.79	63.35%
Desember	204	16.61	63.18%
Total <i>Job</i> Tahun 2019	3.434		

Berdasarkan Tabel 1.2, persentase *flow time* per bulan yang sesuai target masih rendah. Nilai rata-rata *flow time* juga masih melebihi 14 hari, hanya pada Juli 2019 saja yang tidak melebihi 14 hari, yaitu 13.63 hari. Maka dari itu dibutuhkan perbaikan penjadwalan produksi untuk meningkatkan persentase kesesuaian *flow time*. Banyaknya jumlah *job* yang terlambat dan *flow time* tidak sesuai target karena *dispatching rule* pada penjadwalan produksi saat ini yaitu *Earliest Due Date* belum dapat meminimalkan *job waiting time*. *Job waiting time* berpengaruh terhadap ketepatan waktu penyelesaian *job* dan *job flow time*. Berdasarkan pemaparan kedua permasalahan yang ada di perusahaan, maka tujuan dari penelitian ini adalah mengidentifikasi *dispatching rules* yang sesuai sehingga dapat meminimalkan jumlah *job* yang terlambat (*tardy job*) dan meminimalkan rata-rata *job flow time*. Dengan meminimalkan rata-rata *flow time*, diharapkan dapat meningkatkan persentase *flow time* yang kurang dari 14 hari.

Masalah ini penting untuk diselesaikan karena memiliki dampak pada banyak aspek dan dapat mempengaruhi kinerja sistem produksi. Penjadwalan produksi dapat diselesaikan menggunakan model matematis dan model simulasi. Model matematis yang umumnya digunakan adalah *Johnson's Rule*, *Adjacent Pairwise Interchange Method* (APIM), dan *Branch and Bound*. Model matematis dapat digunakan jika sistem produksi sederhana, seperti sistem hanya terdiri dari sedikit mesin, alur produksi tidak lebih dari 1 *stage*, atau jumlah variasi produk yang tidak terlalu banyak. Model matematis tidak bisa mengakomodasi jumlah mesin, variasi produk, atau *stage* yang banyak karena membutuhkan perhitungan yang sangat rumit dan waktu komputasi yang lama. Selain itu umumnya model matematis memiliki banyak asumsi dalam perhitungan, jika terdapat faktor dalam sistem yang tidak bisa diasumsikan, maka penjadwalan model matematis tidak akan relevan terhadap kondisi riil. Model matematis juga menggunakan nilai parameter yang konstan sehingga *variability* dalam sistem tidak dapat diakomodasi oleh model matematis. Model simulasi digunakan jika sistem produksi terlalu kompleks sehingga tidak memungkinkan untuk menggunakan model matematis (Fowler, Monch, & Rose, 2006). Menurut Harrel, Gosh, & Bowden (2004), simulasi

digunakan jika aktivitas dan kejadian pada sistem bersifat *interdependent* (saling tergantung) dan *variable* (dapat berubah-ubah).

Penelitian ini menggunakan metode model simulasi karena sistem produksi pada perusahaan ini termasuk kompleks, yang mana memiliki ribuan jenis produk (*multi-product*), setiap *job* dapat memiliki 1-4 *stage* (*multi-stage*) dan terdapat ratusan mesin (*multi-machine*). Pengertian *multi-stage* adalah material dalam *job* membutuhkan lebih dari 1 proses, sebagai contoh membutuhkan proses *injection molding* kemudian *printing*. Selain itu, kompleksitas sistem bertambah karena pada sistem ini terdapat *interdependency* dan *variability*. *Interdependency* terletak pada alur proses produksi. Alur proses produksi bersifat *multi-stage* yang berarti *raw material* akan melewati banyak proses secara bertahap untuk menjadi *finished good*. Oleh karena itu, proses pertama akan mempengaruhi proses selanjutnya. Dalam konteks penelitian ini, jika proses pertama mengalami keterlambatan produksi, maka proses selanjutnya juga akan mengalami keterlambatan produksi. Selain itu, mesin pada sistem produksi ini bersifat *resource sharing*, yang berarti 1 mesin bisa digunakan oleh banyak *job*, namun dalam satu waktu, sebuah mesin hanya bisa mengerjakan 1 *job*. Jika mesin bermasalah saat mengerjakan *job* tertentu, maka *job* setelahnya akan terpengaruh, seperti waktu mulai *job* lebih lambat dari jadwal produksi yang seharusnya atau *job* tersebut memakai mesin lain yang *available*. *Variability* terletak pada waktu *setup* mesin, *down time*, dan *time to failure* (TTF). Ketiga data tersebut membutuhkan *fitting distribution* untuk menentukan jenis distribusi probabilitas yang sesuai berdasarkan data historis yang ada. Selain itu juga, setiap *job* dapat memiliki beberapa jenis sub-produk yang mana setiap prosesnya dapat dilakukan secara seri atau paralel. Setiap jenis sub-produk juga memiliki alternatif beberapa mesin, sebagai contoh, sub-produk A dapat diproses di mesin 1, mesin 2, atau mesin 3, yang mana menambah kompleksitas sistem.

Simulasi yang dipakai pada penelitian ini adalah *discrete-event simulation* karena ingin memodelkan sistem antrean pada rantai produksi dengan berbagai alternatif skenario. Simulasi dapat digunakan untuk mengevaluasi kinerja pendekatan penjadwalan produksi tertentu (Fowler et al., 2006). Pada penelitian ini, model simulasi digunakan untuk membandingkan beberapa skenario yang memiliki

kebijakan penjadwalan produksi berbeda. Skenario terbaik adalah skenario yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan meminimalkan rata-rata *job flow time*. Hasil simulasi bukan merupakan solusi optimal, namun dapat memberikan solusi yang lebih baik dari kondisi riil.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan analisis kondisi yang ada di perusahaan saat ini, rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana menentukan kebijakan penjadwalan produksi *multi-product*, *multi-stage*, dan *multi-machine* yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time* dengan pendekatan *discrete-event simulation*.

1.3 Tujuan

Tujuan yang ingin dicapai pada penelitian ini antara lain:

1. Membuat model simulasi yang mempertimbangkan *interdependency* dan *variability* dalam penjadwalan produksi.
2. Mengidentifikasi kebijakan penjadwalan produksi yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*.

1.4 Manfaat

Manfaat yang didapatkan dari penelitian ini antara lain:

1. Meminimalkan keterlambatan pengiriman *finished good* ke *customer*.
2. Menjadi referensi bagi seluruh pihak untuk pengembangan penelitian selanjutnya terkait penjadwalan produksi yang mempertimbangkan *interdependency* dan *variability* dalam sistem.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Batasan dan asumsi yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1.5.1 Batasan

Batasan yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Objek yang diamati pada penelitian ini merupakan proses pada lantai produksi di *plant* wilayah Surabaya.

2. Produk yang diamati adalah produk yang seluruh proses produksi dilakukan di *plant* wilayah Surabaya.
3. Data yang digunakan sebagai *input* model simulasi adalah data perencanaan produksi pada Desember 2019.
4. Sistem yang dimodelkan tidak termasuk pengadaan *raw material* dan stasiun kerja *mixing*. Stasiun kerja *mixing* adalah stasiun kerja untuk mencampur *raw material* dengan pewarna, yang merupakan stasiun kerja sebelum stasiun kerja *molding*.
5. Tidak terdapat *job* berupa *rework* akibat adanya produk *reject* dalam model konseptual dan simulasi. Kuantitas produk dalam setiap *scheduled job* sudah mempertimbangkan *rejection rate* sebesar 3%.
6. Penjadwalan operator mesin tidak dipertimbangkan pada penelitian ini.
7. *Dispatching rule* berada pada level mesin.
8. Pembuatan model skenario hanya berdasarkan perencanaan produksi selama 1 bulan dengan sekali kedatangan pada awal bulan.
9. *Job* yang memiliki proses lebih dari 1 kali pada stasiun kerja yang sama tidak dipertimbangkan.
10. Pada model simulasi, setiap proses pada *job* tidak dipecah menjadi beberapa kali pengerjaan.

1.5.2 Asumsi

Asumsi yang digunakan pada penelitian ini antara lain:

1. Selama penelitian berlangsung, tidak ada perubahan kebijakan operasional pada sistem produksi.
2. *Raw material* tidak pernah terjadi *stock out*.
3. Tidak terjadi perubahan perencanaan produksi selama simulasi berjalan.
4. Operator selalu tersedia selama simulasi berjalan.
5. Nilai *cycle time* pada mesin yang berbeda untuk produk yang sama diasumsikan sama.

6. Setiap *job* yang sedang diproses pada mesin tertentu tidak dapat diinterupsi oleh *job* lain sampai proses selesai, sehingga kuantitas *output* dari setiap *job* selalu sama dengan perencanaan produksi.
7. Keseluruhan data *job* yang dijadikan *input* model simulasi datang sebelum Desember 2019.

1.6 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan yang digunakan pada penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bab I Pendahuluan
Pada bab 1 dijelaskan mengenai hal-hal yang mendasari penelitian yaitu latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, ruang lingkup penelitian yang mencakup batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan.
2. Bab II Tinjauan Pustaka
Pada bab 2 diuraikan teori mengenai penjadwalan produksi yang merupakan topik permasalahan penelitian ini dan simulasi sebagai metode yang akan digunakan. Selain itu juga terdapat perbandingan penelitian ini dengan penelitian terdahulu.
3. Bab III Metodologi Penelitian
Pada bab 3 berisi tentang tahapan penelitian dan penjelasan detail dari setiap tahapan. Sebagai contoh yaitu penjelasan prosedur pembuatan model konseptual.
4. Bab IV Pengumpulan Data dan Perancangan Model
Pada bab 4 diuraikan mengenai tahapan dalam melakukan pengumpulan dan pengolahan data. Selain itu juga dijelaskan mengenai model simulasi yang akan dirancang pada penelitian ini, verifikasi dan validasi model simulasi awal, dan skenario simulasi yang akan digunakan. Pembuatan model simulasi menggunakan *software* Arena 14.0.
5. Bab V Hasil dan Analisis

Pada bab 5 berisi tentang hasil dari simulasi menggunakan *software* Arena 14.0 dan analisis terhadap setiap skenario yang dilakukan. Dari hasil simulasi dapat diketahui skenario terbaik yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*.

6. Bab VI Kesimpulan dan Saran

Pada bab 6 dijelaskan mengenai kesimpulan yang menjawab tujuan pengerjaan penelitian serta saran terhadap sistem produksi yang dianalisis dan penelitian berikutnya agar dapat menjadi penelitian yang lebih baik lagi.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab 2 dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang digunakan sebagai dasar teori dalam penelitian ini. Tinjauan pustaka yang digunakan adalah tentang sistem perencanaan produksi dan simulasi. Masalah pada penelitian ini berupa penjadwalan produksi yang mana penjadwalan merupakan bagian dari perencanaan produksi. Simulasi merupakan metode yang dipakai untuk menyelesaikan masalah penjadwalan.

2.1 Sistem Perencanaan Produksi

Pada subbab 2.1 dijelaskan teori mengenai sistem perencanaan produksi pada industri manufaktur.

2.1.1 Manufacturing Planning and Control (MPC) System

Tantangan yang dihadapi oleh industri manufaktur adalah bagaimana membuat perencanaan produksi yang baik agar tetap menghasilkan keuntungan. Persediaan sumber daya (manusia, mesin, dan lain-lain) yang terbatas harus diatur sedemikian rupa agar tetap memenuhi *customer service level*. Menurut (Chapman, Arnold, Gatewood, & Clive, 2017), perencanaan produksi dapat diatur melalui *manufacturing planning and control (MPC) system* yang terdiri dari beberapa tingkat, yaitu:

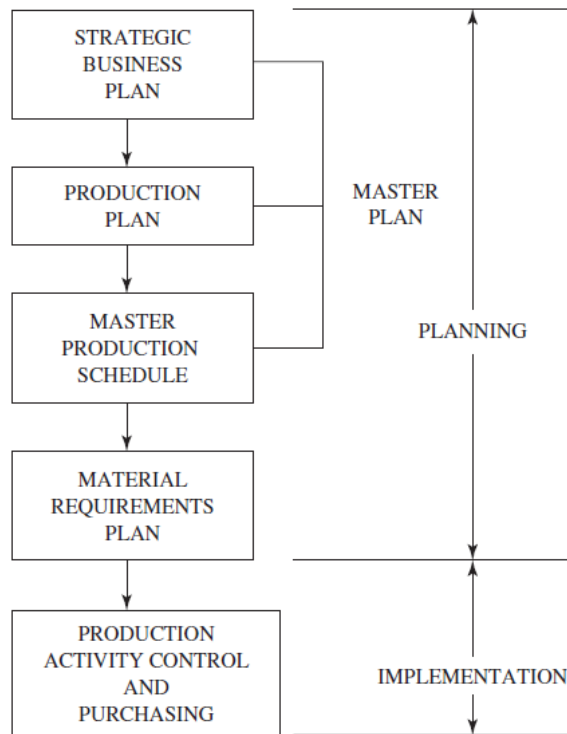
1. *Strategic business plan (a business plan based on the strategy)*

Strategic business plan adalah perencanaan finansial perusahaan yang menentukan target pendapatan perusahaan. Target umumnya ditulis dalam satuan mata uang. Perencanaan ini berfokus pada kelompok produk, bukan setiap jenis produk. Umumnya *strategic business plan* ditinjau kembali setiap 6 bulan sampai 1 tahun.

2. *Production plan (sales and operations plan)*

Production plan merupakan perencanaan yang menentukan berapa kuantitas per kelompok produk yang harus diproduksi dengan mempertimbangkan *inventory level*, jumlah *resource* yang dibutuhkan, dan ketersediaan *resource*

dalam periode tertentu. Umumnya perencanaan ini memiliki *planning horizon* 6-18 bulan dan ditinjau kembali setiap bulan atau 3 bulan.



Gambar 2. 1 *Manufacturing Planning and Control (MPC) System* (Chapman, Arnold, Gatewood, & Clive, 2017)

3. *Master production schedule*

Master production schedule (MPS) merupakan perencanaan produksi untuk setiap jenis produk. MPS merupakan perincian dari *production plan*, yang umumnya memiliki *planning horizon* 3-18 bulan, tetapi bergantung pada pembelian material dan *manufacturing lead time* (MLT). MPS ditinjau kembali setiap minggu atau bulan.

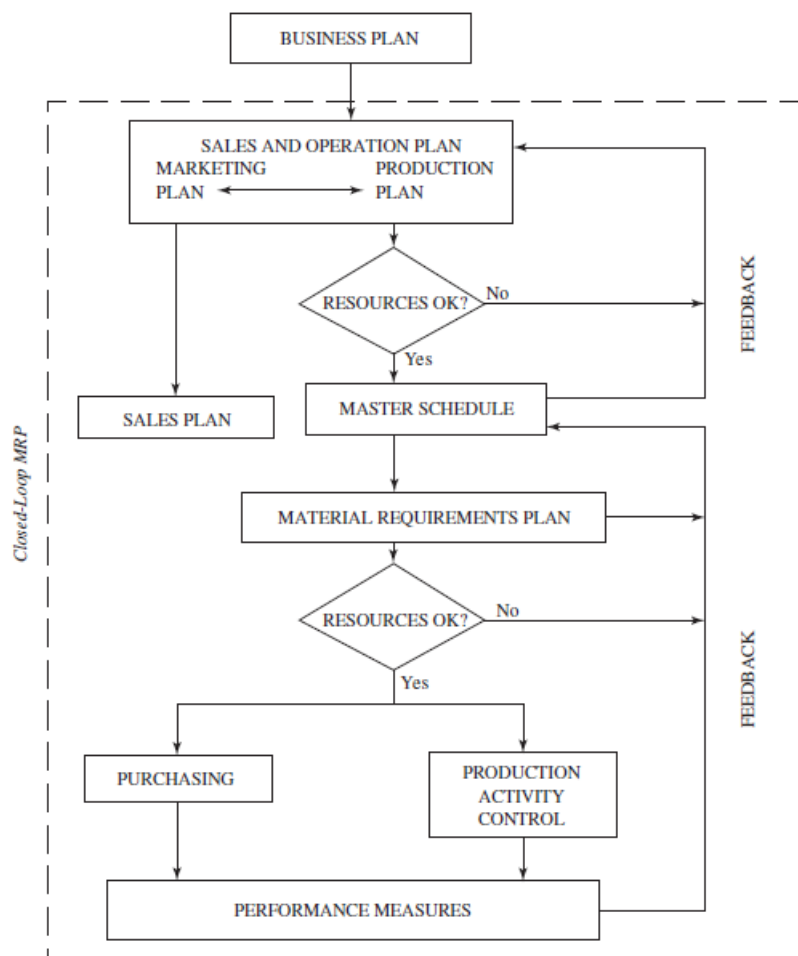
4. *Material requirements plan*

Material requirements plan (MRP) adalah perencanaan produksi dan pembelian komponen yang digunakan oleh produk dalam MPS. MRP menentukan kuantitas setiap komponen dan kapan komponen tersebut dibutuhkan. Umumnya MRP memiliki *planning horizon* 3-18 bulan.

5. *Production activity control (PAC) and purchasing*

Production activity control (PAC) and purchasing merupakan tahap implementasi dari seluruh perencanaan yang telah dilakukan. PAC merencanakan dan mengontrol aliran pekerjaan pada rantai produksi, sedangkan *purchasing* mengontrol aliran *raw material* ke rantai produksi. *Planning horizon* yang dimiliki oleh PAC dan *purchasing* sangat pendek, umumnya 1 hari sampai 1 bulan. PAC ditinjau kembali setiap hari.

Seluruh informasi pada setiap tingkat perencanaan harus terintegrasi dengan baik dan memiliki *feedback* dari bawah ke atas agar tidak terjadi kesalahan komunikasi. Sistem perencanaan dan kontrol produksi yang terintegrasi disebut dengan *manufacturing resource planning (MRP II)* (Chapman et al., 2017). Berikut ini adalah gambar yang menjelaskan MRP II.



Gambar 2. 2 Manufacturing Resource Planning (Chapman, Arnold, Gatewood, & Clive, 2017)

Gambar 2.2 merupakan sistem pada *manufacturing resource planning* (MRP II). Tahapan setelah *business plan* sampai pengukuran kinerja merupakan sistem *closed-loop* yang terdiri dari beberapa *feedback*. Misal pada tahapan *master schedule* (MPS), jika terdapat hal yang kurang sesuai maka akan diberikan *feedback* kepada *sales and operation plan* (S&OP) untuk ditinjau kembali dan dilakukan perubahan. Sistem perencanaan akan menjadi lebih terkontrol jika terdapat *feedback* pada sistem.

2.1.2 *Production Activity Control (PAC)*

Seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.1.1, *production activity control* (PAC) merupakan tahap implementasi dari perencanaan yang dapat mengontrol jalannya produksi. Contoh aktivitas pada PAC yaitu merilis permintaan pekerjaan (*job order*) ke rantai produksi, mengatur permintaan pekerjaan, memastikan pekerjaan dapat selesai tepat waktu, dan mengatur aktivitas *day-to-day* pada rantai produksi. Tahapan pada PAC menurut Chapman et. al. (2017) adalah:

1. *Data requirements*

Tahap pertama adalah mengumpulkan informasi yang diperlukan. Informasi tersebut yaitu apa dan berapa yang akan diproduksi, kapan komponen dibutuhkan, operasi apa yang akan dilakukan dan berapa lama durasi operasi tersebut, dan berapa kapasitas stasiun kerja yang tersedia. Seluruh informasi tersebut terdapat pada data *item master*, *product structure (bill of material)*, *routing*, *work center master*, dan *shop order master*.

2. *Order preparation*

Setelah informasi terkumpul, maka selanjutnya menyiapkan permintaan (*order*) yang akan dirilis ke rantai produksi. Sebelum merilis *job order*, harus dipastikan bahwa peralatan, material, dan kapasitas yang dibutuhkan tersedia. Jika ketiga hal tersebut tidak tersedia, maka sebaiknya *job order* tidak dirilis.

3. *Scheduling*

Tahap ketiga yaitu melakukan penjadwalan produksi terhadap *job order* yang akan dirilis. Tujuan dari penjadwalan produksi adalah agar *job order* dapat memenuhi *due date* dan memanfaatkan *resources* sebaik mungkin. Terdapat 2

jenis penjadwalan produksi, yaitu *forward scheduling* dan *backward scheduling*. *Forward scheduling* menentukan kapan *job order* dapat diselesaikan dari saat *job order* diterima. *Backward scheduling* menentukan kapan produksi dapat dimulai dengan pertimbangan informasi *due date* yang sudah ada. Detail mengenai penjadwalan produksi akan dijelaskan pada subbab 2.1.3.

4. *Implementation and control*

Jadwal produksi yang sudah dibuat kemudian diimplementasikan pada rantai produksi dan dikontrol selama produksi berjalan. Aktivitas pada kontrol produksi yaitu *input* atau *output control* dan *operation sequencing*. *Input* atau *output control* mengelola antrean dan durasi *work-in-process* (WIP) dalam rantai produksi dengan mengontrol *input* dan *output* pada fasilitas produksi. Tujuan *input* atau *output control* adalah agar *input rate* dan *output rate* seimbang. *Operation sequencing* yaitu suatu teknik untuk perencanaan jangka pendek daripada *job* aktual yang akan dijalankan di setiap stasiun kerja berdasarkan kapasitas dan prioritas. Prioritas dalam hal ini adalah urutan *job* di stasiun kerja yang harus dikerjakan. Pengendalian prioritas dilakukan melalui *dispatching*. *Dispatching* adalah proses memilih dan mengurutkan *job* yang tersedia untuk dijalankan di setiap stasiun kerja. Terdapat beberapa aturan dalam *dispatching* yang akan dibahas pada subbab 2.1.4.

2.1.3 *Penjadwalan Produksi*

Seperti yang telah dibahas pada subbab 2.1.2, penjadwalan produksi merupakan tahapan dari PAC. Penjadwalan produksi berarti mengatur *order* agar dapat memenuhi *due date* namun dapat memanfaatkan *resources* sebaik mungkin (Chapman et. al., 2017). Menurut Pinedo (2016), penjadwalan produksi merupakan proses pengambilan keputusan terkait alokasi sumber daya untuk mengerjakan *job* selama periode waktu tertentu dengan tujuan mengoptimalkan satu atau lebih objektif. Penjadwalan produksi menjadi penting karena memiliki dampak yang signifikan terhadap kinerja sistem. Menurut Baker & Trietsch (2019), terdapat 3 jenis metode penjadwalan produksi, yaitu metode optimasi, heuristik, dan simulasi. Berikut ini adalah penjelasan masing-masing metode:

1. Metode Optimasi

Metode ini menggunakan model matematis untuk mencapai hasil optimal dari parameter tertentu. Sistem produksi yang sesuai untuk memakai metode optimasi adalah sistem yang sederhana, seperti sistem produksi dengan 1 mesin.

2. Metode Heuristik

Penggunaan metode optimasi pada sistem produksi yang lebih kompleks akan membutuhkan waktu komputasi yang lama. Untuk mempersingkat waktu, maka digunakan optimasi dengan komputasi yang terbatas (suboptimal). Metode suboptimal disebut juga dengan metode heuristik. Metode heuristik tidak menjamin mendapatkan hasil yang optimal, tetapi hanya hasil yang lebih baik.

3. Metode Simulasi

Metode simulasi akan sesuai digunakan untuk sistem produksi yang sangat kompleks dan terdapat *random behavior* pada sistem tersebut. Model matematis tidak dapat mengakomodasi *random behavior*, sehingga digunakan simulasi dengan komputer. Umumnya penjadwalan produksi dengan metode simulasi memakai *dispatching* untuk menentukan urutan *job*. Eksperimen dengan simulasi memungkinkan untuk membandingkan alternatif *dispatching rules* dengan tujuan meningkatkan kinerja sistem.

2.1.4 Dispatching Rules

Dispatching adalah proses memilih dan mengurutkan *job* yang tersedia untuk dijalankan di setiap stasiun kerja (Chapman et. al., 2017). Dalam *dispatching* terdapat beberapa aturan yang dapat diimplementasikan pada rantai produksi, atau disebut juga dengan *dispatching rules*. Berikut ini adalah *dispatching rules* menurut Chapman et. al., (2017):

1. *First Come First Served* (FCFS): *Job* diurutkan berdasarkan kedatangan ke dalam sistem. Aturan ini mengabaikan *due date* dan waktu proses.
2. *Earliest Job Due Date* (EDD): *Job* diurutkan berdasarkan *due date* paling awal dengan mengabaikan waktu proses.

3. *Earliest Operation Due Date (ODD)*: *Job* diurutkan berdasarkan *operation due date* paling awal. Aturan ini memperhitungkan *due date* dan waktu proses.
4. *Shortest Processing Time (SPT)*: *Job* diurutkan berdasarkan waktu proses paling pendek. Aturan ini mengabaikan *due date*, namun dapat memaksimalkan jumlah *job* yang dapat dikerjakan.

Setiap *dispatching rules* memiliki objektif yang berbeda. Penelitian ini memiliki tujuan untuk meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *flow time*. Sharma & Jain (2015) menyebutkan beberapa *dispatching rules* yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *flow time*, yaitu:

1. *First Come First Served (FCFS)*
2. *Shortest Processing Time (SPT)*
3. *Shortest Setup Time (SIMSET)*: *Job* diurutkan berdasarkan waktu *setup* paling pendek.
4. *Earliest Due Date (EDD)*
5. *Shortest Setup Time + Processing Time (SSPT)*: *Job* diurutkan berdasarkan nilai paling kecil dari penjumlahan waktu *setup* dan waktu proses.
6. *Job with Similar Setup and Shortest Processing Time (JSPT)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan waktu proses terkecil.
7. *Job with Similar Setup and Earliest Due Date (JEDD)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan *due date* paling awal.
8. *Job with Similar Setup and Modified Earliest Due Date (JMEDD)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan *modified due date* paling awal.
9. *Job with Similar Setup and Shortest (Setup Time + Processing Time) (JSSPT)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan nilai paling kecil dari penjumlahan waktu *setup* dan waktu proses.

2.1.5 Model Matematis dalam Penjadwalan Produksi

Pada dasarnya penjadwalan produksi dilakukan dengan cara perhitungan model matematis. Berikut ini adalah model matematis yang umum digunakan pada penjadwalan produksi:

1. *Johnson's Rule*

Johnson's Rule merupakan perhitungan untuk penjadwalan produksi untuk masalah penjadwalan dengan 2 mesin. Johnson's Rule pertama kali ditemukan oleh Johnson pada 1954 yang mana merupakan teori pertama yang dihasilkan untuk melakukan penjadwalan produksi. Berikut ini adalah tahapan yang dilakukan dalam perhitungan Johnson's Rule (Baker & Trietsch, 2019):

- a. Mencari waktu proses minimum pada *job* yang belum dijadwalkan
- b. Jika *job* yang memiliki waktu proses minimum berada pada mesin ke-1, maka *assign job* tersebut pada posisi pertama di antrean
- c. Jika *job* yang memiliki waktu proses minimum berada pada mesin ke-2, maka *assign job* tersebut pada posisi terakhir di antrean
- d. Lakukan tahap pada poin b sampai seluruh posisi pada antrean terisi

2. *Adjacent Pairwise Interchange Method*

Penjadwalan produksi dengan memakai 1 mesin umum menggunakan aturan *Adjacent Pairwise Interchange Method* (APIM). Metode ini melakukan pengurutan *job* dengan cara menukar 2 *job* yang berurutan pada antrean, dengan tujuan mendapatkan perbaikan seperti mengurangi keterlambatan *job* (Abdallah & Jang, 2017).

2.1.6 Istilah dalam Penjadwalan Produksi

Berikut ini adalah istilah yang umum digunakan dalam penjadwalan produksi:

1. *Job*

Job adalah operasi atau proses yang dilakukan dalam rantai produksi dengan memakai mesin yang tersedia. Setiap *job* dapat terdiri dari 1 proses atau lebih (Baker & Trietsch, 2019).

2. *Job Flow Time*

Flow time adalah durasi setiap *job* berada dalam sistem (Baker & Trietsch, 2019).

3. *Tardy Job*

Tardy job adalah *job* yang selesai melewati *due date* produksi (Baker & Trietsch, 2019).

4. *Waiting Time*

Waiting time adalah durasi saat *job* menunggu untuk diproses atau sedang tidak diproses (Baker & Trietsch, 2019).

2.2 Simulasi

Secara umum, simulasi adalah imitasi dari sebuah sistem (Robinson, 2014). Pada penelitian ini, simulasi diartikan sebagai eksperimen dengan imitasi yang disederhanakan (pada komputer) daripada suatu sistem operasi yang berjalan seiring waktu, dengan tujuan meningkatkan pemahaman terhadap sistem atau meningkatkan kinerja sistem (Robinson, 2014). Terdapat 4 metode simulasi, yaitu *discrete-event simulation*, *monte carlo simulation*, *system dynamics*, dan *agent-based simulation*. Penelitian ini menggunakan metode *discrete-event simulation*. *Discrete-event simulation* digunakan untuk memodelkan sistem antrean (Robinson, 2014). Pada sistem ini terdapat entitas yang berjalan dari satu proses ke proses lain. Setiap entitas dipisahkan dengan antrean. Pada penelitian ini digunakan metode *discrete-event simulation* karena *job* pada rantai produksi bersifat diskrit dan dipisahkan dengan antrean. Simulasi dilakukan untuk mengidentifikasi sistem antrean yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. Menurut Robinson (2014), dalam simulasi terdapat 4 tahapan umum yang harus dilakukan, yaitu:

1. Pemahaman Situasi Permasalahan

Tahap ini merupakan pemahaman situasi permasalahan yang akan diselesaikan memakai simulasi, dengan kata lain memahami sistem yang akan dimodelkan. Sistem ini harus mengandung *nature of the system* yaitu variabilitas, saling berhubungan, dan kompleks. Sistem yang akan dimodelkan dapat berupa sistem yang sudah ada atau sistem yang baru diusulkan. Pada tahap ini juga dilakukan

pengumpulan dan pengolahan data yang dapat mendukung pemahaman terhadap situasi permasalahan.

2. Pembuatan Model Konseptual

Tahap kedua pada simulasi yaitu pembuatan model konseptual. Definisi model konseptual adalah deskripsi spesifik (*non-software*) dari model simulasi yang akan dibuat. Model konseptual menjelaskan tentang objektif, *input*, *output*, konten, asumsi, dan simplifikasi model. Konten model terdiri dari entitas, sumber daya (*resource*), aktivitas, antrean, dan kontrol. Model konseptual harus dapat merepresentasikan kondisi riil dengan asumsi dan simplifikasi yang digunakan. Validasi model konseptual perlu dilakukan untuk memenuhi 4 kriteria berikut (Robinson, 2014):

a. *Validity*

Sebuah persepsi bagi pembuat model, bahwa model konseptual akan mengarah pada model simulasi yang cukup akurat untuk mencapai objektif model.

b. *Credibility*

Sebuah persepsi bagi pemilik sistem, bahwa model konseptual akan mengarah pada model simulasi yang cukup akurat untuk mencapai objektif model.

c. *Utility*

Sebuah persepsi bagi pembuat model dan pemilik sistem, bahwa model konseptual akan mengarah pada model simulasi yang berguna untuk membantu pengambilan keputusan dengan konteks tertentu.

d. *Feasibility*

Sebuah persepsi bagi pembuat model dan pemilik sistem, bahwa model konseptual dapat dikembangkan menjadi model simulasi berbasis komputer.

3. Pembuatan Model Simulasi berbasis Komputer

Model konseptual yang sudah dibuat selanjutnya diubah menjadi model simulasi yang berbasis komputer. Pembuatan model simulasi dapat menggunakan *spreadsheet*, *software* simulasi, atau bahasa pemrograman. Dalam pembuatan model simulasi, terdapat 4 aspek yang harus diperhatikan yaitu kecepatan pembuatan model (*speed coding*), kemudahan dalam memahami model

(*transparency*), kemudahan melakukan perubahan pada model (*flexibility*), dan kecepatan model saat dijalankan (*run-speed*).

4. Eksperimen Model Simulasi

Setelah model simulasi dibuat, dilakukan eksperimen pada model simulasi untuk mendapatkan pemahaman yang lebih baik tentang sistem atau mendapatkan perbaikan untuk sistem. Eksperimen dapat dikatakan sebagai “*what-if analysis*”, yang mana dilakukan perubahan pada *input* model dan akan mendapatkan *output* yang berbeda. Dalam melakukan eksperimen, perlu ditentukan jumlah replikasi yang cukup, verifikasi dan validasi model simulasi agar *output* akurat.

2.3 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Berikut ini adalah penjelasan mengenai perbandingan penelitian ini dengan penelitian terkait terdahulu.

Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu

	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Jenis Penelitian	Metode	Parameter
Penelitian Terdahulu	<i>Minimizing maximum tardiness and delivery costs with batch delivery and job release times</i>	Mohammad Rostami, Omid Kheirandish, Nima Ansari. 2015	Artikel jurnal ilmiah	<i>Branch & Bound, Genetic Algorithm, Mixed Integer Programming</i>	<i>Delivery cost, max. tardiness</i>
	<i>Performance analysis of dispatching rules in a stochastic dynamic job shop manufacturing system with sequence-dependent setup times: Simulation approach</i>	Pankaj Sharma, Ajai Jain. 2015	Artikel jurnal ilmiah	<i>Discrete-event simulation</i>	<i>Makespan, mean flow time, max. flow time, mean tardiness, max. tardiness, no. of tardy job, total setup, mean setup time</i>

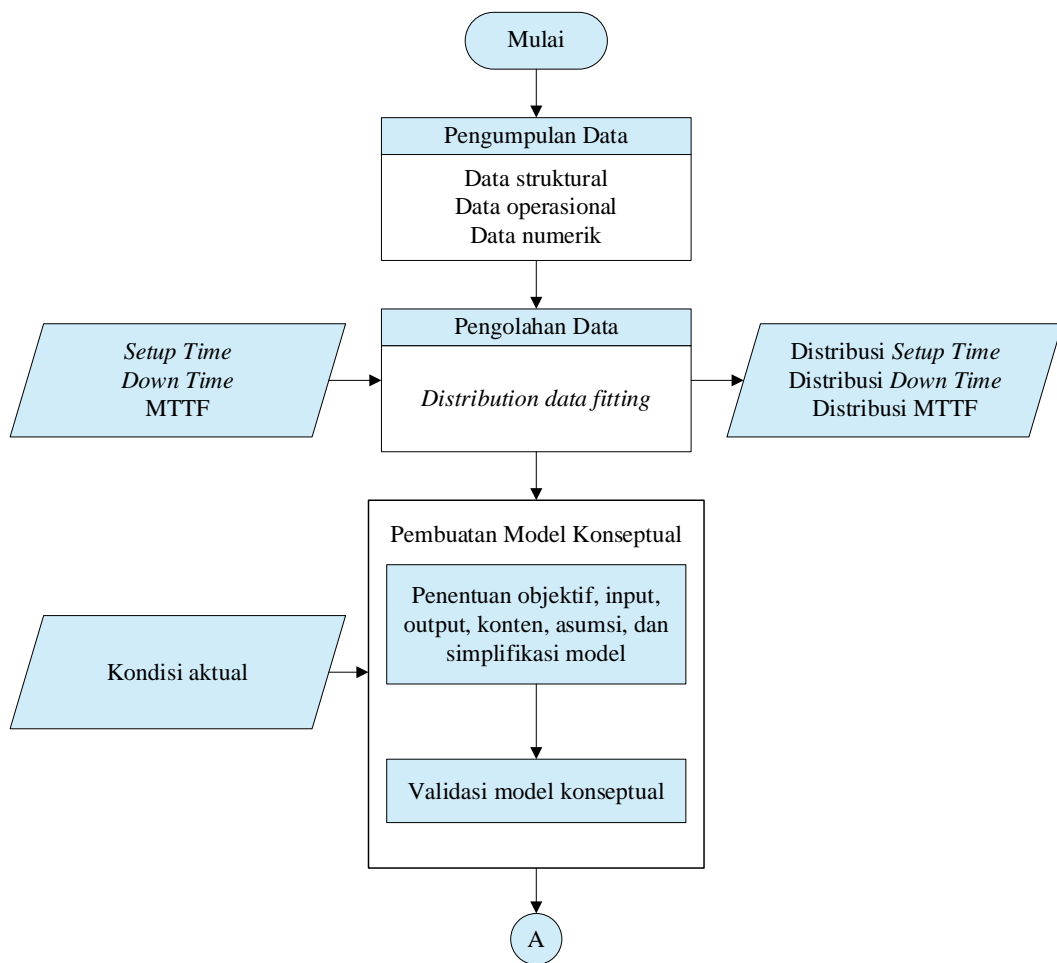
Tabel 2. 1 Perbandingan Penelitian Ini dengan Penelitian Terdahulu (Lanjutan)

	Judul Penelitian	Penulis dan Tahun	Jenis Penelitian	Metode	Parameter
	<i>A Simulation-Based Study of Dispatching Rules in a Dynamic Job Shop Scheduling Problem with Batch Release and Extended Technical Precedence Constraints</i>	Hegen Xiong, Huali Fan, Guozhang Jiang, Gongfa Li. 2016	Artikel jurnal ilmiah	<i>Discrete-event simulation</i>	<i>Total tardiness, percentage of tardy job</i>
Penelitian Ini	Penjadwalan Produksi <i>Multi-Product, Multi-Stage</i> , Dan <i>Multi-Machine</i> Dengan Pendekatan <i>Discrete-Event Simulation</i>	Salsa Shauma Jadida. 2020	<i>Undergraduate thesis</i>	Discrete-event simulation	<i>No. of tardy job, mean flow time</i>

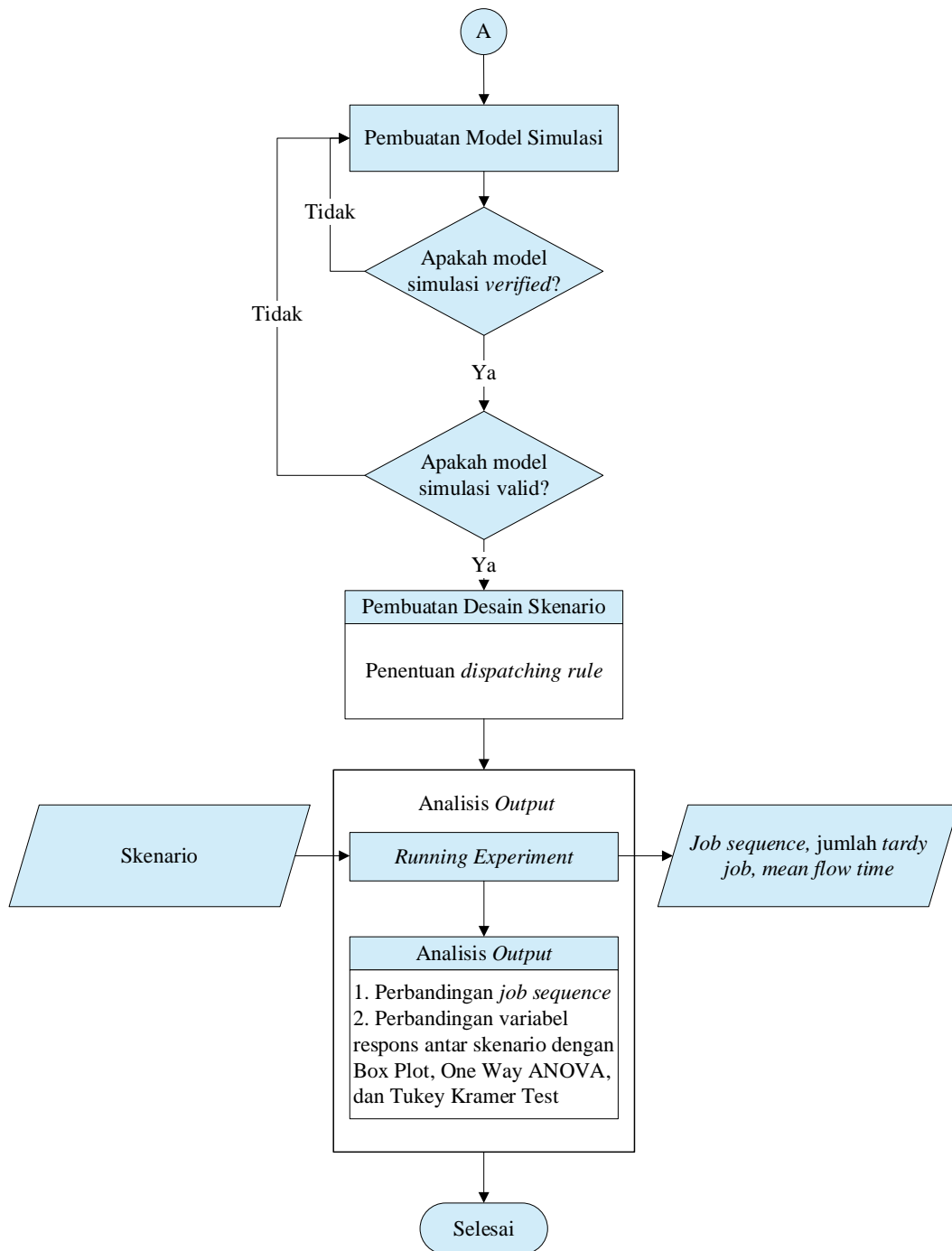
Tabel 2.1 menampilkan perbandingan penelitian terdahulu tentang penjadwalan produksi dengan penelitian ini. Terdapat beberapa metode yang digunakan, yaitu optimasi, heuristik, dan simulasi. Penelitian ini, penelitian Sharma & Jain (2015), dan penelitian Xiong, Fan, Jiang, & Li (2016) memakai metode simulasi, yang memiliki kelebihan dapat memodelkan sistem yang sangat kompleks dan waktu komputasi yang tidak terlalu lama. Menurut Xiong, Fan, Jiang, & Li (2016), kekurangan menggunakan simulasi adalah tidak mendapatkan hasil yang optimal. Penelitian Rostami, Kheirandish, & Ansari (2015) menggabungkan metode optimasi dan heuristik yaitu *Branch & Bound, Genetic Algorithm, Mixed Integer Programming* yang dapat menghasilkan *output* optimal. Namun sistem yang dimodelkan terdapat banyak asumsi dan membutuhkan waktu komputasi yang lama. Metode optimasi dan heuristik akan sesuai dengan sistem produksi yang cukup sederhana (Rostami, Kheirandish, & Ansari, 2015).

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab 3 dijelaskan mengenai metodologi yang sudah dilakukan dalam penelitian ini. Metode yang dipilih dalam penelitian ini adalah metode simulasi karena sistem berupa sistem produksi yang kompleks dan besar. Di bawah ini merupakan diagram alur yang menggambarkan tahapan yang akan dilakukan dalam menggunakan metode *discrete-event simulation*.



Gambar 3. 1 Flow Chart Metodologi Penelitian



Gambar 3. 2 Flow Chart Metodologi Penelitian (Lanjutan)

Setiap tahap pada Gambar 3.1 dan Gambar 3.2 yang telah ditampilkan akan dijelaskan pada subbab berikut.

3.1 Pengumpulan Data

Data pada simulasi dapat dikelompokkan menjadi 3 jenis yaitu data struktural, operasional, dan numerik (Harrel et al., 2004). Penelitian ini melakukan pengumpulan data primer dan sekunder. Data primer berupa hasil wawancara dengan manajer produksi dan manajer *continuous improvement*, serta data sekunder berupa data historis produksi. Data yang diambil adalah bulan Januari-Desember 2019. Tabel 3.1 berisi data yang telah dikumpulkan terkait dengan penjadwalan produksi yang digunakan pada penelitian ini.

Tabel 3. 1 Data Penelitian Sistem Produksi Kemasan Kosmetik

Data Struktural	Jenis mesin
	Jumlah mesin (unit)
Data Operasional	Alur proses produksi setiap <i>job</i>
	Perencanaan produksi (<i>monthly</i>)
	Jumlah <i>shift</i> pada stasiun kerja (unit)
	<i>Dispatching rule</i>
Data Numerik	Kuantitas per <i>order</i> (unit)
	Waktu proses (jam)
	Waktu <i>setup</i> (jam)
	<i>Down time</i> (jam)
	TTF (jam)

3.2 Pengolahan Data

Data yang digunakan pada penelitian ini adalah data pada Januari-Desember 2019. Waktu *setup*, *down time*, dan waktu antar kerusakan (*time to failure* atau TTF) memakai data Januari-Desember 2019, namun *input job* untuk model simulasi hanya menggunakan data perencanaan produksi Desember 2019. Pengolahan data yang sudah dilakukan pada penelitian ini yaitu melakukan pengolahan data *routing* dan *fitting distribution* waktu *setup*, *down time*, dan TTF. Pengolahan data *routing* memakai data perencanaan produksi dan *database* alur proses produksi dari perusahaan. Data *routing* menjadi *input* untuk *job routing* pada model simulasi. *Job* yang dipilih dari perencanaan produksi adalah yang seluruh proses produksinya berada di *plant* Surabaya. Hal ini karena ada beberapa produk yang juga diproses di *plant* Semarang, sehingga hal tersebut sudah berada di luar cakupan sistem yang didefinisikan. Waktu proses mesin dan alur proses produksi yang terpilih mengikuti

job yang terpilih. Kemudian data numerik yang bersifat stokastik yaitu waktu *setup*, *down time*, dan waktu antar kerusakan (TTF) akan dilakukan *fitting distribution*. Alasan menggunakan *fitting distribution* untuk mendapatkan nilai estimasi dari parameter distribusi probabilitas yang dipakai, sehingga nilai *random* yang muncul saat model simulasi dijalankan sudah sesuai dengan distribusi probabilitas yang dicocokkan. Selain itu *fitting distribution* dilakukan untuk mengetahui apakah data historis yang dijadikan *sample* memiliki distribusi probabilitas sesuai dengan distribusi teoritisnya. Berikut ini adalah hipotesis yang digunakan dalam *fitting distribution* (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015):

H_0 : data *sample* memiliki distribusi sesuai dengan distribusi teoritis

H_A : data *sample* tidak memiliki distribusi sesuai dengan distribusi teoritis

Parameter yang dijadikan acuan adalah *mean square error* (MSE) dan *level of significance* (α). Jika nilai $MSE < \alpha$, maka tidak menolak H_0 dan data *sample* dinyatakan memiliki distribusi probabilitas sesuai dengan distribusi teoritis yang dipilih. Pada penelitian ini, data waktu *setup* dicocokkan dengan distribusi Triangular, data TTF dicocokkan dengan distribusi Weibull, dan data *down time* dicocokkan dengan distribusi Lognormal. Pemilihan distribusi teoritis untuk masing-masing data berdasarkan Robinson (2014). *Fitting distribution* menggunakan *Input Analyzer* pada *software* Arena 14.0.

3.3 Pembuatan Model Konseptual

Menurut Robinson (2014), pembuatan model konseptual merupakan salah satu tahapan dalam melakukan simulasi dan merupakan hal yang penting untuk dilakukan sebelum membuat model simulasi berbasis komputer. Model konseptual dibuat untuk mempermudah komunikasi antara pembuat model, pemilik sistem, dan pihak eksternal selain pembuat model dan pemilik sistem. Maka dari itu diharapkan penelitian ini dapat bermanfaat bagi seluruh pihak seperti yang disebutkan pada subbab 1.4.

Pembuatan model konseptual mengikuti tahapan yang disampaikan oleh Robinson (2014). Seperti yang telah disebutkan pada subbab 2.2, sebelum membuat

model konseptual dilakukan pengumpulan dan pengolahan data. Namun proses pengumpulan data, pengolahan data, dan pembuatan model konseptual sebetulnya dilakukan secara inklusif. Pada tahap awal, pengumpulan dan pengolahan data dilakukan untuk memahami sistem dan membangun model konseptual. Setelah model konseptual selesai, diketahui kebutuhan data yang lebih detail untuk membuat model simulasi, sehingga dilakukan pengumpulan dan pengolahan data kembali untuk dijadikan *input* model simulasi. Pada penelitian ini, hal yang sudah dilakukan dalam membuat model konseptual adalah mendefinisikan komponen model konseptual, membuat model konseptual, serta melakukan validasi model konseptual. Subbab 3.3.1 dan 3.3.2 merupakan penjelasan komponen model konseptual dan validasi model konseptual yang sudah dilakukan.

3.3.1 *Komponen Model Konseptual*

Komponen model konseptual yang digunakan pada penelitian ini adalah:

1. Objektif

Objektif model adalah meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*.

2. *Input*

Data input terdiri dari 2 jenis, yaitu *exogenous variable* dan *experimental factor*. *Exogenous variable* adalah variabel yang berada di luar sistem, tidak dapat diubah nilainya oleh sistem, dan tidak terpengaruh variabel lain dalam sistem. *Experimental factor* adalah variabel yang berada dalam sistem dan dapat diubah nilainya oleh sistem. *Experimental factor* akan menjadi fokus utama pada penelitian ini karena pembuatan desain skenario berdasarkan *experimental factor* dengan harapan desain skenario dapat menjawab tujuan penelitian.

3. *Output*

Variabel *output* atau variabel respons yang diukur adalah jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. *Tardy job* adalah *job* yang selesai melewati *due date* produksi (Baker & Trietsch, 2019). *Flow time* adalah durasi setiap *job* berada dalam sistem (Baker & Trietsch, 2019).

4. Entitas

Entitas berupa material yang memiliki 3 atribut utama yaitu *job number*, *part number* (PN), dan alur proses produksi. Atribut pendukung lain adalah alternatif beberapa mesin, waktu proses pada mesin, dan *job due date*. Material ini akan diproses menjadi produk jadi (*finished good*) yang siap dikirimkan ke pelanggan. Pada model simulasi, keenam atribut yang telah disebutkan menjadi dasar untuk *create* entitas.

5. Aktivitas

Aktivitas pada sistem ini adalah proses produksi kemasan kosmetik dari *raw material* sampai produk jadi.

6. Resource

Resource yang digunakan pada sistem ini adalah mesin yang terbagi setiap stasiun kerja. Jumlah mesin pada sistem ini adalah 104 unit. Seluruh stasiun kerja kecuali stasiun kerja *assembly* memiliki 3 *shift* kerja, yaitu pada pukul 06.00-14.00, 14.00-22.00, dan 22.00-06.00. Stasiun kerja *assembly* memiliki 2 *shift* kerja yaitu pada pukul 06.00-14.00 dan 14.00-22.00.

7. Antrean

Antrean pada sistem ini adalah entitas berupa *job* yang menunggu untuk diproses pada mesin.

8. Kontrol

Kontrol pada sistem ini adalah perencanaan produksi, alur produksi setiap *job*, dan mesin yang digunakan setiap sub-produk atau material.

9. Asumsi dan Simplifikasi

Asumsi dan simplifikasi model telah disampaikan pada subbab 1.5.

3.3.2 Validasi Model Konseptual

Validasi model konseptual dilakukan untuk memastikan apakah model konseptual sudah merepresentasikan sistem nyata pada perusahaan. Hal yang divalidasi pada model adalah komponen sistem dan logika atau mekanisme dalam sistem. Menurut Robinson (2014), tidak ada metode validasi model konseptual yang formal. Pada penelitian ini, validasi yang sudah dilakukan adalah dengan komunikasi dua arah antara pembuat model yaitu penulis dengan pemilik sistem yaitu manajer produksi dan manajer *continuous improvement* perusahaan secara

berulang. Pembuat model menunjukkan model konseptual yang sudah dibuat dan pemilik sistem akan memberikan *feedback*. Model konseptual dikatakan valid apabila sudah memenuhi 4 kriteria yaitu *validity*, *credibility*, *utility*, dan *feasibility* (Robinson, 2014). Penjelasan masing-masing kriteria terdapat pada subbab 2.2.

3.4 Pembuatan Model Simulasi dan Rancangan Skenario

Tahapan selanjutnya yang dilakukan adalah membuat model simulasi, verifikasi dan validasi model simulasi, membuat desain skenario, melakukan *running experiment*, serta analisis output.

3.4.1 Pembuatan Model Simulasi

Setelah melakukan pembuatan model konseptual, maka selanjutnya dilakukan pembuatan model simulasi. Model simulasi *discrete-event* merupakan pendekatan yang dilakukan pada penelitian ini untuk melakukan pengambilan data *sample* pada rantai produksi. Pembuatan model simulasi dilakukan menggunakan *software* Arena 14.0. Model simulasi yang dibuat merupakan model *discrete-event simulation* daripada sistem produksi kemasan kosmetik. Model simulasi dibuat berdasarkan model konseptual yang sudah dibuat. Data *input* yang bersifat stokastik dilakukan *fitting distribution* pada Arena 14.0. Pada penelitian ini dibuat model simulasi awal dan model simulasi skenario.

3.4.2 Verifikasi Model Simulasi

Verifikasi model simulasi merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi sudah mencerminkan model konseptual dengan benar (Harrel et. al., 2004). Selain itu verifikasi juga untuk mengecek apakah terdapat eror pada model simulasi. Eror yang biasa terjadi adalah *undefined variables*, kesalahan pada atribut, kesalahan pada *resources*, modul yang tidak terhubung, nama modul duplikat, kesalahan pengejaan, dan lain-lain (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015). Terdapat beberapa metode untuk melakukan verifikasi model simulasi, yaitu:

1. Mengecek *model code*, dapat dilakukan dengan cara *bottom up* atau *top down*. *Bottom up* berarti mengecek modul terendah, kemudian mengecek *interface* antar 2 modul atau lebih sampai model dapat diuji sebagai satu sistem.

2. Mengecek *output* dengan cara menuliskan hasil *output*. Jika hasil sesuai dengan yang diperhitungkan, maka model simulasi sudah benar.
3. Menggunakan animasi untuk mengecek logika pada model simulasi. Misal membuat animasi untuk membedakan mesin sedang *available* dan rusak. Jika saat mesin rusak tidak ada entitas yang diproses, maka tidak terdapat eror pada model simulasi.
4. Menggunakan fitur *debug check* pada *software* simulasi yang digunakan.

3.4.3 Validasi Model Simulasi

Validasi model simulasi dilakukan untuk menentukan apakah model simulasi yang dibuat sudah sesuai dengan sistem nyata. Validasi model simulasi membandingkan data hasil simulasi dengan data historis produksi. Pada penelitian ini, validasi model simulasi menggunakan uji Student's t yang merupakan uji hipotesis dua parameter populasi untuk membuktikan apakah terdapat perbedaan antara kedua populasi (model simulasi dan sistem nyata). Berikut ini adalah tahapan dalam melakukan uji Student's t (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012):

1. Menentukan populasi yang akan dibandingkan.
2. Menentukan hipotesis nol (H_0) dan hipotesis alternatif (H_A) mengenai rata-rata populasi *output* sistem nyata (μ_1) dan rata-rata populasi output model simulasi (μ_2) yang dapat ditulis sebagai berikut.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

Jika tidak menolak H_0 , maka terbukti tidak terdapat perbedaan antara model simulasi dengan sistem nyata dan model dinyatakan valid. Jika menolak H_0 , maka terdapat perbedaan antara model simulasi dengan sistem nyata dan model dinyatakan tidak valid.

3. Menghitung rata-rata sampel dan standar deviasi sampel untuk masing-masing populasi, serta standar deviasi gabungan dari dua populasi yang dapat di hitung dengan rumus berikut.

$$Sp = \sqrt{\frac{(n_1 - 1)s_1^2 + (n_2 - 1)s_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}$$

dimana:

S_p = standar deviasi gabungan

n_1 = jumlah sampel sistem nyata, n_2 = jumlah sampel simulasi

s_1 = standar deviasi sampel sistem nyata, s_2 = standar deviasi sampel simulasi

4. Menentukan *level of significance* (α) untuk mencari nilai *t critical* pada tabel Student's t dengan mencocokkan nilai $\frac{\alpha}{2}$ dan *degree of freedom* (df) sebesar $n_1 + n_2 - 2$.
5. Menghitung nilai *t test* dengan rumus berikut.

$$t = \frac{(\bar{x}_1 - \bar{x}_2) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{\frac{1}{n_1} + \frac{1}{n_2}}}$$

dimana:

t = nilai *t test*

\bar{x}_1 = rata-rata sampel sistem nyata, \bar{x}_2 = rata-rata sampel simulasi

μ_1 = rata-rata populasi sistem nyata, μ_2 = rata-rata populasi simulasi

S_p = standar deviasi gabungan

n_1 = jumlah sampel sistem nyata, n_2 = jumlah sampel simulasi

Karena H_0 menyatakan bahwa $\mu_1 = \mu_2$ maka $\mu_1 - \mu_2 = 0$

6. Membandingkan nilai *t test* dan *t critical*. Jika memenuhi kondisi sebagai berikut maka tidak menolak H_0 dan model simulasi dinyatakan valid.

$$-t_{crit} \leq t_{test} \leq t_{crit}$$

3.4.4 Pembuatan Desain Skenario

Skenario merupakan *input* proses eksperimen model simulasi. Hasil eksperimen dari masing-masing skenario akan dibandingkan untuk memilih skenario terbaik. Variabel kontrol atau *experimental factor* yang diubah pada sistem ini adalah variabel *dispatching rule* pada mesin. Alasan penggunaan *dispatching rule* sebagai variabel acuan dalam membuat desain skenario karena *dispatching*

rule merupakan variabel yang mudah dalam implementasinya jika dibandingkan dengan variabel kontrol lain. Variabel kontrol jumlah mesin tetap mengikuti kondisi riil tanpa menambah jumlahnya dikarenakan investasi mesin membutuhkan biaya yang mahal. Variabel kontrol jenis mesin yang dipakai untuk setiap *job* tetap mengikuti kondisi riil karena tidak semua *job* dapat dikerjakan di seluruh mesin, hal ini karena terdapat kondisi yaitu *mold* untuk *part number* tertentu hanya cocok atau menghasilkan kualitas produk yang paling bagus di mesin tersebut. Variabel perencanaan produksi tidak diubah agar target *output* per bulan tetap tercapai. Variabel waktu proses *job* pada mesin juga tidak diubah karena waktu proses mengikuti kuantitas produk pada *job*, sedangkan kuantitas produk juga tetap mengikuti dari perencanaan produksi perusahaan. Variabel waktu *setup*, *down time*, dan TTF tetap mengikuti nilai kondisi riil karena pada penelitian ini tidak membahas tentang *reliability* mesin yang mana *reliability* mesin berpengaruh terhadap ketiga variabel tersebut. Variabel jumlah *shift* pada setiap stasiun kerja tidak mengalami perubahan karena 4 stasiun kerja sudah memiliki 3 *shift* selama 24 jam, dan 1 stasiun kerja dapat memakai jam *overtime* jika dibutuhkan.

Kondisi saat ini menggunakan kebijakan penjadwalan *Earliest Due Date* (EDD) untuk menentukan *job sequence*. Pada model simulasi akan dibuat skenario menggunakan *dispatching rule* yang lain. Masing-masing *dispatching rule* memiliki mekanisme yang berbeda sehingga menghasilkan *job sequence* yang berbeda juga. Alasan lain terkait penggunaan *dispatching rule* sebagai skenario simulasi karena simulasi yang digunakan pada penelitian ini adalah *discrete-event simulation*, yang mana bertujuan untuk memodelkan sistem antrean. Penggunaan *dispatching rule* yang berbeda menghasilkan antrean yang berbeda dan antrean tersebut dapat mempengaruhi kinerja sistem. Maka dari itu dipilih *dispatching rule* yang dapat mencapai tujuan penelitian ini, yaitu meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. Desain skenario diharapkan dapat menghasilkan *output* yang lebih baik daripada data historis produksi. Berikut ini adalah *dispatching rule* yang akan digunakan pada skenario simulasi (Sharma & Jain, 2015):

1. *Shortest processing time* (SPT): memilih *job* berdasarkan waktu proses terkecil.

2. *Job with similar setup and shortest processing time (JSPT)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan waktu proses terkecil. *Job* identik adalah *job* yang memiliki *setup* yang sama pada mesin. Pada penelitian ini, *part number* yang sama memiliki *setup* yang sama. Maka dari itu dapat diartikan *job* identik adalah *job* yang memiliki *part number* sama.
3. *Job with similar setup and earliest due date (JEDD)*: memilih *job* yang identik dengan *job* yang baru saja selesai pada mesin tersebut. Jika tidak ada *job* identik, maka memilih *job* berdasarkan *due date* paling awal.

3.4.5 Analisis Output

Tahapan terakhir yang dilakukan dalam penelitian ini adalah melakukan *running experiment* dan analisis *output*. Analisis *output* berupa membandingkan variabel respons antar model skenario. Pada penelitian ini, model skenario diharapkan memiliki kinerja sistem yang lebih baik daripada data historis produksi, namun tidak mewajibkan untuk mencapai target yang diinginkan oleh pemilik sistem yaitu perusahaan. Variabel respons yang diukur adalah persentase *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. Perbandingan skenario akan menggunakan analisis Box Plot, One Way ANOVA (F-Test) dan Tukey Kramer Test. Penggunaan Box Plot untuk mengetahui pola persebaran data modus pada masing-masing model. Penggunaan One Way ANOVA untuk mengetahui apakah antara model awal dan model skenario memiliki perbedaan yang signifikan. Setelah diketahui bahwa model skenario memiliki perbedaan yang signifikan dengan model awal, maka dilakukan Tukey Kramer Test untuk membandingkan signifikansi antar 2 skenario. Skenario terbaik dipilih berdasarkan dari nilai selisih yang paling signifikan, yang mana skenario tersebut memiliki jumlah *tardy job* minimal dan rata-rata *flow time* minimal. Box Plot, perhitungan One Way ANOVA dan Tukey Kramer Test menggunakan *software* Minitab 17 dan fitur Data Analysis pada Microsoft Excel. Selain itu analisis *output* juga membandingkan *job sequence* yang berbeda berdasarkan *dispatching rules* pada skenario. Model simulasi tidak menjamin hasil optimal tetapi dapat memberikan hasil yang lebih baik.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB IV

PENGUMPULAN DATA DAN PERANCANGAN MODEL

Pada bab 4 dijelaskan mengenai tahapan pengumpulan data, pengolahan data, pembuatan model konseptual, pembuatan model simulasi awal, verifikasi dan validasi model simulasi awal, serta pembuatan model simulasi skenario.

4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab 4.1 akan diuraikan mengenai hasil pengumpulan data dari objek amatan yang akan digunakan dalam melakukan pemodelan simulasi. Data yang dikumpulkan adalah data pada Januari-Desember 2019. Berikut ini adalah rincian data yang dikumpulkan:

4.1.1 *Perencanaan Produksi* dan Alur Proses Produksi

Data perencanaan produksi yang dipakai adalah data pada Desember 2019 dengan total 204 *job*. Data *job* yang tidak terdapat *due date* dinyatakan tidak valid dan tidak dimasukkan dalam penelitian ini. Tabel 4.1 adalah tabel perencanaan produksi bulan Desember 2019.

Tabel 4. 1 Perencanaan Produksi Desember 2019

No.	<i>Job Number</i>	<i>Due Date</i>
1	1571835110	24/01/2020
2	1573158210	14/01/2020
3	1572856110	23/01/2020
4	1573447310	12/12/2019
5	1571695210	16/01/2020
6	1569597210	28/11/2019
7	1571462630	22/01/2020
8	1572722110	03/12/2019
9	1573447310	04/12/2019
10	1572535310	05/12/2019
11	1573086510	09/12/2019
12	1573203310	10/12/2019
13	1573087010	09/12/2019
14	1571564750	21/12/2019
15	1572138310	05/12/2019

Tabel 4. 1 Perencanaan Produksi Desember 2019 (Lanjutan)

No.	Job Number	Due Date
16	15670244100	14/12/2019
17	1573074810	06/01/2020
18	1573251810	06/01/2020
19	1571465110	12/12/2019
20	1573204030	12/12/2019
...
204	1569933250	04/01/2020

4.1.2 Mesin pada Lantai Produksi

Mesin yang dipakai pada sistem ini sejumlah 104 unit. Setiap mesin dapat dipakai oleh lebih dari 1 jenis variasi produk, karena mesin menggunakan *mold* yang dapat diganti sesuai dengan jenis produk. Tabel 4.2 adalah tabel mesin pada setiap stasiun kerja.

Tabel 4. 2 Mesin setiap Stasiun Kerja

Stasiun Kerja	Nama Mesin		
<i>Blow Molding</i>	○ FS-1	○ VK01	○ KAUTEX1
	○ FS-2	○ VK02	○ KAUTEX2
	○ FS-3	○ VK03	○ BM-101
	○ FS-4	○ VK04	
	○ FS-5	○ VK2001	
	○ FS-6	○ VK2002	
<i>Injection Molding</i>	○ A-2	○ B-4	○ D-2
	○ A-3	○ B-6	○ BC200-1
	○ A-4	○ B-7	○ BC200-2
	○ A-6	○ B-8	○ BC200-3
	○ A-7	○ B-9	○ BC320-1
	○ A-8	○ B-10	○ BC320-2
	○ A-9	○ B-11	○ BC320-3
	○ A-10	○ B-12	○ BC320-4
	○ A-11	○ B-13	○ BC320-5
	○ A-12	○ B-14	○ BC320-6
	○ A-14	○ B-15	○ BC320-7
	○ A-15	○ B-17	○ BC320-8
	○ B-1	○ C-1	○ HT-1
	○ B-2	○ C-2	○ HT-2
	○ B-3	○ D-1	○ HT-3

Tabel 4. 2 Mesin setiap Stasiun Kerja (Lanjutan)

Stasiun Kerja	Nama Mesin		
<i>Stamping</i>	○ KKS-1	○ KKS-13	○ RT 6 A
	○ KKS-2	○ KKS-15	○ RT 6 B
	○ KKS-3	○ KKS-16	○ RT 6 C
	○ KKS-4	○ KKS-17	○ RT 8
	○ KKS-5	○ KKS-18	
	○ KKS-8	○ KKS-19	
	○ KKS-9	○ KKS-20	
	○ KKS-10	○ RF 300 A	
	○ KKS-11	○ RF 300 B	
	○ KKS-12	○ RF 300 C	
<i>Printing</i>	○ ATMA-1	○ ATMA-4	○ SK 3 A2
	○ ATMA-2	○ NOVAX	
	○ ATMA-3	○ PEGASUS	
<i>Assembly</i>	○ LINE-1	○ LINE-6	○ LINE-11
	○ LINE-2	○ LINE-7	○ LINE-12
	○ LINE-3	○ LINE-8	○ LINE-13
	○ LINE-4	○ LINE-9	
	○ LINE-5	○ LINE-10	

4.2 Pengolahan Data

Pengolahan data yang dilakukan pada penelitian ini adalah pengolahan data perencanaan produksi dan alur proses produksi untuk menjadi data *job routing*, serta pengolahan data historis durasi antar kerusakan mesin (TTF), durasi *setup* mesin, dan durasi *down time* mesin yang selanjutnya dilakukan *fitting distribution*. *Fitting distribution* menggunakan Input Analyzer pada Arena 14.0 dan dilakukan dengan cara mencocokkan terhadap distribusi teoritis dari jenis data tersebut. Data TTF menggunakan distribusi Weibull, data *setup mesin* menggunakan distribusi triangular, dan data *down time* menggunakan distribusi Lognormal (Robinson, 2014). Alasan menggunakan *fitting distribution* untuk mendapatkan nilai estimasi dari parameter distribusi probabilitas yang dipakai, sehingga nilai *random* yang muncul saat model simulasi dijalankan sudah sesuai dengan distribusi probabilitas yang dicocokkan. Selain itu *fitting distribution* dilakukan untuk mengetahui apakah data historis yang dijadikan *sample* memiliki distribusi sesuai dengan distribusi teoritisnya. Berikut ini adalah hipotesis yang digunakan dalam *fitting distribution* (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015):

H_0 : data *sample* memiliki distribusi sesuai dengan distribusi teoritis

H_A : data *sample* tidak memiliki distribusi sesuai dengan distribusi teoritis

Parameter yang dijadikan acuan adalah *mean square error* (MSE) dan *level of significance* (α). Jika nilai $MSE < \alpha$, maka tidak menolak H_0 dan data *sample* dinyatakan berdistribusi sesuai dengan distribusi teoritis yang dipilih. Nilai α yang digunakan pada penelitian ini sebesar 5%. Pada penelitian ini, seluruh distribusi probabilitas memiliki nilai $MSE < \alpha$ sehingga dinyatakan bahwa seluruh nilai distribusi yang dipakai sudah akurat. Berikut ini adalah tabel hasil *fitting distribution* pada seluruh stasiun kerja untuk ketiga data yang telah disebutkan. Tabel 4.3 adalah tabel *job routing* yang digunakan sebagai *input* model simulasi, Tabel 4.4 dan Tabel 4.5 adalah hasil *fitting distribution* pada stasiun kerja *blow molding* dan *injection molding*.

Tabel 4. 3 Data Job Routing Desember 2019

No.	Job Number	Proses (stage)	Stasiun Kerja	Part Number	Waktu Proses (jam)	Alternatif Mesin	Due Date
1	1572722110	O-1	Blow Molding	970650	139.6	FS-1, FS-4, VK01	03/12/2019
2	1573087010	O-1	Blow Molding	938009	13.9	VK2001, VK2002	09/12/2019
		O-2	Printing	939443	6.0	PEGASUS	
3	1572685310	O-1	Injection Molding	1114932	49.8	BC320-5	30/01/2020
		O-2	Stamping	1114931	68.5	RT 6 C	
		O-3	Injection Molding	1114934	85.6	BC200-3	
		O-4	Injection Molding	1114935	80.0	B-6, BC200-3	
		O-5	Assembly	1114930	35.4	LINE1-LINE11	
...
204	1573086910	O-1	Printing	728289	32.5	PEGASUS	06/12/2019

Tabel 4. 4 Fitting Distribution Stasiun Kerja Blow Molding

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
FS-1	TRIA(1.03, 1.33, 4)	1 + WEIB(14.7, 0.833)	LOGN(1.4, 1.58)
FS-2	TRIA(0, 1.91, 4)	1 + WEIB(17.8, 0.586)	LOGN(2.04, 2.31)
FS-3	TRIA(0.999, 2.5, 6)	1 + WEIB(13.1, 0.77)	LOGN(1.64, 1.8)
FS-4	TRIA(0.52, 2.7, 3.88)	1 + WEIB(11, 0.862)	LOGN(2.03, 2.04)
FS-5	TRIA(0.999, 2.2, 5)	WEIB(14.7, 0.889)	LOGN(1.57, 1.6)

Tabel 4. 4 Fitting Distribution Stasiun Kerja Blow Molding (Lanjutan)

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
FS-6	TRIA(0.999, 2.4, 5.68)	1 + WEIB(13.8, 0.749)	LOGN(1.89, 1.98)
VK01	TRIA(1.08, 2.2, 4.82)	WEIB(16.9, 0.681)	LOGN(1.47, 1.58)
VK02	TRIA(0, 2.6, 4)	2 + WEIB(39.9, 1.23)	LOGN(1.25, 1.11)
VK03	TRIA(1.07, 3.62, 5)	2 + WEIB(10.5, 0.628)	LOGN(1.93, 2.22)
VK04	TRIA(0.25, 0.588, 4)	1 + WEIB(47.7, 1.48)	LOGN(2.21, 1.36)
VK2001	TRIA(1, 1.73, 3.66)	2 + WEIB(46, 1.87)	LOGN(1.79, 1.38)
VK2002	TRIA(1, 2.08, 2.97)	1 + WEIB(50.9, 1.6)	LOGN(1.26, 1.05)
KAUTEX1	TRIA(0.25, 1.83, 2)	2 + WEIB(46.6, 1.36)	LOGN(1.83, 1.77)
KAUTEX2	TRIA(0.15, 1.54, 1.72)	WEIB(64.1, 2.39)	LOGN(1.11, 1.21)
BM-101	TRIA(1.03, 1.33, 4)	1 + WEIB(45, 1.46)	LOGN(1.37, 1.6)

Tabel 4. 5 Fitting Distribution Stasiun Kerja Injection Molding

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
A-2	TRIA(0, 0.5, 5)	1 + WEIB(13.8, 1.05)	LOGN(1.17, 1.61)
A-3	TRIA(0.19, 0.771, 6)	WEIB(14.7, 1.06)	LOGN(1.29, 1.75)
A-4	TRIA(0.3, 1.44, 3.93)	WEIB(16.4, 0.98)	LOGN(1.53, 2.31)
A-6	TRIA(0.14, 2.07, 4)	1 + WEIB(20.1, 0.812)	LOGN(1.43, 1.97)
A-7	TRIA(0.59, 1.93, 3.89)	1 + WEIB(14.3, 0.964)	LOGN(1.35, 1.99)
A-8	TRIA(0, 1.8, 6)	WEIB(17.9, 1.03)	LOGN(1.41, 2.42)
A-9	TRIA(0.19, 2.34, 3.58)	WEIB(17.9, 1.03)	LOGN(1.54, 2.07)
A-10	TRIA(0.6, 1.72, 3.34)	WEIB(14.8, 0.999)	LOGN(1.59, 2.48)
A-11	TRIA(1.14, 2.5, 3.34)	1 + WEIB(14.6, 0.751)	LOGN(1.45, 1.89)
A-12	TRIA(0.02, 1.26, 5.67)	WEIB(14.8, 1.11)	LOGN(1.04, 1.27)
A-14	TRIA(0, 1.7, 3.4)	WEIB(19.1, 0.9)	LOGN(1.28, 1.55)
A-15	TRIA(1.38, 2.84, 4.3)	WEIB(18.6, 0.754)	LOGN(1.41, 1.87)
B-1	TRIA(1, 1.06, 2.8)	2 + WEIB(17.3, 0.904)	LOGN(0.775, 1.04)
B-2	TRIA(0, 1.5, 5)	2 + WEIB(14.8, 0.904)	LOGN(1.12, 1.69)
B-3	TRIA(0.05, 2.18, 4)	1 + WEIB(17.1, 0.945)	LOGN(1.27, 1.79)
B-4	TRIA(1, 2.34, 4.83)	1 + WEIB(18.7, 0.809)	LOGN(1.22, 1.91)
B-6	TRIA(0.38, 1.77, 5)	WEIB(19.6, 0.993)	LOGN(1.03, 1.49)
B-7	TRIA(0, 0.563, 6)	WEIB(16.1, 0.913)	LOGN(1.66, 2.88)
B-8	TRIA(0, 2.2, 2.73)	2 + WEIB(15.5, 0.981)	LOGN(0.908, 1.35)
B-9	TRIA(0, 2.19, 4)	1 + WEIB(15.1, 0.988)	LOGN(1.03, 1.45)
B-10	TRIA(0, 1.2, 4)	1 + WEIB(14.5, 1.04)	LOGN(1.23, 1.82)
B-11	TRIA(0.001, 0.593, 5.94)	1 + WEIB(15.4, 0.969)	LOGN(1.02, 1.33)
B-12	TRIA(0, 1.99, 2.62)	1 + WEIB(19.6, 1.01)	LOGN(0.981, 1.63)
B-13	TRIA(0.54, 1.48, 3.66)	WEIB(17.7, 1.13)	LOGN(1.01, 1.56)
B-14	TRIA(0, 2.75, 5)	3 + WEIB(10.6, 0.864)	LOGN(0.98, 1.31)
B-15	TRIA(0, 0.9, 6)	1 + WEIB(13.3, 1.15)	LOGN(0.849, 1.06)

Tabel 4. 5 Fitting Distribution Stasiun Kerja Injection Molding (Lanjutan)

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
B-17	TRIA(0.14, 1.93, 4)	WEIB(16.9, 1.03)	LOGN(0.914, 1.22)
C-1	TRIA(0.1, 1.87, 5.99)	WEIB(20.1, 1.02)	LOGN(1.15, 1.96)
C-2	TRIA(0.11, 2.5, 3.78)	1 + WEIB(19.5, 0.706)	LOGN(1.12, 1.68)
D-1	TRIA(1, 2.2, 5.81)	WEIB(17.9, 1.04)	LOGN(1.01, 1.48)
D-2	TRIA(0, 1.96, 5.83)	WEIB(17.7, 0.903)	LOGN(1.19, 1.79)
BC200-1	TRIA(1.15, 3.49, 5.41)	WEIB(18.1, 0.995)	LOGN(0.921, 1.27)
BC200-2	TRIA(0, 0.619, 4)	WEIB(14.2, 1.06)	LOGN(1.28, 1.74)
BC200-3	TRIA(0.999, 2.39, 5.62)	1 + WEIB(14.1, 0.96)	LOGN(1.46, 2.27)
BC320-1	TRIA(0, 0.652, 6)	WEIB(17.3, 0.983)	LOGN(0.939, 1.37)
BC320-2	TRIA(0.03, 0.427, 4)	WEIB(16.3, 0.871)	LOGN(1.31, 1.93)
BC320-3	TRIA(0.22, 1.23, 3.58)	1 + WEIB(13.5, 0.912)	LOGN(1.46, 1.83)
BC320-4	TRIA(0, 2.53, 3.61)	WEIB(18.9, 0.889)	LOGN(1.37, 2.09)
BC320-5	TRIA(2.38, 2.64, 5)	1 + WEIB(18.5, 0.776)	LOGN(1.23, 1.73)
BC320-6	TRIA(1, 2.24, 4.65)	WEIB(16.1, 1.04)	LOGN(1.09, 1.39)
BC320-7	TRIA(0.63, 2.53, 3.5)	2 + WEIB(12.1, 0.926)	LOGN(1.27, 1.42)
BC320-8	TRIA(0, 0.681, 6.81)	4 + WEIB(11.8, 2.87)	LOGN(1, 1.34)
HT-1	TRIA(0, 1.71, 6.99)	1 + WEIB(20.1, 0.842)	LOGN(1.37, 1.9)
HT-2	TRIA(0, 3.12, 6.94)	2 + WEIB(13.2, 0.923)	LOGN(1.05, 1.1)
HT-3	TRIA(0, 0.92, 6)	2 + WEIB(14, 0.907)	LOGN(1.37, 2.03)

Tabel 4.6, Tabel 4.7, dan Tabel 4.8 adalah hasil *fitting distribution* pada stasiun kerja *printing*, *stamping*, dan *assembly*.

Tabel 4. 6 Fitting Distribution Stasiun Kerja Printing

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
ATMA-1	TRIA(0.09, 1.07, 2.81)	4 + WEIB(27.7, 0.639)	LOGN(1.14, 0.759)
ATMA-2	TRIA(0, 0.7, 2)	4 + WEIB(25.3, 0.718)	LOGN(1.11, 0.784)
ATMA-3	TRIA(0.25, 0.512, 2)	3 + WEIB(25.6, 0.656)	LOGN(1.18, 0.903)
ATMA-4	TRIA(0, 1, 4)	3 + WEIB(31.6, 0.749)	LOGN(1.21, 0.868)
NOVAX	TRIA(0, 0.715, 2.86)	5 + WEIB(29.8, 0.573)	LOGN(1.4, 0.831)
PEGASUS	TRIA(0.07, 1.1, 3)	4 + WEIB(70.9, 0.613)	LOGN(1.15, 0.886)
SK 3 A2	TRIA(0, 0.698, 2.79)	6 + WEIB(44.9, 0.611)	LOGN(0.827, 0.758)

Tabel 4. 7 Fitting Distribution Stasiun Kerja Stamping

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
KKS-1	TRIA(0.25, 0.631, 2)	5 + WEIB(23.5, 0.645)	LOGN(0.745, 0.601)
KKS-2	TRIA(0.25, 0.31, 0.53)	5 + WEIB(12.7, 0.641)	LOGN(0.772, 0.569)
KKS-3	TRIA(0.05, 0.601, 1)	5 + WEIB(15.4, 0.554)	LOGN(0.956, 0.699)

Tabel 4. 7 Fitting Distribution Stasiun Kerja Stamping (Lanjutan)

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
KKS-4	TRIA(0, 0.226, 0.93)	5 + WEIB(11.8, 0.605)	LOGN(0.704, 0.488)
KKS-5	TRIA(0.14, 0.202, 0.55)	5 + WEIB(19.7, 0.545)	LOGN(0.914, 0.64)
KKS-8	TRIA(0.24, 0.33, 0.55)	6 + WEIB(11.6, 0.435)	0.01 + LOGN(0.905, 0.455)
KKS-9	TRIA(0.42, 0.517, 1)	5 + WEIB(25, 0.619)	LOGN(0.891, 0.764)
KKS-10	TRIA(0.9, 1.12, 1.47)	5 + WEIB(12, 0.553)	LOGN(0.916, 0.647)
KKS-11	TRIA(1, 1.04, 1.24)	5 + WEIB(11, 0.588)	LOGN(0.958, 0.583)
KKS-12	TRIA(0.32, 0.515, 1.62)	5 + WEIB(14.8, 0.517)	LOGN(0.964, 0.643)
KKS-13	TRIA(0.41, 0.62, 0.94)	5 + WEIB(13.8, 0.56)	LOGN(0.887, 0.53)
KKS-15	TRIA(0.22, 0.34, 0.53)	5 + WEIB(18.3, 0.481)	LOGN(0.835, 0.564)
KKS-16	TRIA(0.41, 0.559, 1)	5 + WEIB(8.44, 0.609)	LOGN(2.94, 1.42)
KKS-17	TRIA(1, 1.04, 1.24)	6 + WEIB(31.5, 0.512)	LOGN(0.749, 0.632)
KKS-18	TRIA(0, 0.226, 0.93)	4 + WEIB(11.4, 0.607)	LOGN(3.3, 2.02)
KKS-19	TRIA(0.22, 0.34, 0.51)	5 + WEIB(18.5, 0.547)	LOGN(0.719, 0.645)
KKS-20	TRIA(0.41, 0.543, 1)	4 + WEIB(18.7, 0.516)	LOGN(1.06, 0.763)
RF 300 A	TRIA(0.23, 0.407, 0.83)	4 + WEIB(16.3, 0.657)	LOGN(0.972, 0.658)
RF 300 B	TRIA(0.18, 0.409, 1.71)	2 + WEIB(19.9, 0.723)	LOGN(0.995, 0.68)
RF 300 C	TRIA(0.33, 0.409, 0.86)	5 + WEIB(11.9, 0.599)	LOGN(3.33, 2.04)
RT 6 A	TRIA(0.02, 0.402, 1.14)	6 + WEIB(24.1, 0.588)	LOGN(0.752, 0.681)
RT 6 B	TRIA(0.47, 0.535, 0.62)	5 + WEIB(22.1, 0.592)	LOGN(0.978, 0.847)
RT 6 C	TRIA(0.03, 0.32, 1.12)	6 + WEIB(17.2, 0.528)	LOGN(0.808, 0.533)
RT 8	TRIA(0.34, 0.406, 1)	4 + WEIB(28, 0.619)	LOGN(0.728, 0.576)

Tabel 4. 8 Fitting Distribution Stasiun Kerja Assembly

Mesin	Setup Time (Jam)	TTF (Jam)	Down Time (Jam)
LINE-1	TRIA(0.12, 0.384, 1)	3 + WEIB(23.4, 0.898)	LOGN(1.1, 1.21)
LINE-2	TRIA(0.12, 0.384, 1)	2 + WEIB(26.2, 0.863)	LOGN(0.96, 1.13)
LINE-3	TRIA(0.16, 0.304, 0.64)	3 + WEIB(27.1, 0.905)	LOGN(1.03, 1.1)
LINE-4	TRIA(0.06, 0.396, 0.54)	4 + WEIB(47.4, 0.685)	LOGN(0.606, 0.704)
LINE-5	TRIA(0.15, 0.33, 0.75)	4 + WEIB(29.3, 0.769)	LOGN(1.07, 1.36)
LINE-6	TRIA(0.07, 0.486, 0.58)	3 + WEIB(32.4, 0.894)	LOGN(0.596, 0.65)
LINE-7	TRIA(0, 0.127, 1)	2 + WEIB(26.4, 0.927)	LOGN(0.847, 0.921)
LINE-8	TRIA(0.06, 0.204, 0.54)	4 + WEIB(24.1, 0.875)	LOGN(0.591, 0.728)
LINE-9	TRIA(0.14, 0.408, 0.79)	4 + WEIB(28.7, 0.824)	LOGN(0.735, 0.693)
LINE-10	TRIA(0.05, 0.35, 0.65)	3 + WEIB(22.1, 0.894)	LOGN(0.98, 1.02)
LINE-11	TRIA(0.26, 0.308, 0.74)	4 + WEIB(24.4, 0.927)	LOGN(0.664, 0.591)
LINE-12	TRIA(0.24, 0.345, 0.54)	WEIB(110, 0.868)	LOGN(0.676, 0.782)
LINE-13	TRIA(0.11, 0.435, 1.43)	4 + WEIB(19.2, 0.543)	LOGN(1.03, 1.05)

4.3 Pembuatan Model Konseptual

Pada subbab ini berisi pembuatan model konseptual dengan *dispatching rule* kondisi riil yaitu *Earliest Due Date* (EDD). Berikut ini adalah komponen model konseptual pada sistem produksi ini:

1. Objektif

Objektif model adalah meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*.

2. Input

Data input terdiri dari 2 jenis, yaitu *exogenous variable* dan *experimental factor*. Tabel 4.9 menampilkan variabel *input* pada sistem produksi ini.

Tabel 4.9 Variabel Input Model

Variabel <i>Input</i>	Jenis Variabel
<i>Demand</i> (unit)	<i>Exogenous variable</i>
Kuantitas per <i>order</i> (unit)	<i>Exogenous variable</i>
Perencanaan produksi (unit <i>job</i> per bulan)	<i>Experimental factor</i>
Alur proses produksi	<i>Experimental factor</i>
<i>Dispatching rules</i>	<i>Experimental factor</i>
Jenis mesin	<i>Experimental factor</i>
Jumlah mesin (unit)	<i>Experimental factor</i>
Waktu proses (jam)	<i>Experimental factor</i>
Waktu <i>setup</i> (jam)	<i>Experimental factor</i>
<i>Down time</i> (jam)	<i>Experimental factor</i>
TTF (jam)	<i>Experimental factor</i>

3. Output

Variabel *output* yang diukur adalah jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. *Tardy job* adalah *job* yang selesai melewati *due date* produksi (Baker & Trietsch, 2019). *Flow time* adalah durasi setiap *job* berada dalam sistem (Baker & Trietsch, 2019).

4. Entitas

Entitas berupa material yang memiliki 6 atribut yaitu *job number*, *part number* (PN), alur proses produksi (*stage* dan stasiun kerja yang dituju), alternatif beberapa mesin, waktu proses pada mesin, dan *job due date*. Pada model simulasi, keenam atribut yang telah disebutkan menjadi dasar untuk

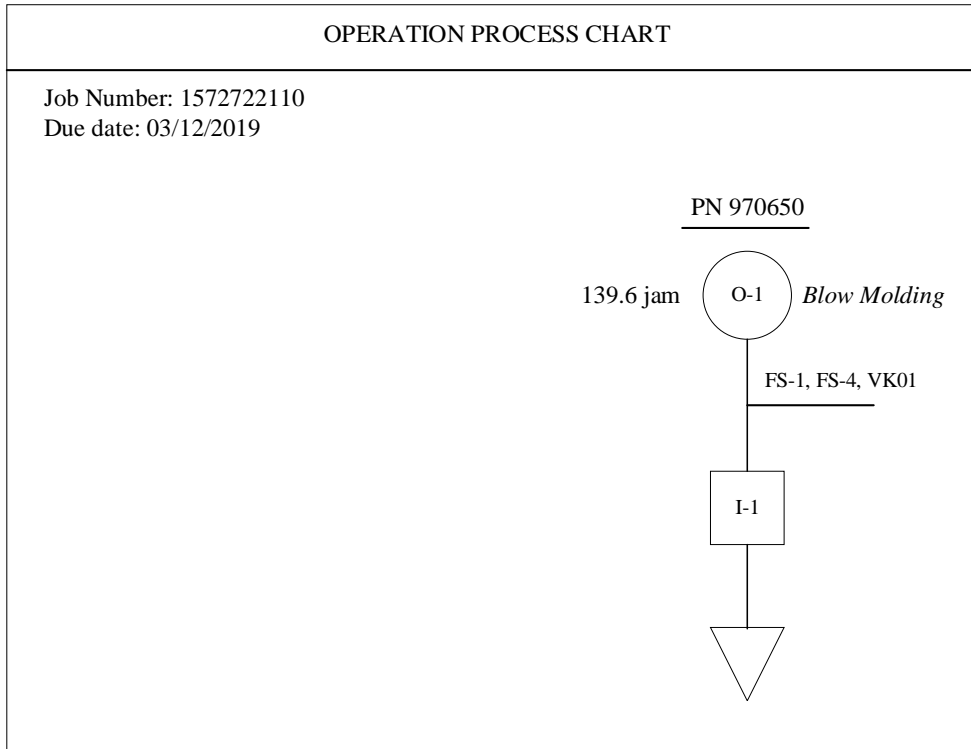
create entitas. *Job* berupa mengerjakan material dengan metode *batch production*, yang mana *batch size* sesuai dengan data perencanaan produksi. Berikut ini adalah contoh entitas pada sistem ini, serta *operation process chart* untuk menggambarkan bagaimana material diproses.

Tabel 4. 10 Contoh Data Job Routing

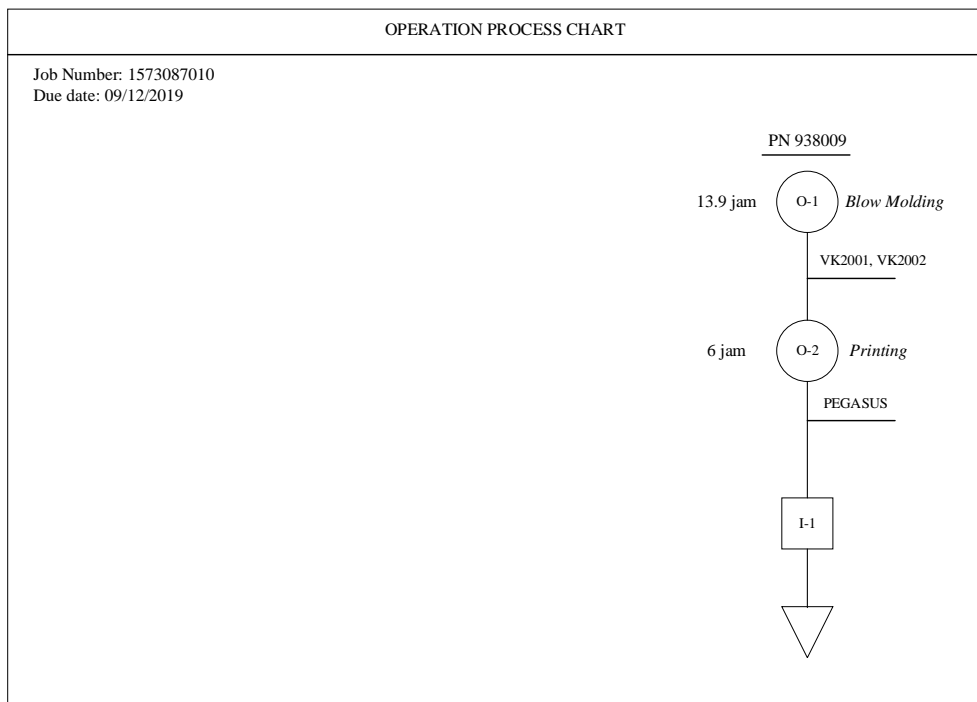
No	Job Number	Proses (stage)	Stasiun Kerja	Part Number	Waktu Proses (jam)	Alternatif Mesin	Due Date
1	1572722110	O-1	<i>Blow Molding</i>	970650	139.6	FS-1, FS-4, VK01	03/12/2019
2	1573087010	O-1	<i>Blow Molding</i>	938009	13.9	VK2001, VK2002	09/12/2019
		O-2	<i>Printing</i>	939443	6.0	PEGASUS	
3	1572685310	O-1	<i>Injection Molding</i>	1114932	49.8	BC320-5	30/01/2020
		O-2	<i>Stamping</i>	1114931	68.5	RT 6 C	
		O-3	<i>Injection Molding</i>	1114934	85.6	BC200-3	
		O-4	<i>Injection Molding</i>	1114935	80.0	B-6, BC200-3	
		O-5	<i>Assembly</i>	1114930	35.4	LINE1-LINE11	

Contoh pertama adalah pada *job* No. 1 dengan *job number* 1572722110 yang ditampilkan pada Gambar 4.1. *Job* tersebut hanya terdiri dari 1 jenis sub-produk dengan *part number* 970650. Proses yang dibutuhkan oleh *job* tersebut hanya *blow molding* dengan waktu proses 139,6 jam. Proses tersebut dapat dikerjakan oleh mesin FS-1, FS-4, atau VK01.

Contoh kedua adalah pada *job* No. 2 dengan *job number* 1573087010 yang ditampilkan pada Gambar 4.2. *Job* tersebut hanya terdiri dari 1 jenis sub-produk, namun membutuhkan 2 proses. Proses pertama yaitu *blow molding* memiliki *part number* (PN) 938009, dengan waktu proses 13,9 jam. Proses *blow molding* dapat dikerjakan oleh mesin VK2001 atau VK2002. Kemudian proses kedua yaitu *printing*, yang mana PN berubah dari 938009 menjadi 939443. Proses *printing* membutuhkan waktu 6 jam dan hanya dapat dikerjakan oleh mesin PEGASUS.

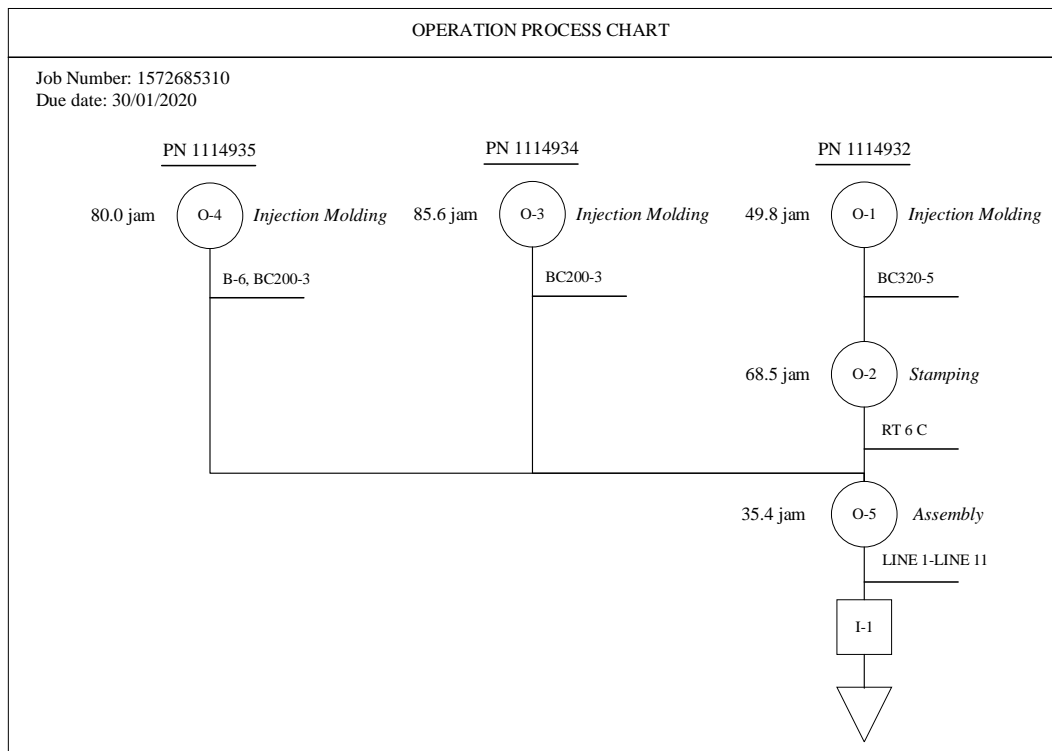


Gambar 4. 1 Operation Process Chart pada Job 1572722110



Gambar 4. 2 Operation Process Chart pada Job 1573087010

Contoh ketiga yaitu pada *job* No. 3 dengan *job number* 1572685310 yang ditampilkan pada Gambar 4.3. *Job* tersebut terdiri dari 3 jenis sub-produk, yang mana ketiga sub-produk akan dirakit menjadi 1. Sub-produk pertama memiliki PN 1114932 pada proses *injection molding*, kemudian berubah menjadi PN 1114931 saat proses *stamping*. Sub-produk kedua hanya membutuhkan proses *injection molding* dengan PN 1114934. Sub-produk ketiga juga hanya membutuhkan proses *injection molding* dengan PN 1114935. Pengerjaan 3 sub-produk pada proses *injection molding* dilakukan secara paralel. Ketika 3 sub-produk tersebut sudah selesai diproses, maka akan dilakukan *assembly* menjadi 1 sub-produk dengan PN 1114930. Proses *assembly* dilakukan pada salah satu lini perakitan, antara LINE 1 sampai LINE 11.

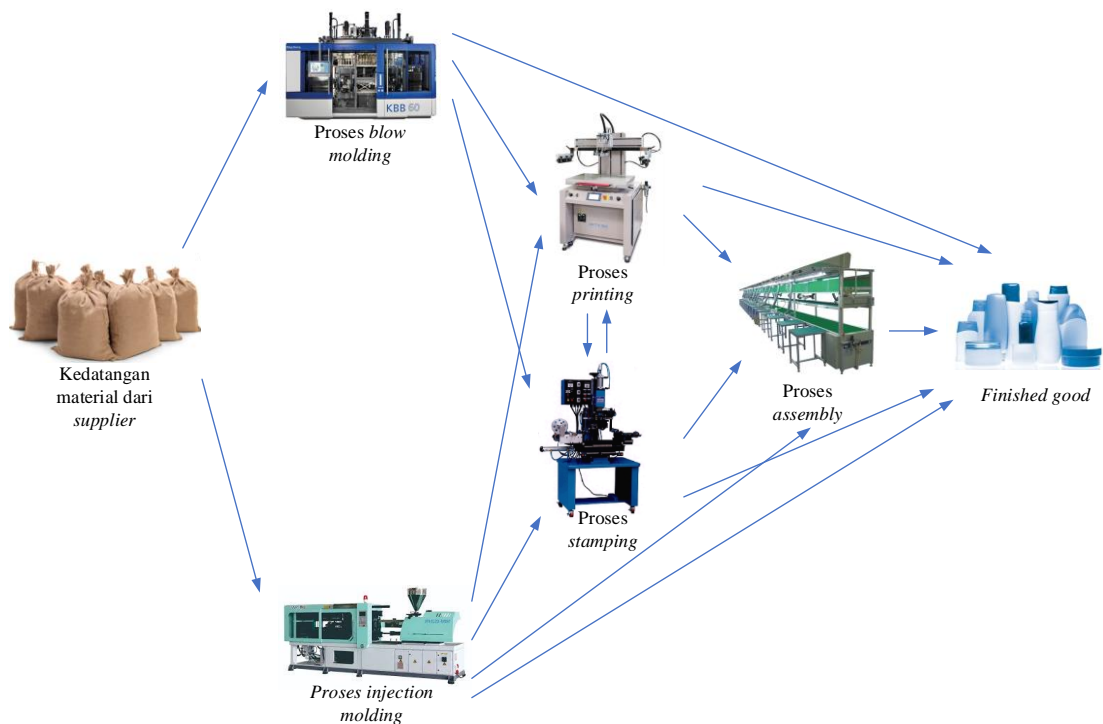


Gambar 4. 3 Operation Process Chart pada Job 1572685310

5. Aktivitas

Aktivitas pada sistem ini adalah proses produksi kemasan kosmetik dari *raw material* sampai produk jadi. Proses produksi dimulai dari kedatangan material dari gudang *raw material* ke rantai produksi. Material kemudian diproses pada

stasiun kerja *blow molding* atau *injection molding*. Stasiun kerja *blow molding* untuk menghasilkan kemasan botol, sedangkan *injection molding* untuk menghasilkan kemasan *compact*. Setelah dari stasiun kerja *molding* akan diproses pada stasiun kerja dekorasi, yaitu *printing* dan *stamping*. Jika seluruh sub-produk dengan *job number* yang sama selesai diproses selanjutnya dirakit pada stasiun kerja *assembly* dan produk jadi disimpan di gudang *finished good*. Alur proses produksi ditampilkan pada Gambar 4.4.



Gambar 4. 4 Alur Proses Produksi Kemasan Kosmetik pada Objek Amatan

Tabel 4.11 menampilkan 13 jenis alur produksi yang terdapat pada sistem produksi ini, yang mana setiap *job* hanya memiliki 1 alur namun dapat terdiri dari 1-4 proses (*stage*).

Tabel 4. 11 Detail Alur Produksi Kemasan Kosmetik

Alur Produksi	
Alur Produksi 1	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → <i>Printing</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi

Tabel 4. 11 Detail Alur Produksi Kemasan Kosmetik (Lanjutan)

	Alur Produksi
Alur Produksi 2	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → <i>Stamping</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 3	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → <i>Printing</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 4	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → <i>Printing</i> → <i>Stamping</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 5	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → <i>Stamping</i> → <i>Printing</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 6	Kedatangan material → <i>Blow molding</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 7	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Printing</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 8	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Stamping</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 9	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Stamping</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 10	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 11	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Printing</i> → <i>Stamping</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 12	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → <i>Stamping</i> → <i>Printing</i> → <i>Assembly</i> → Penyimpanan produk jadi
Alur Produksi 13	Kedatangan material → <i>Injection molding</i> → Penyimpanan produk jadi

6. Resource

Resource yang digunakan pada sistem ini adalah mesin yang terbagi setiap stasiun kerja. Jumlah mesin pada sistem ini adalah 104 unit. Seluruh stasiun kerja kecuali stasiun kerja *assembly* memiliki 3 *shift* kerja, yaitu pada pukul 06.00-

14.00, 14.00-22.00, dan 22.00-06.00. Stasiun kerja *assembly* memiliki 2 *shift* kerja yaitu pada pukul 06.00-14.00 dan 14.00-22.00.

7. Antrean

Antrean pada sistem ini adalah entitas berupa *job* yang menunggu untuk diproses pada mesin.

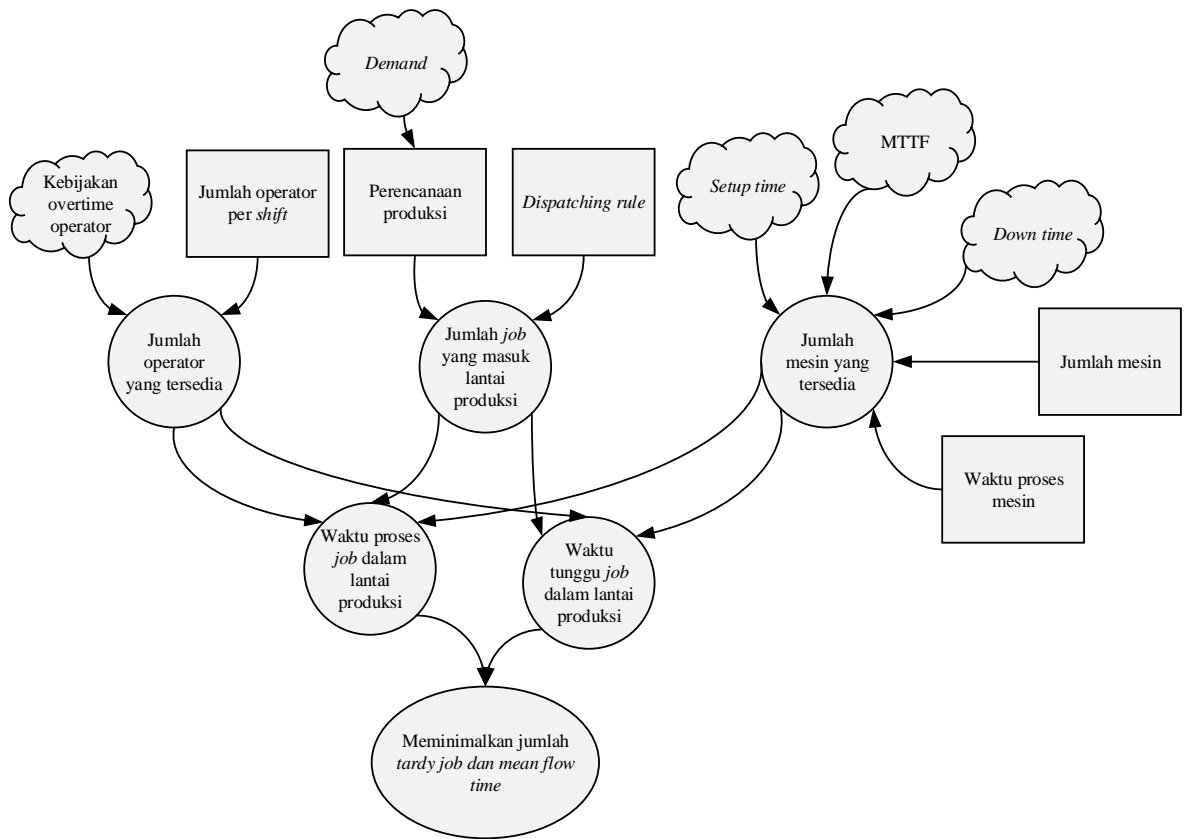
8. Kontrol

Kontrol pada sistem ini adalah perencanaan produksi, alur produksi setiap *job*, dan mesin yang digunakan setiap sub-produk atau material.

9. Asumsi dan Simplifikasi

Asumsi dan simplifikasi model telah disampaikan pada subbab 1.5.

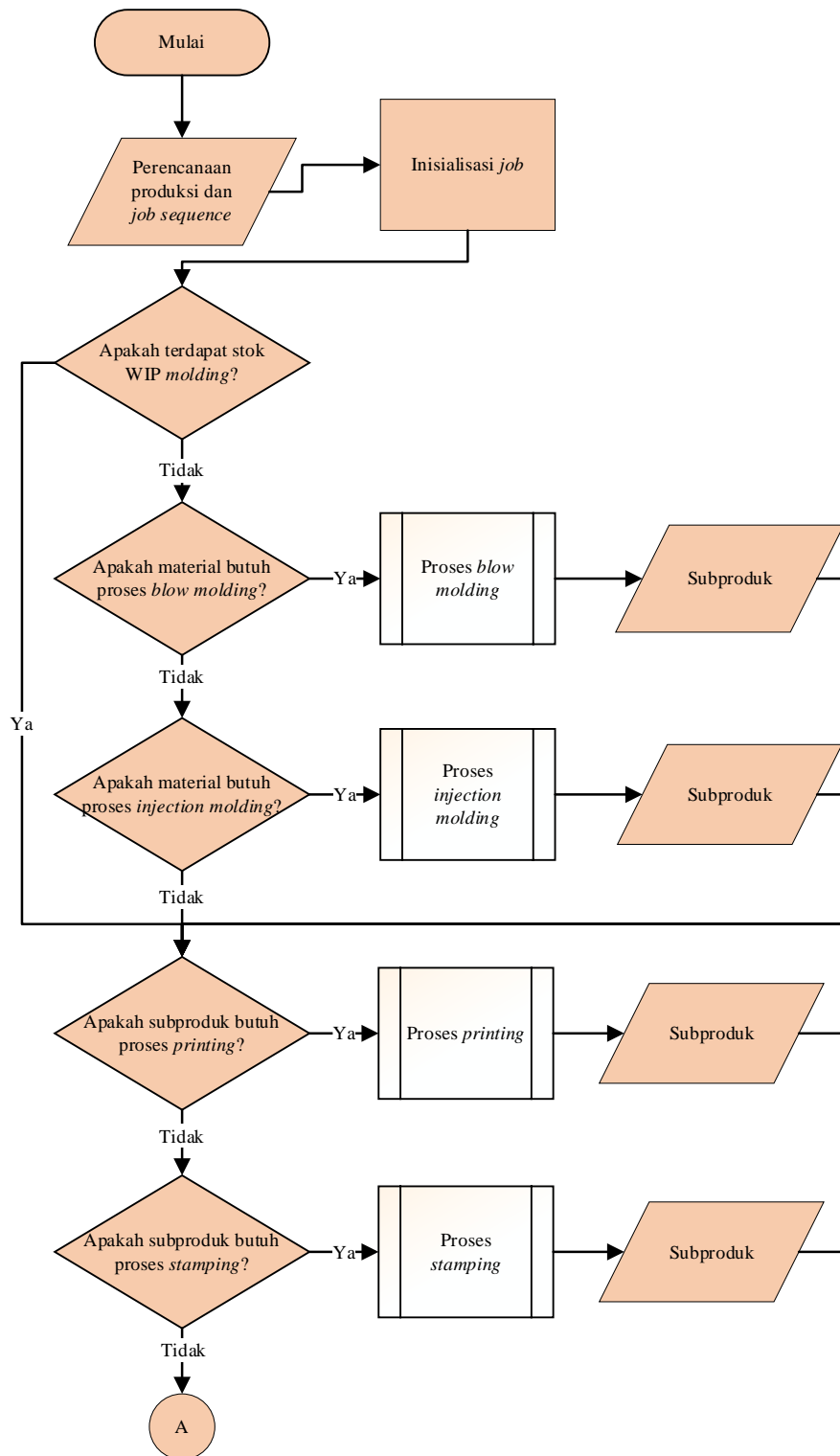
Komponen pada model konseptual dapat digambarkan dengan *influence diagram* untuk mengetahui keterkaitan komponen dalam model. Gambar 4.5 adalah *influence diagram* rantai produksi pada objek amatan. Gambar 4.5 merupakan *influence diagram* yang menggambarkan hubungan *input* dengan sistem dan komponen sistem, hubungan antar komponen sistem, serta hubungan komponen sistem dengan *output* (Daellenbach & McNickle, 2005). Persegi panjang menggambarkan *control input*. Awan menggambarkan *uncontrollable input*. Lingkaran menggambarkan variabel sistem untuk komponen sistem. Oval menggambarkan *output*. Panah menggambarkan pengaruh hubungan antar simbol. Selain *influence diagram*, dibuat juga *flow chart* yang menggambarkan alur setiap *job* saat berada pada sistem yang ditunjukkan pada Gambar 4.6 dan Gambar 4.7.



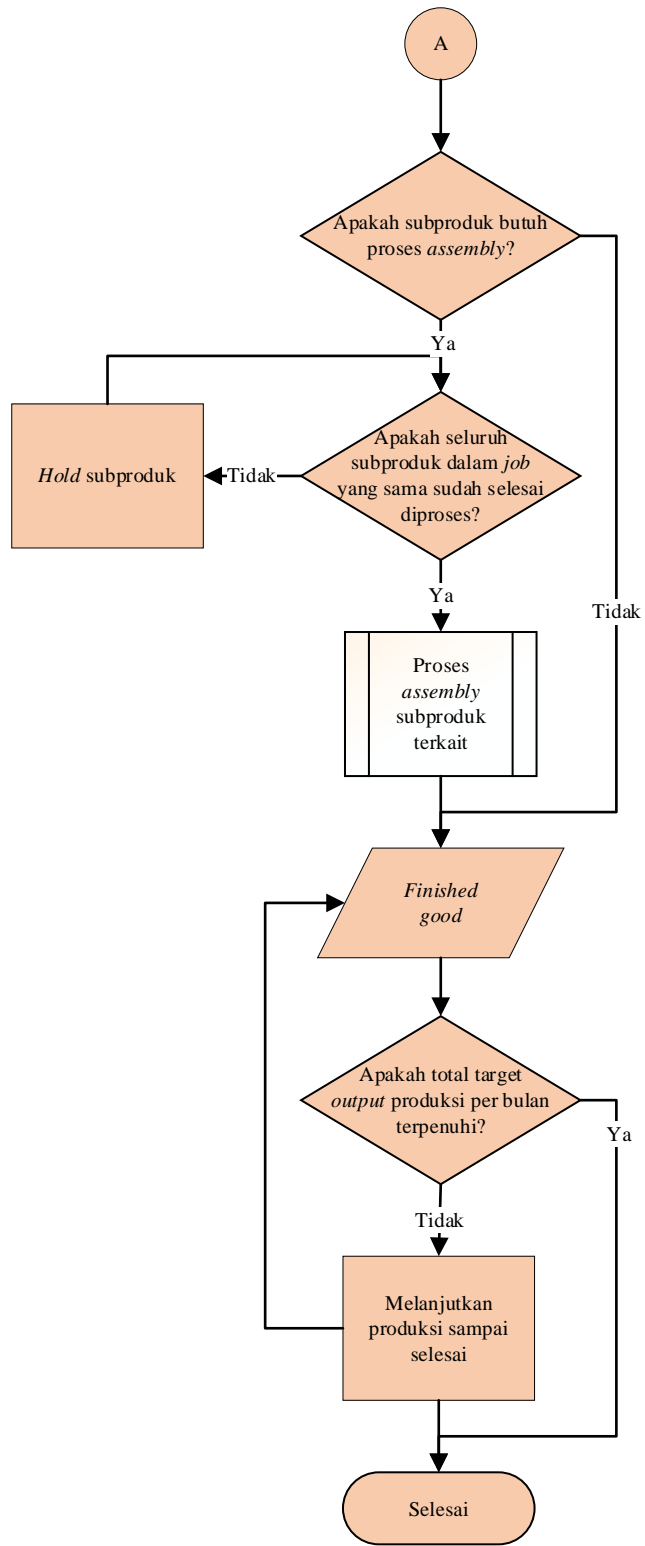
Gambar 4. 5 Influence Diagram Lantai Produksi Objek Amatan

Gambar 4.6 dan Gambar 4.7 adalah *flow chart* alur setiap *job* pada lantai produksi. Setiap material memiliki alur produksi yang sudah dijelaskan sebelumnya pada Tabel 4.12. *Output* dari setiap proses adalah sub-produk. Sebelum mulai mengerjakan *job*, akan di cek terlebih dahulu apakah sub-produk *job* terkait memiliki stok *WIP* dari stasiun kerja *blow molding* atau *injection molding*. Jika ada stok *WIP*, maka langsung melanjutkan ke proses *printing*, *stamping*, atau *assembly*. Jika tidak ada, maka proses bermula dari material dikerjakan pada stasiun kerja *molding*. Pertama material akan diproses pada stasiun kerja *blow molding* atau *injection molding*. Jika sub-produk dari stasiun kerja *molding* membutuhkan proses *printing* atau *stamping*, maka akan diproses pada stasiun kerja tersebut. Jika proses produksi tidak membutuhkan *assembly*, maka sub-produk dapat dikatakan sebagai *finished good* dan dapat langsung dikirimkan ke *customer*. Jika proses produksi membutuhkan *assembly*, maka seluruh sub-produk pada *job* yang sama harus dirakit menjadi 1 sub-produk atau produk utuh dan menjadi *finished good*. Apabila terdapat sub-produk terkait yang belum selesai diproses pada proses sebelumnya,

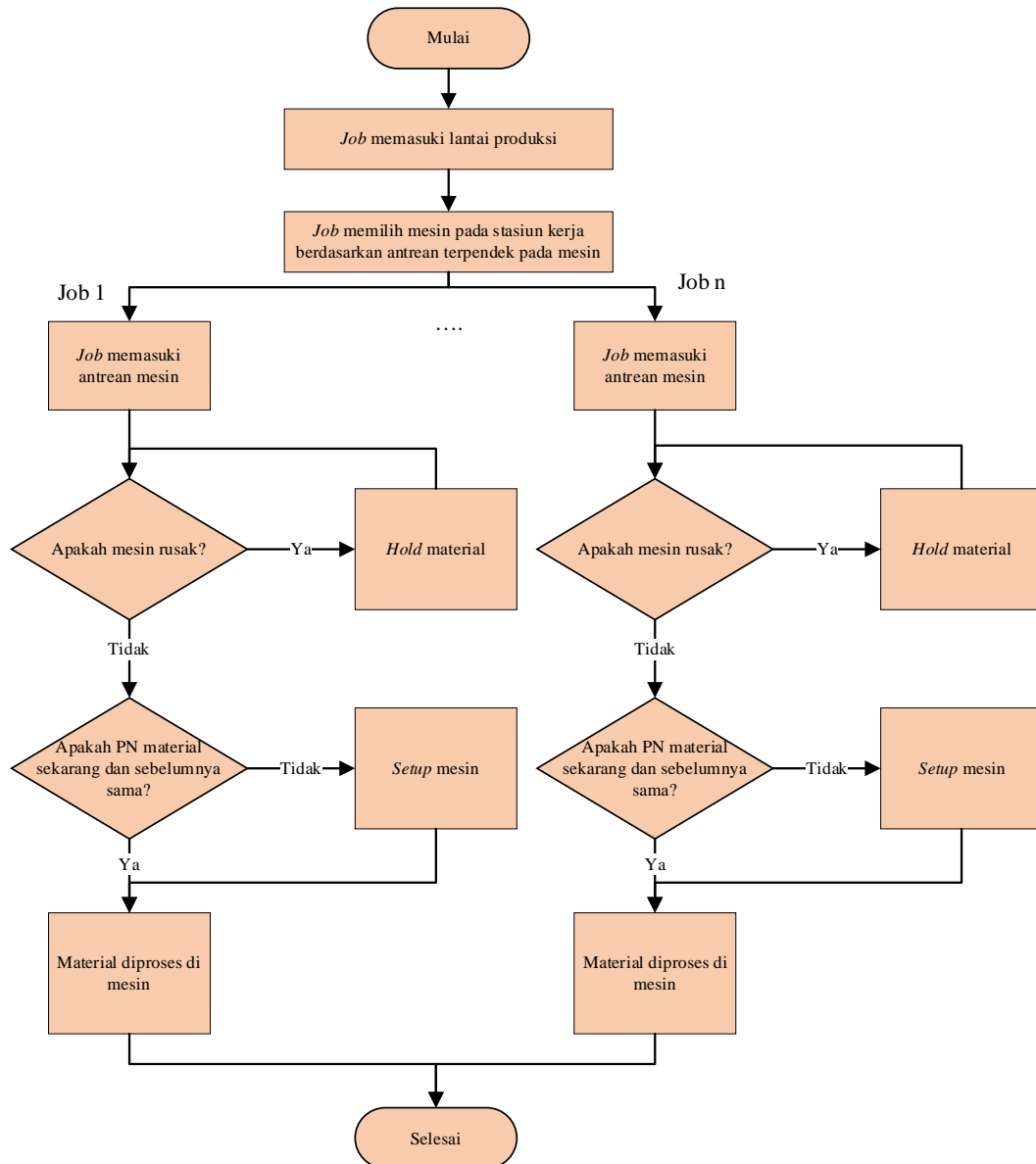
maka proses *assembly* tidak dapat dilakukan dan *sub-produk* yang sudah selesai akan disimpan di gudang sampai seluruh sub-produk lengkap.



Gambar 4. 6 Flow Chart Alur Job dalam Sistem secara Keseluruhan



Gambar 4. 7 Flow Chart Alur Job dalam Sistem secara Keseluruhan (Lanjutan)



Gambar 4. 8 Detail Proses pada setiap Stasiun Kerja

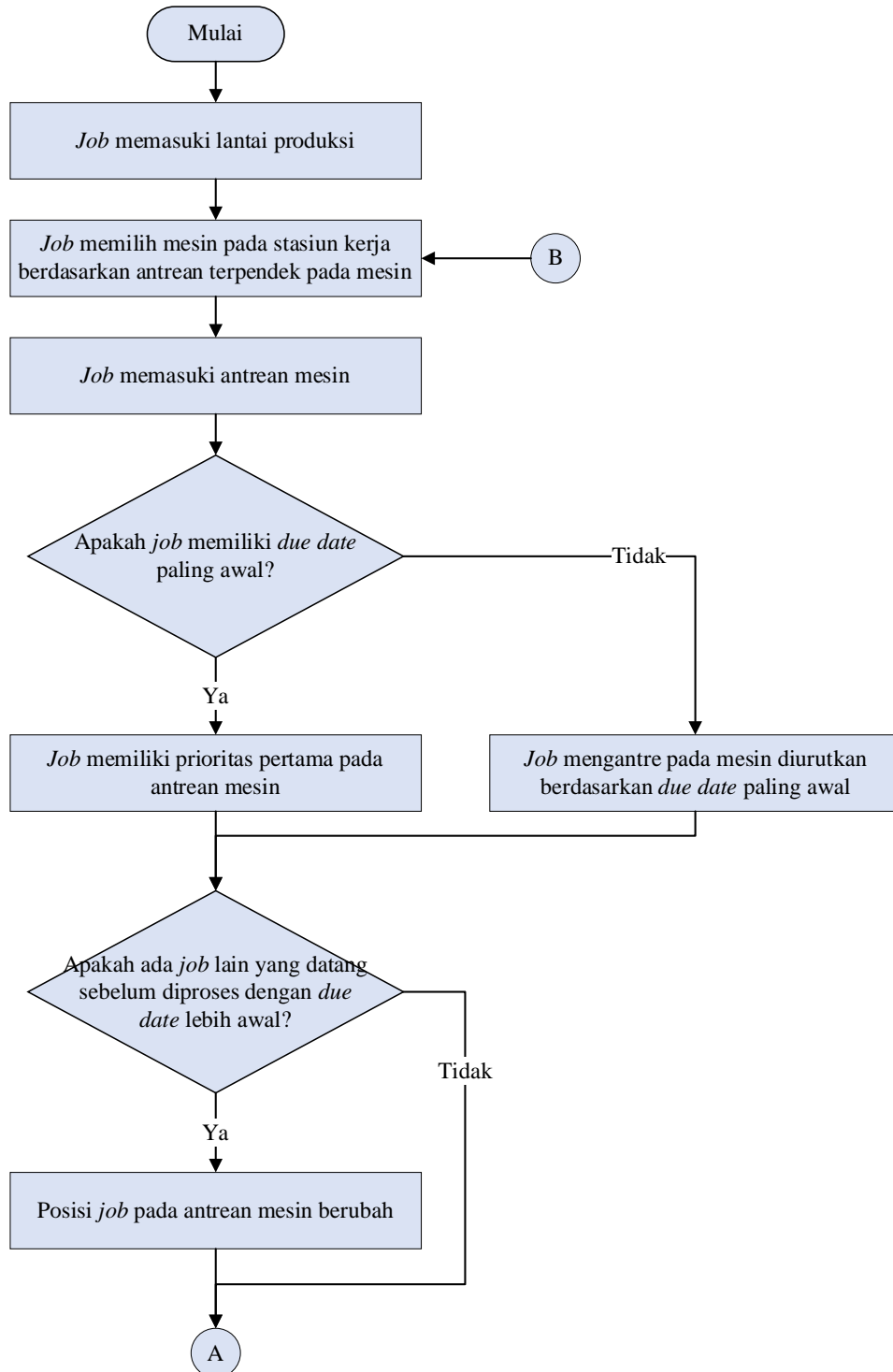
Gambar 4.8 menjelaskan detail proses yang terjadi pada masing-masing stasiun kerja. Job 1-Job n merupakan *job* yang akan dikerjakan pada lantai produksi. Setiap *job* yang dikerjakan pada mesin berbeda berjalan paralel. *Job* yang dikerjakan pada mesin yang sama berjalan berurutan sesuai prioritas *job*. *Job* yang sudah memasuki lantai produksi kemudian akan memilih mesin berdasarkan atribut alternatif mesin yang dimiliki, dengan aturan memilih mesin berdasarkan antrean terpendek. Kemudian saat memasuki mesin, jika mesin sedang rusak, maka material atau sub-produk akan di-*hold* sampai mesin tersedia. Selanjutnya saat akan

diproses, jika *part number* (PN) material atau sub-produk pada *job* yang akan diproses sama dengan PN material atau sub-produk pada *job* yang baru saja selesai diproses pada mesin tersebut, maka mesin tidak membutuhkan *setup*. Jika tidak sama, maka mesin membutuhkan *setup*. Saat *job* tertentu sedang memakai mesin, maka *job* lain tidak dapat menginterupsi *job* tersebut sampai *job* selesai.

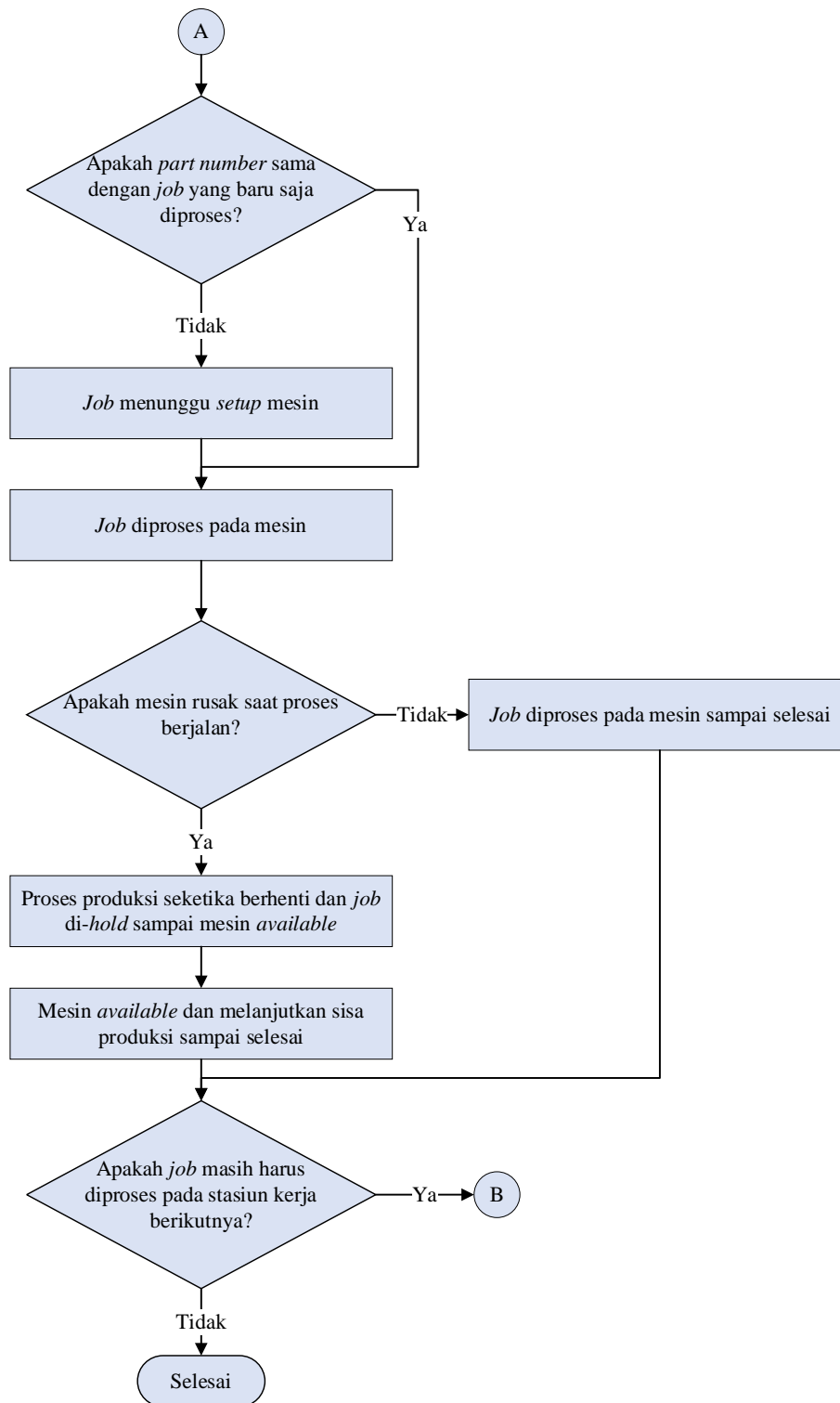
Kemudian *dispatching rule* yang digunakan pada kondisi riil adalah *Earliest Due Date*, Gambar 4.9 dan Gambar 4.10 adalah *flow chart* untuk menggambarkan alur logika dari *dispatching rule* EDD. Proses pertama bermula dari *job* di-*release* ke rantai produksi. Pada penelitian ini, *job release* mengikuti kondisi riil yaitu seluruh *job* yang akan dikerjakan pada bulan tersebut di-*release* secara bersamaan pada tanggal 1 setiap bulannya. Setelah *job* memasuki rantai produksi, maka *job* memilih mesin yang tersedia dari alternatif mesin untuk *job* tersebut berdasarkan antrean terpendek pada mesin. Selanjutnya saat memasuki antrean mesin, jika *job* memiliki *due date* paling awal dibandingkan dengan *job* lain yang sudah mengantri terlebih dahulu pada mesin tersebut, maka *job* diposisikan pada urutan pertama di antrean. Jika tidak, maka *job* berada di urutan sesuai dengan *due date* paling awal pada antrean tersebut. Selanjutnya jika saat sedang mengantre terdapat *job* lain yang baru datang dan *job* yang baru datang memiliki *due date* lebih awal dibanding *job* tersebut, maka urutan *job tersebut* berubah dan menyesuaikan dengan *dispatching rules* EDD.

Proses berikutnya adalah saat *job* akan diproses oleh mesin, akan dicek terlebih dahulu apakah *job* tersebut memiliki *part number* yang sama dengan *job* yang baru saja selesai diproses. Jika *part number* sama maka *job* dapat langsung diproses karena memakai *mold* yang sama, sedangkan jika tidak sama maka *job* harus menunggu mesin dilakukan *setup* terlebih dahulu. Selama diproses oleh mesin, kerusakan mesin dapat mengintervensi proses yang sedang berjalan. Pengerjaan *job* dihentikan sampai perbaikan mesin selesai. Kemudian pada penelitian ini diasumsikan saat *job* sedang diproses oleh mesin, maka tidak dapat diintervensi oleh *job* lain yang baru datang dengan *due date* lebih awal. Sehingga *job* yang baru datang tersebut akan mengantre pada urutan pertama. Selanjutnya jika stasiun kerja yang dituju merupakan stasiun kerja terakhir, maka *job* dinyatakan

selesai dan akan disimpan di gudang. Jika tidak, maka *job* melanjutkan ke stasiun kerja berikutnya sampai *job* dinyatakan selesai.



Gambar 4. 9 Alur Setiap *Job* pada Lantai Produksi *Dispatching Rule* EDD



Gambar 4. 10 Alur Setiap Job pada Lantai Produksi (Lanjutan)

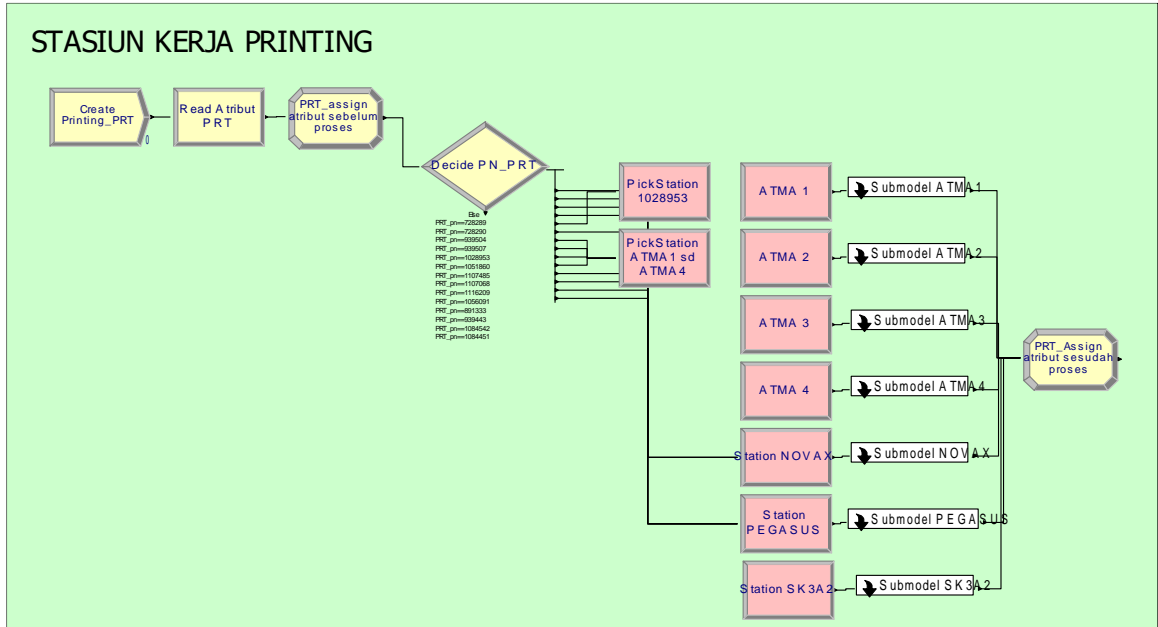
4.4 Pembuatan Model Simulasi Awal

Pada subbab ini dilakukan pembuatan model simulasi awal dengan *software* Arena 14.0. Pembuatan model dibagi menjadi 5 stasiun kerja serta terdapat *decision system* untuk setiap *job* melanjutkan ke stasiun kerja lain. Selain itu terdapat juga alur untuk penulisan *output* model simulasi. Tabel 4.12 menjelaskan implementasi variabel model konseptual pada model simulasi.

Tabel 4. 12 Implementasi Variabel Model Konseptual pada Model Simulasi

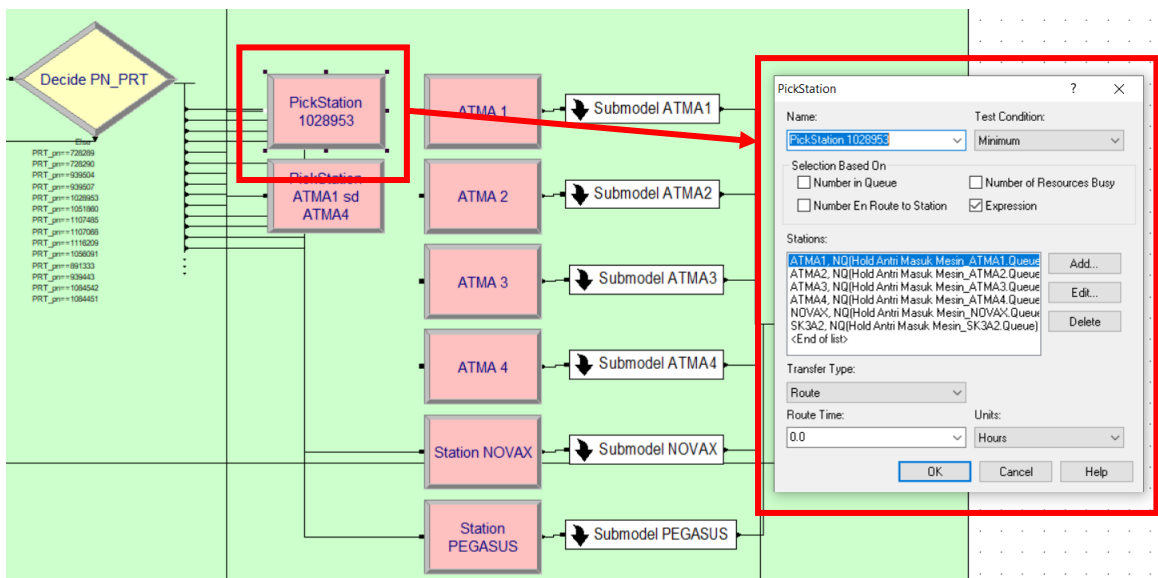
Variabel Model Konseptual	Implementasi pada Model Simulasi	Deskripsi	Nilai yang dipakai
Perencanaan produksi	Atribut entitas	<i>Job number</i>	Pada Tabel 4.1
		<i>Part number</i>	Pada Tabel 4.3
		<i>Due date</i>	Pada Tabel 4.1
Alur proses produksi setiap <i>job</i>	Atribut entitas	Urutan dan jumlah proses atau <i>stage</i>	Pada Tabel 4.3
Jenis mesin	Atribut entitas	Alternatif mesin	Pada Tabel 4.3
Waktu proses	Atribut entitas	Waktu proses per <i>stage</i>	Pada Tabel 4.3
Jumlah mesin	Sub-model	Mesin pada stasiun kerja	104 unit
Waktu <i>setup</i> (jam)	Atribut waktu modul <i>Process</i>	Waktu <i>setup</i> per mesin	Pada Tabel 4.4-Tabel 4.8
<i>Down time</i> (jam)	<i>Data module Failure</i>	<i>Down time</i> per mesin	Pada Tabel 4.4-Tabel 4.8
TTF (jam)	<i>Data module Failure</i>	<i>Up time</i> per mesin	Pada Tabel 4.4-Tabel 4.8
Jumlah <i>shift</i> pada stasiun kerja (unit)	<i>Resource schedule</i>	4 stasiun kerja beroperasi 24 jam, 1 stasiun kerja beroperasi 16 jam	3 <i>shift</i> dan 2 <i>shift</i> (<i>assembly</i>)
<i>Dispatching rule</i>	<i>Queue rules</i> pada modul <i>Hold</i>	Berdasarkan <i>due date</i> paling awal	Pada Tabel 4.1

Berikut ini ditampilkan beberapa contoh model dan logika pada model, yaitu model stasiun kerja, sub-model salah satu mesin, model *decision system*, dan logika memilih alternatif mesin. Gambar 4.11 merupakan model untuk stasiun kerja *printing* yang terdiri dari 7 mesin. Seluruh model simulasi secara garis besar ditampilkan pada Lampiran 9-Lampiran 16. Setelah entitas memasuki sistem, maka akan di-*assign* dengan 6 atribut untuk setiap *job* yaitu *job number*, *part number*, alur proses produksi, alternatif mesin, waktu proses pada mesin, dan *job due date*.



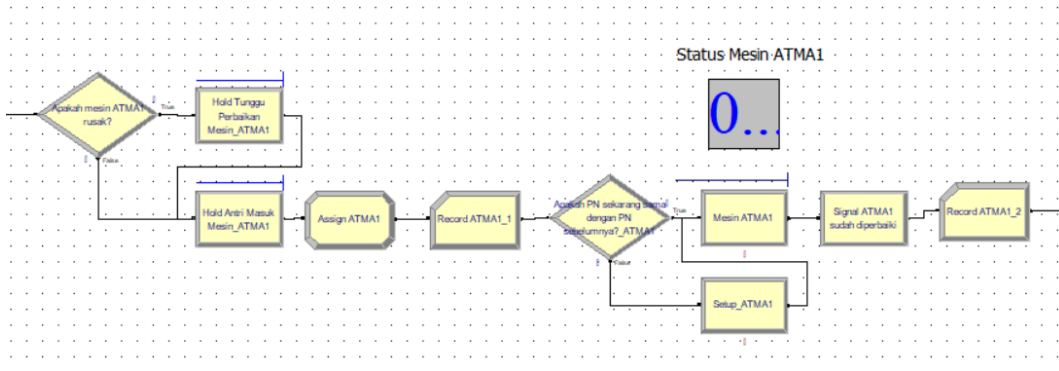
Gambar 4. 11 Model Simulasi Awal Stasiun Kerja *Printing*

Gambar 4.12 adalah logika pada salah satu modul *Pickstation*, yaitu modul yang digunakan untuk sebuah *job* memilih mesin berdasarkan antrean terpendek pada alternatif mesin.



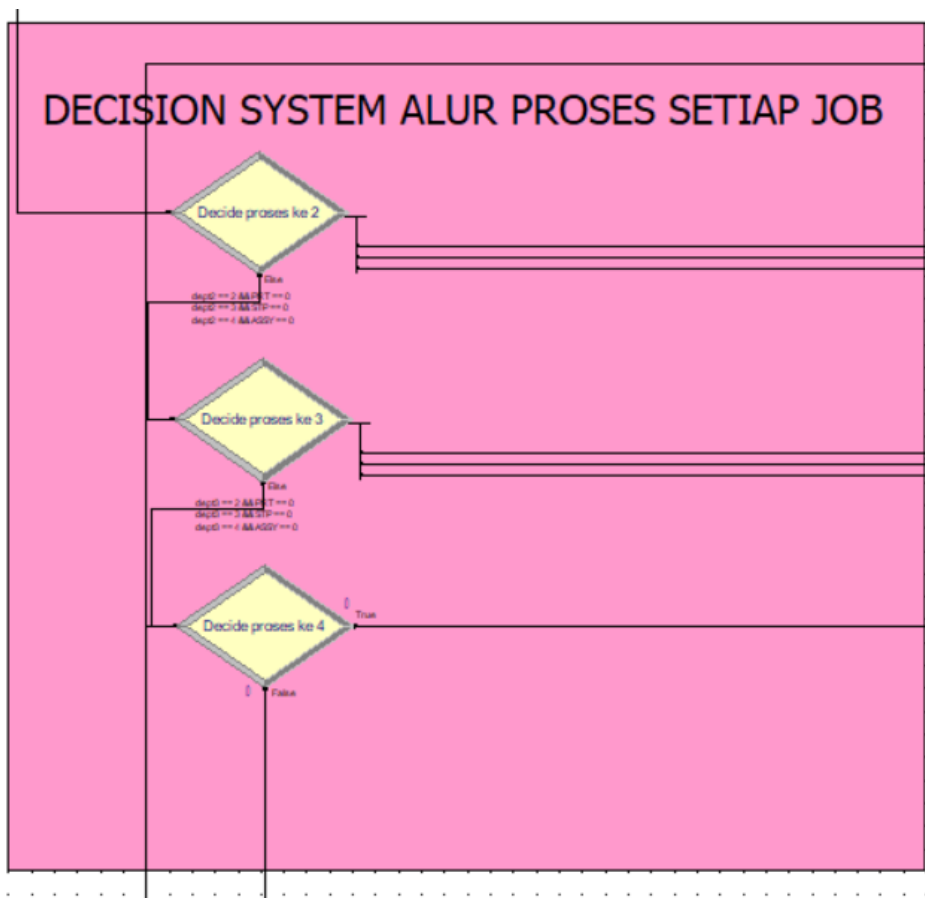
Gambar 4. 12 Logika *Job* Memilih Mesin (Part Number 1028953)

Gambar 4.13 merupakan sub-model untuk setiap mesin dengan tipe *dispatching rule* EDD.



Gambar 4. 13 Sub-model Mesin ATMA-1

Gambar 4.14 merupakan model untuk logika alur proses produksi pada setiap *job*. Setiap *job* dapat memiliki 1-4 tahapan proses (*stage*). Modul *Decide* yang digunakan akan mengarahkan *job* pada stasiun kerja selanjutnya atau jika *job* sudah selesai maka akan keluar dari sistem.

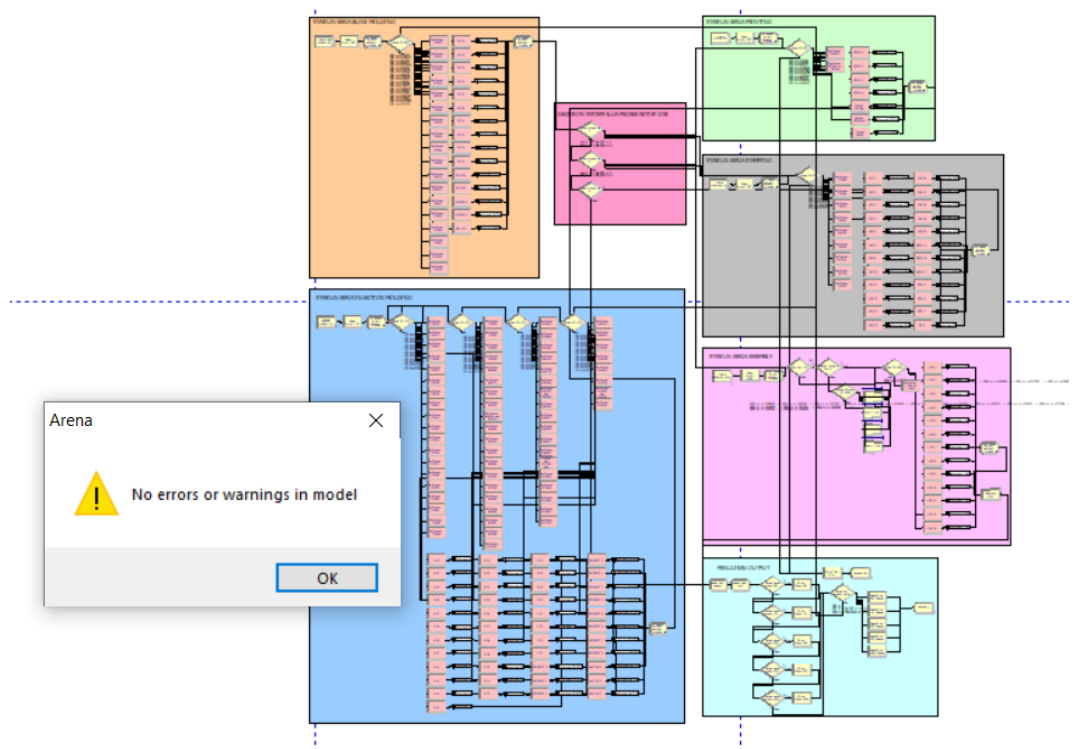


Gambar 4. 14 Decision System Alur Proses Produksi setiap Job

4.5 Verifikasi dan Validasi Model Simulasi Awal

Tahapan selanjutnya setelah melakukan pembuatan model simulasi awal adalah verifikasi dan validasi model simulasi. Verifikasi model simulasi merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi sudah mencerminkan model konseptual dengan benar (Harrel et. al., 2004). Selain itu verifikasi juga untuk mengecek apakah terdapat eror pada model simulasi. Verifikasi untuk mengecek eror dapat dilakukan dengan cara mengecek *syntax* dan *semantic error*. *Syntax error* merupakan kesalahan penulisan sehingga model simulasi tidak dapat dijalankan, sedangkan *semantic error* adalah kesalahan logika dalam model sehingga model simulasi menghasilkan *output* yang sangat berbeda dengan kondisi riil karena tidak sesuai dengan model konseptual yang sudah dibuat.

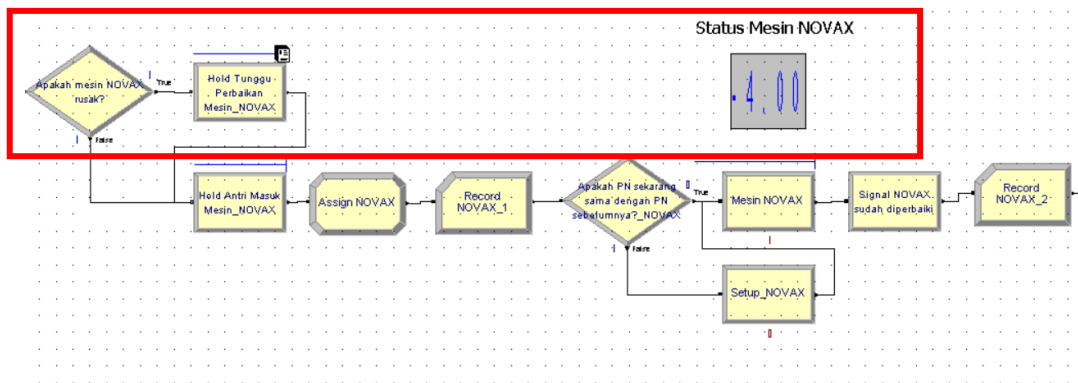
Berikut ini adalah hasil pengecekan *syntax error* model simulasi awal. Gambar 4.15 menampilkan *popup notification* yang menyatakan bahwa tidak terjadi eror dalam model.



Gambar 4. 15 Pengecekan *Syntax Error* Model Simulasi Awal

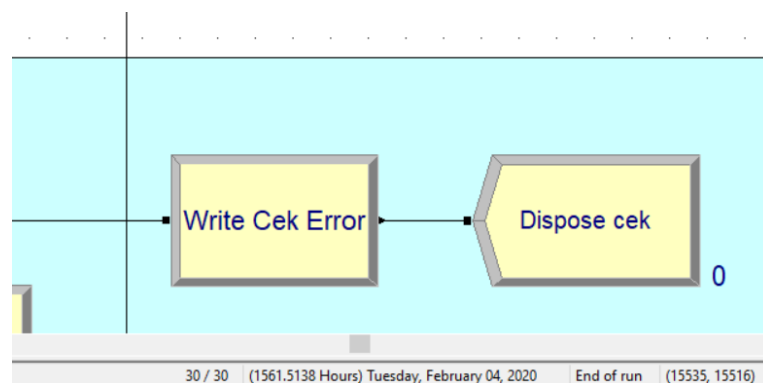
Pengecekan *semantic error* pada penelitian ini melalui variabel status setiap mesin, *job* yang tidak diproses pada mesin, serta waktu kedatangan *job*. Untuk

variabel status mesin, akan dicek apakah entitas akan masuk ke dalam mesin saat mesin rusak. Sebagai contoh, pada Gambar 4.16, angka -4 pada variabel “Status Mesin NOVAX” merupakan kode bahwa mesin sedang rusak. Pada model dibuat *Hold* untuk menahan entitas saat terjadi kerusakan dan perbaikan mesin agar entitas tidak masuk ke dalam mesin. Akan tetapi jika terdapat entitas yang sedang diproses kemudian mesin rusak, maka entitas secara otomatis akan berhenti prosesnya sampai mesin *available* kembali.



Gambar 4. 16 Pengecekan *Semantic Error* pada Kerusakan Mesin

Semantic error juga dicek melalui modul *Decide* dan *ReadWrite* untuk mengecek apakah terdapat entitas yang sama sekali tidak masuk ke dalam mesin dan langsung keluar dari sistem tanpa diproses. Gambar 4.17 menunjukkan bahwa sampai *running* model selesai, tidak ada entitas yang menuju modul “Dispose cek” yang menandakan bahwa semua *job* diproses oleh mesin.



Gambar 4. 17 Pengecekan *Semantic Error* untuk setiap Job

Pengecekan *semantic error* terakhir adalah dengan menuliskan *output* waktu kedatangan *job*. Pada model simulasi, diatur waktu kedatangan seluruh *job* adalah 1 Desember 2019 pukul 06:00:00. Pada model ini, untuk *job* yang terdiri dari beberapa PN yang diproses secara paralel dibuat entitas terpisah pada modul *Create*. Meskipun begitu, tidak terjadi perbedaan waktu kedatangan meskipun menjadi entitas yang terpisah. Pada Tabel 4.13 ditampilkan contoh *output* waktu kedatangan untuk *job* yang dimulai dari proses *injection molding*. Sebagai contoh yaitu *job* 1568188120 memiliki 2 *part number* (PN) yaitu PN 1063195 dan PN 1068885 yang diproses secara paralel. Meski terpisah menjadi 2 entitas, namun waktu kedatangan keduanya menunjukkan waktu yang sama, yaitu 1 Desember 2019 pukul 06:00:00. Maka dari itu disimpulkan model simulasi ini sudah menunjukkan kedatangan *job* yang sesuai dengan model konseptual.

Tabel 4. 13 Verifikasi Waktu Kedatangan Model Simulasi

<i>Job Number</i>	<i>Part Number</i>	Tanggal Kedatangan	Waktu Kedatangan
1568188120	1063195	01/12/2019	06:00:00
	1068885	01/12/2019	06:00:00
1569597220	1065678	01/12/2019	06:00:00
1570095820	1036846	01/12/2019	06:00:00
1570208360	1063194	01/12/2019	06:00:00
	1063195	01/12/2019	06:00:00
1570208370	1063194	01/12/2019	06:00:00
1570904810	1062179	01/12/2019	06:00:00
1571177410	1036846	01/12/2019	06:00:00
1571177510	1036846	01/12/2019	06:00:00
1571236230	1082331	01/12/2019	06:00:00
1571236320	1082334	01/12/2019	06:00:00
1571332310	1023974	01/12/2019	06:00:00
1571333330	997695	01/12/2019	06:00:00
	997696	01/12/2019	06:00:00
	997697	01/12/2019	06:00:00
	997698	01/12/2019	06:00:00

Setelah verifikasi maka selanjutnya validasi model simulasi awal. Validasi model simulasi dilakukan untuk menentukan apakah model simulasi yang dibuat sudah sesuai dengan kondisi riil. Validasi dilakukan dengan cara membandingkan data hasil simulasi model awal dengan data historis kondisi riil. Data historis yang

dijadikan acuan untuk validasi model adalah data historis rata-rata *job flow time* pada Desember 2019. Pada subbab 1.5.1 disebutkan bahwa penelitian ini membatasi setiap proses pada *job* hanya 1 kali pengerjaan, namun tetap memenuhi kuantitas *output* yang diharuskan. Sedangkan pada aktualnya setiap proses pada *job* dapat dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan. Oleh karena itu, perhitungan *flow time* data historis tidak mempertimbangkan *waiting time* saat proses pada *job* dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan dan pengerjaan tersebut tidak dilakukan secara berurutan. Validasi pada penelitian ini memakai metode Uji Student's t, dengan menggunakan fitur Data Analysis pada Microsoft Excel. Nilai eror yang dipakai untuk validasi sebesar 5%. Tabel 4.14 adalah tabel nilai rata-rata *job flow time* hasil model simulasi awal dan data historis serta Tabel 4.15 adalah tabel hasil Uji Student's t.

Tabel 4. 14 Data Hasil Rata-rata Job Flow Time Model Simulasi Awal dan Historis

Replikasi	Data Model Simulasi Awal (jam)	Data Historis (jam)
1	151.79	143.37
2	142.35	
3	164.99	
4	143.59	
5	151.73	
6	159.33	
7	152.79	
8	145.58	
9	172.38	
10	148.16	
11	144.91	
12	154.04	
13	152.21	
14	138.86	
15	166.46	
16	152.91	
17	142.92	
18	145.67	
19	147.11	
20	140.51	

Tabel 4. 14 Data Hasil Rata-rata *Job Flow Time* Model Simulasi Awal dan Historis (Lanjutan)

Replikasi	Data Model Simulasi Awal (jam)	Data Historis (jam)
21	148.83	
22	150.01	
23	148.47	
24	153.45	
25	143.09	
26	136.16	
27	166.50	
28	148.10	
29	152.54	
30	153.25	
Rata-rata	150.62	143.37

Tabel 4. 15 Hasil Validasi Uji Student's t Model Simulasi Awal

	<i>Data Model Simulasi Awal</i>	<i>Data Historis</i>
Mean	150.6233623	143.3690321
Variance	72.51836049	0
Observations	30	1
Pooled Variance	72.51836049	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	29	
t Stat	0.83801755	
P(T<=t) one-tail	0.204437446	
t Critical one-tail	1.699127027	
P(T<=t) two-tail	0.408874891	
t Critical two-tail	2.045229642	

Hipotesis yang digunakan pada validasi adalah sebagai berikut (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012):

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$$

Dari hasil uji didapatkan bahwa nilai t_{test} (t Stat) berada pada interval nilai $\pm t$ Critical two-tail yaitu $-2.04 \leq 0.83 \leq 2.04$ sehingga tidak menolak H_0 dan model dinyatakan valid. Perhitungan jumlah replikasi tidak perlu dilakukan pada penelitian ini karena replikasi sebanyak 30 kali sudah dinyatakan valid dan merepresentasikan kondisi riil.

4.6 Pembuatan Model Simulasi Skenario

Variabel kontrol yang digunakan untuk membuat desain skenario adalah *dispatching rule*, dengan variabel respons yaitu jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. Alasan penggunaan *dispatching rule* sebagai variabel kontrol yang diubah terdapat pada subbab 3.4.4. *Dispatching rule* yang dipilih untuk penelitian ini adalah *dispatching rule* selain *Earliest Due Date* (EDD), yaitu *Shortest Processing Time* (SPT), *Job with similar setup and Shortest Processing Time* (JSPT), dan *Job with similar setup and earliest due date* (JEDD). Alasan penggunaan ketiga *dispatching rule* ini juga terdapat pada subbab 2.1.4 dan subbab 3.4.4. *Dispatching rule* pada penelitian ini diterapkan pada level mesin. Pemilihan skenario tersebut dikarenakan pada umumnya ketiga *dispatching rule* tersebut dapat mengurangi jumlah *tardy job* dan rata-rata *job flow time*. Pada penelitian ini, terdapat batasan pada proses produksi yaitu pengerjaan *job* pada setiap stasiun kerja tidak dapat dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan. Maka dari itu, model skenario akan dibandingkan dengan model simulasi awal untuk mendapatkan nilai *improvement*. Tabel 4.16 merupakan perbandingan variabel kontrol yang tetap dan berubah. Tabel 4.17 berupa variabel kontrol yang menjadi *experimental factor* pada penelitian ini karena dijadikan acuan dalam pembuatan desain skenario dan beberapa desain skenario yang digunakan pada penelitian ini.

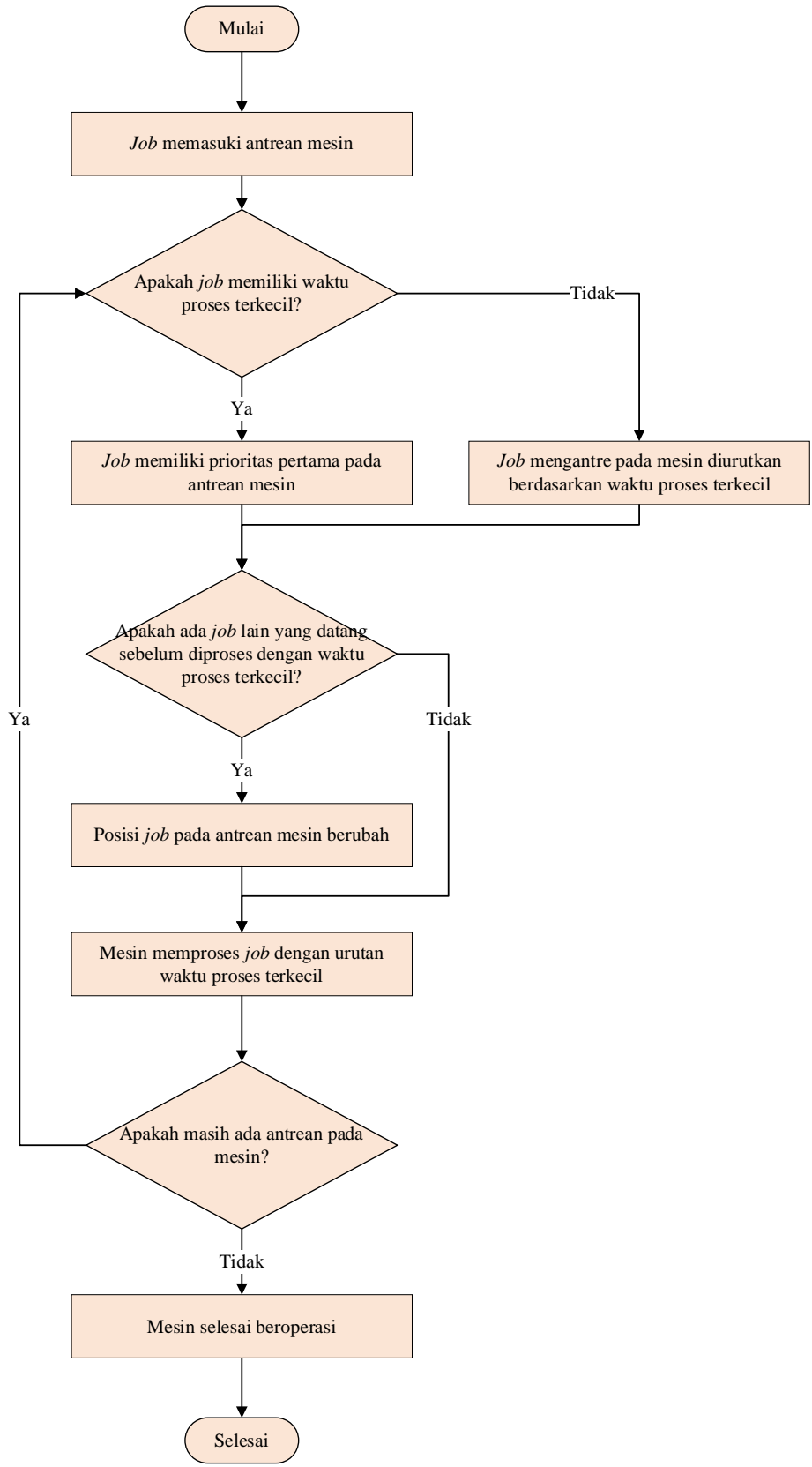
Tabel 4. 16 Variabel Kontrol yang Tetap dan Berubah

Variabel Kontrol yang Tetap	Variabel Kontrol yang Berubah
Perencanaan produksi (unit <i>job</i> per bulan)	<i>Dispatching rule</i>
Alur proses produksi setiap <i>job</i>	
Jenis mesin	
Jumlah mesin (unit)	
Waktu proses mesin (jam)	
Waktu <i>setup</i> (jam)	
<i>Down time</i> (jam)	
TTF (jam)	
Jumlah <i>shift</i> pada stasiun kerja (unit)	

Tabel 4. 17 *Experimental Factor* dan Desain Skenario

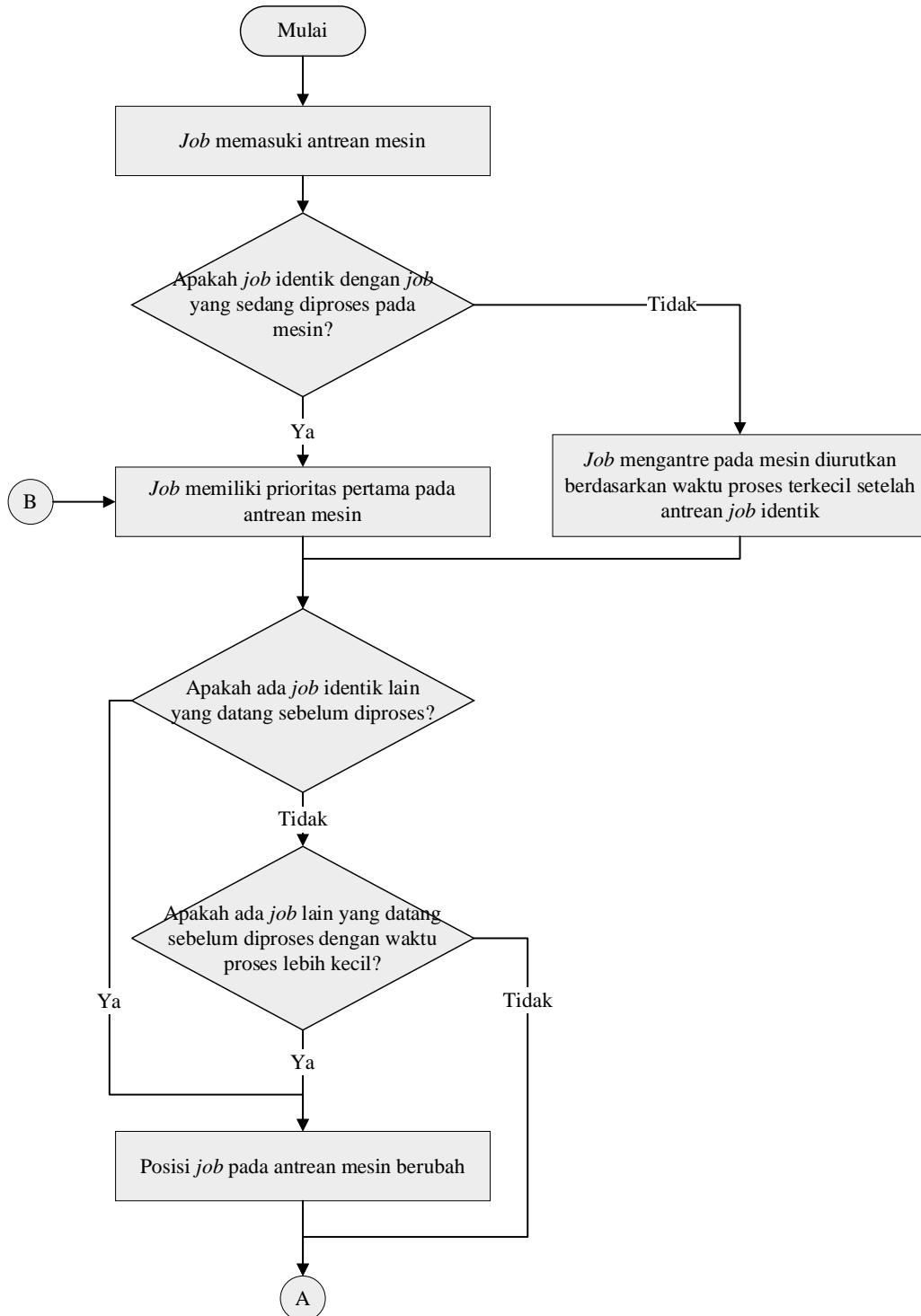
<i>Experimental Factor</i>	Desain Skenario	Perubahan pada Model Simulasi
<i>Dispatching rule</i>	<i>Shortest Processing Time (SPT)</i>	<i>Queue rules</i> pada modul <i>Hold</i> menjadi berdasarkan waktu proses terkecil
	<i>Job with Similar Setup and Shortest Processing Time (JSPT)</i>	<i>Queue rules</i> pada modul <i>Hold</i> menjadi berdasarkan waktu proses terkecil dan memprioritaskan antrean <i>job identik</i>
	<i>Job with Similar Setup and Earliest Due Date (JEDD)</i>	<i>Queue rules</i> pada modul <i>Hold</i> menjadi berdasarkan <i>due date</i> awal dan memprioritaskan antrean <i>job identik</i>

Perbedaan antara model awal dengan model skenario hanya pada logika *job* saat mengantre pada mesin. Namun logika pengurutan *job* pada antrean merupakan logika kritis pada penelitian ini karena akan menentukan hasil variabel respons yang diukur yaitu rata-rata *job flow time* dan jumlah *tardy job*. Model skenario SPT mengurutkan *job* yang mengantre berdasarkan waktu proses terkecil pada mesin tersebut. JSPT dan JEDD merupakan modifikasi dari SPT dan EDD. *Job* yang mendapatkan prioritas pertama pada antrean mesin adalah *job* identik, yang berarti memiliki *part number* sama dengan *job* yang baru saja selesai. Jika tidak ada *job* identik pada antrean, maka mengikuti aturan SPT dan EDD. Pengecekan ada atau tidaknya *job* identik pada antrean akan terus dilakukan sampai tidak ada antrean pada mesin. Berikut ini adalah *flow diagram* alur logika antrean pada mesin untuk masing-masing skenario. Gambar 4.18 adalah *flow diagram* logika antrean SPT pada mesin.

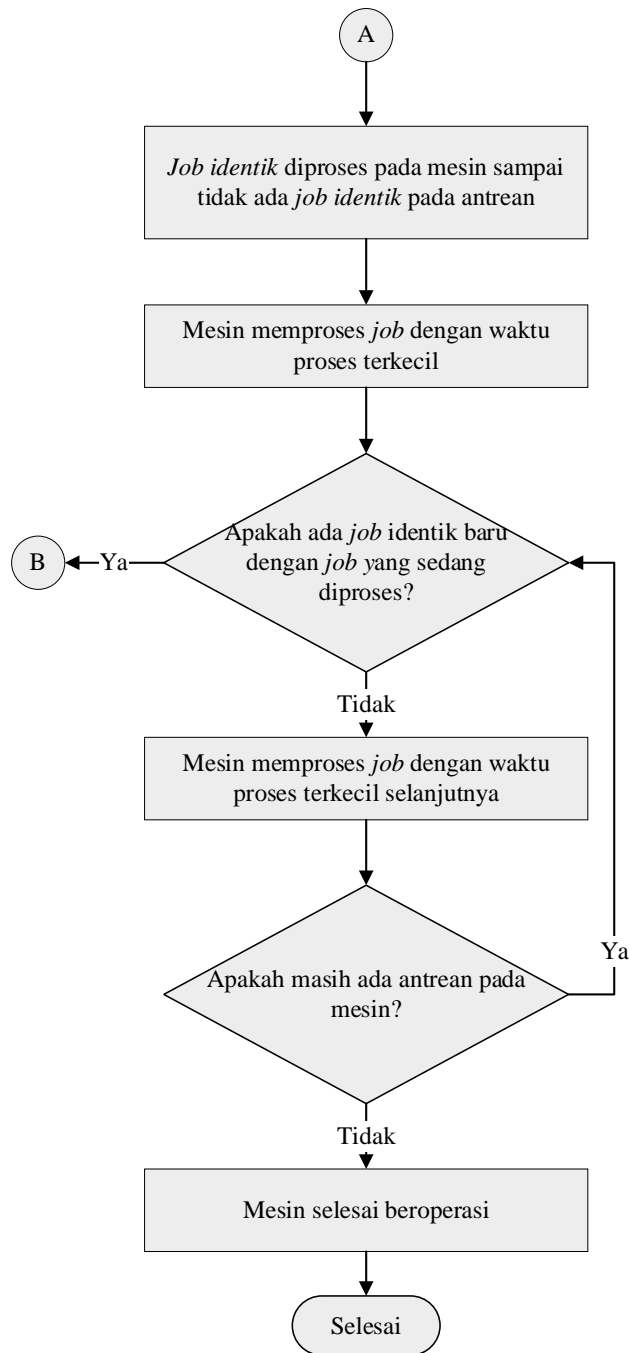


Gambar 4. 18 Flow Diagram Logika Antrean SPT pada Mesin

Gambar 4.19 dan Gambar 4.20 adalah *flow diagram* logika antrean JSPT pada setiap mesin. Perbedaan antara SPT dan JSPT adalah pada JSPT terdapat *job* identik.



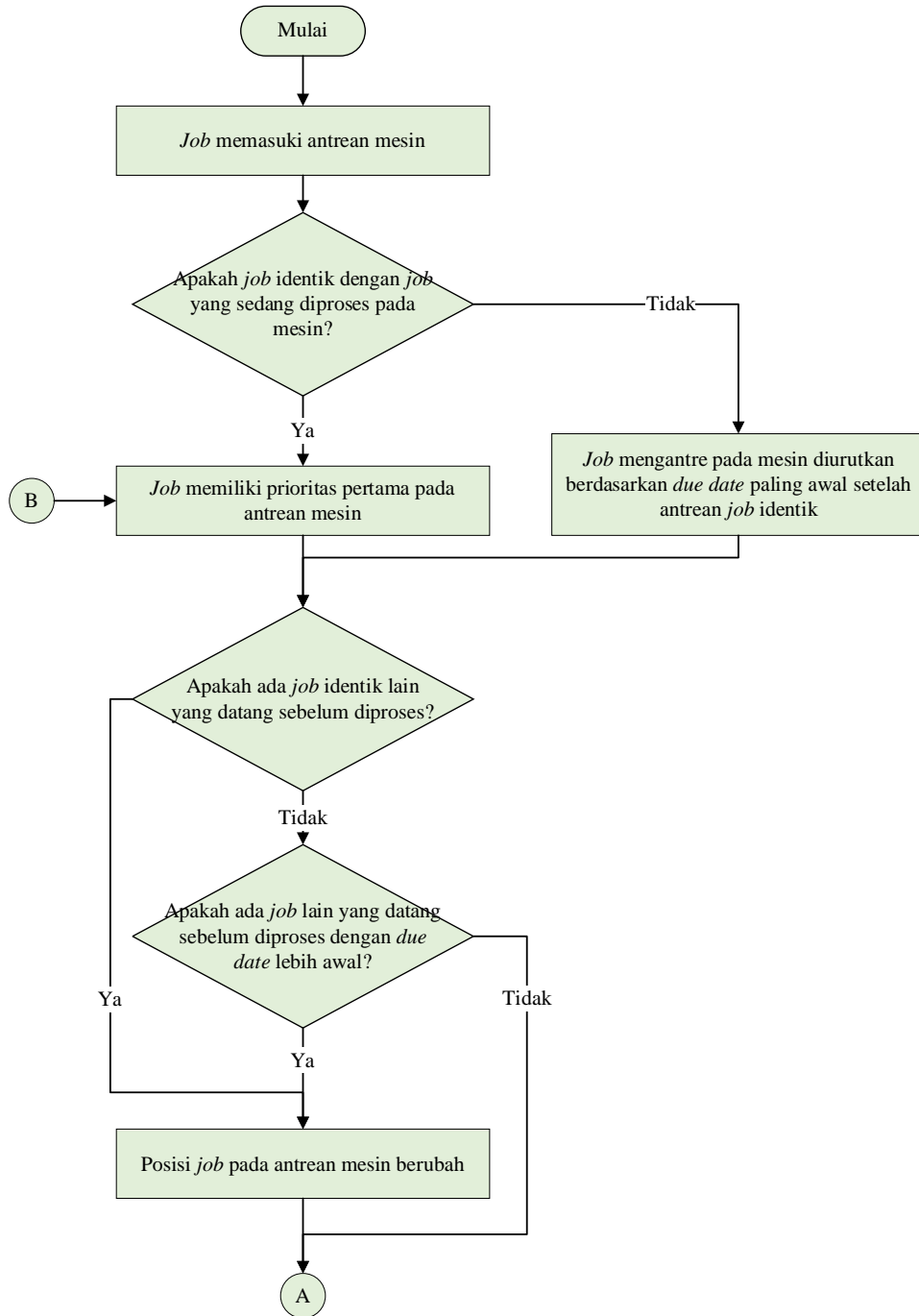
Gambar 4. 19 Flow Diagram Logika Antrean JSPT pada Mesin



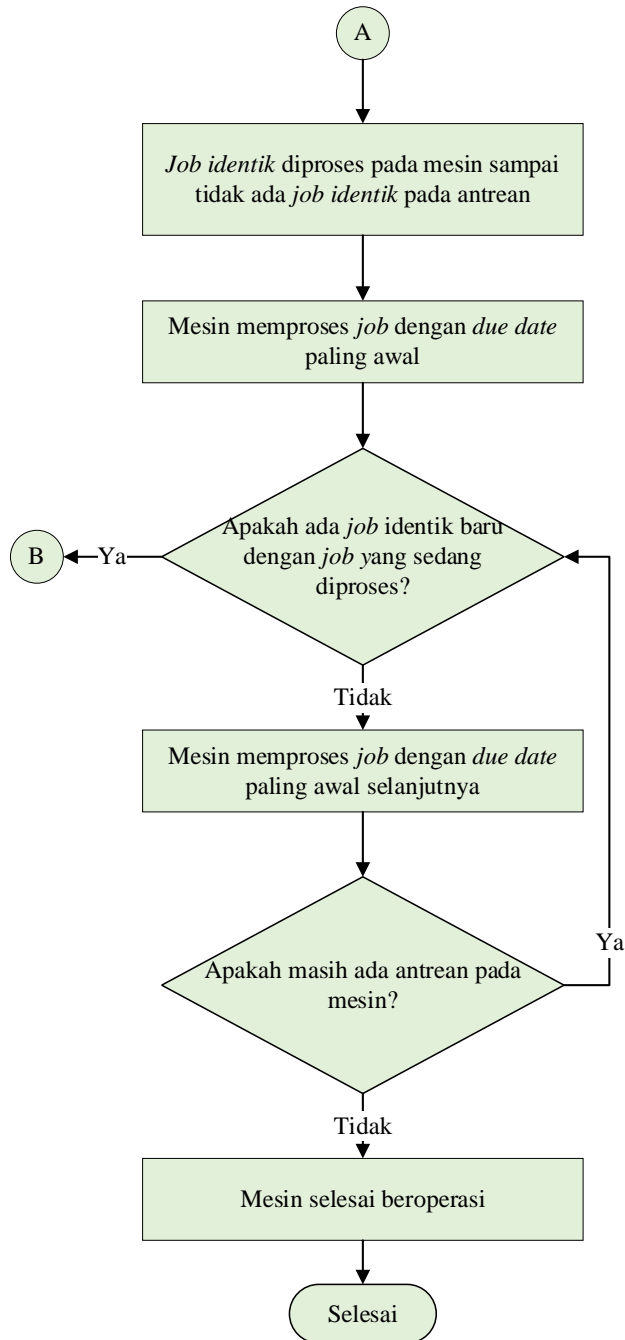
Gambar 4. 20 Flow Diagram Logika Antrean JSPT pada Mesin (Lanjutan)

Gambar 4.21 dan Gambar 4.22 adalah *flow diagram* logika antrean JEDD pada setiap mesin. Perbedaan antara EDD dan JEDD adalah pada JEDD terdapat

job identik. Perbedaan antara JSPT dan JEDD adalah pada JSPT berdasarkan waktu proses terkecil, sedangkan pada JEDD berdasarkan *due date* paling awal.

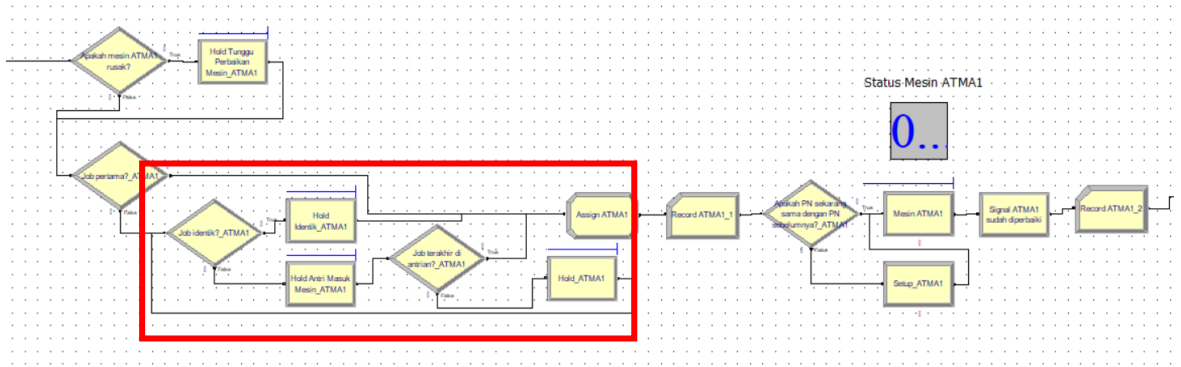


Gambar 4. 21 Flow Diagram Logika Antrean JEDD pada Mesin



Gambar 4. 22 Flow Diagram Logika Antrean JEDD pada Mesin (Lanjutan)

Kemudian terdapat beberapa tambahan pada sub-model mesin untuk skenario JSPT dan JEDD yang ditampilkan pada Gambar 4.23.



Gambar 4. 23 Sub-model Mesin pada Model Skenario JSPT dan JEDD

Penambahan pada sub-model mesin untuk skenario JSPT dan JEDD adalah modul *Decide* untuk mengecek apakah terdapat *job* identik. *Job* yang tidak identik akan memiliki antrian terpisah. Sebagai contoh, antrian untuk *job* tidak identik terletak pada “Hold Antri Masuk Mesin_ATMA1”, dengan aturan diurutkan berdasarkan waktu proses terlama. Namun karena modul *Decide* adalah mengambil *job* terakhir dari antrian, yang mana berarti waktu proses tercepat, maka logika dinyatakan sudah sesuai dengan *dispatching rule* JSPT dan JEDD. Antara antrian *job* identik dan *job* tidak identik, antrian *job* identik diprioritaskan untuk diproses terlebih dahulu.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BAB V

HASIL DAN ANALISIS

Pada bab 5 dijelaskan mengenai hasil simulasi model awal dan model skenario, serta analisis kondisi riil, analisis model awal, analisis masing-masing model skenario, dan analisis model skenario terpilih.

5.1 Hasil Simulasi

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil dari *running* model awal, model skenario SPT, model skenario JSPT, dan model skenario JEDD. Pada perbandingan skenario, dipilih 1 skenario untuk meminimalkan rata-rata *job flow time* dan 1 skenario untuk meminimalkan persentase *tardy job*. Hasil skenario terpilih selanjutnya akan dibandingkan dengan kondisi riil perusahaan pada subbab analisis.

5.1.1 Hasil Model Awal dan Model Skenario

Pembuatan model awal berdasarkan kondisi riil pada perusahaan yaitu menggunakan *dispatching rule* EDD, sedangkan model skenario menggunakan SPT, JSPT, dan JEDD. Tabel 5.1 adalah ringkasan tabel hasil masing-masing model terkait dengan persentase jumlah *tardy job*, rata-rata *flow time*, rata-rata *waiting time* pada mesin, dan persentase rata-rata *waiting time*. Persentase *waiting time* didapatkan dari perbandingan rata-rata *waiting time* dengan rata-rata *flow time*. Tabel hasil simulasi per replikasi untuk setiap skenario ditampilkan pada Lampiran 1-Lampiran 3.

Tabel 5. 1 Hasil Simulasi Masing-masing Model

	Model Awal EDD	Model Skenario SPT	Model Skenario JSPT	Model Skenario JEDD
<i>Tardy Job (%)</i>	13.85%	13.70%	15.02%	15.43%
<i>Mean Flow Time (jam)</i>	150.62	138.96	145.07	154.38
<i>Mean Waiting Time (jam)</i>	83.76	72.09	78.25	87.58

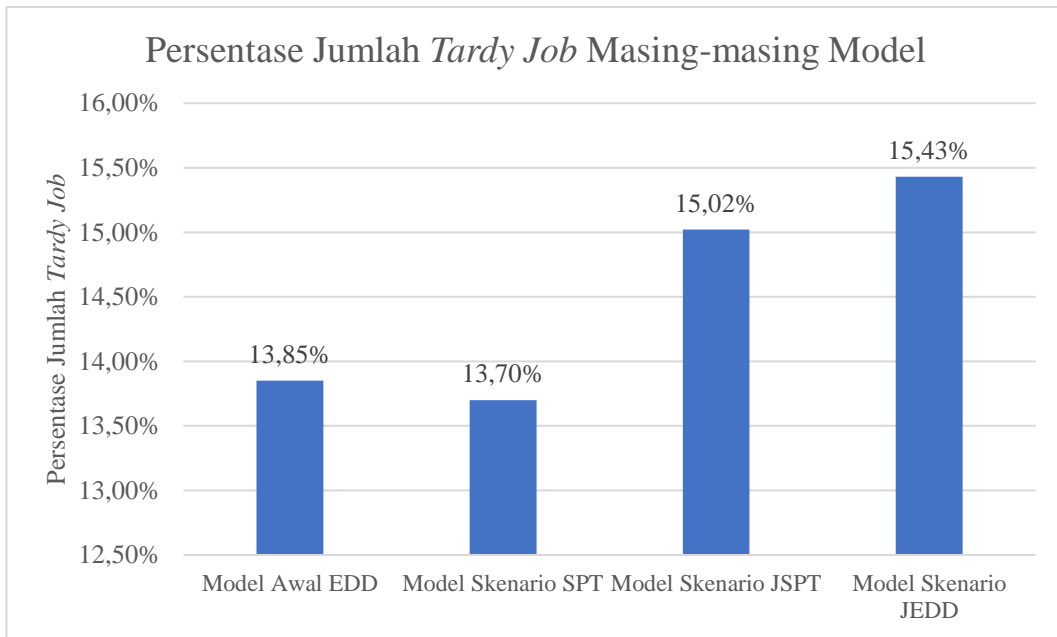
Tabel 5. 1 Hasil Simulasi Masing-masing Model (Lanjutan)

	Model Awal EDD	Model Skenario SPT	Model Skenario JSPT	Model Skenario JEDD
<i>Waiting Time (%)</i>	55.60%	51.87%	53.93%	56.72%

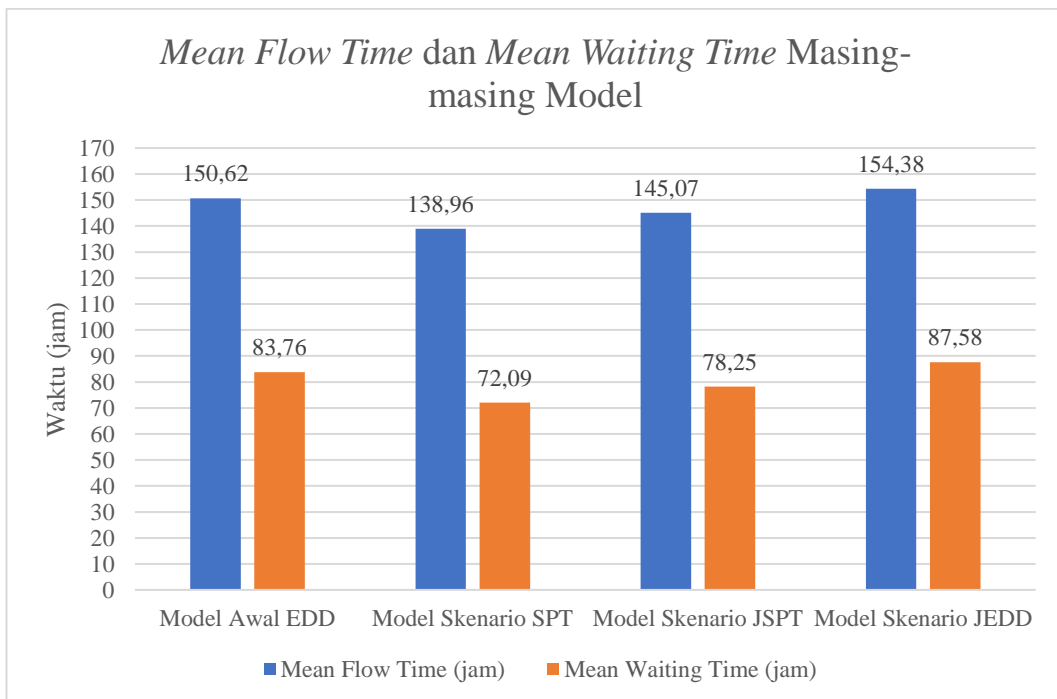
Pada Tabel 5.1, nilai rata-rata persentase *tardy job* dari 30 replikasi untuk Desember 2019 pada model awal sebesar 13,85%, model skenario SPT sebesar 13,70%, skenario JSPT sebesar 15,02%, dan skenario JEDD sebesar 15,43%. Dari keempat model simulasi, *tardy job* EDD dan SPT memiliki nilai yang hampir sama, sedangkan *tardy job* JSPT dan JEDD memiliki nilai yang hampir sama. Nilai terkecil dari ketiga skenario didapatkan pada skenario JSPT sebesar 13,70%. Selanjutnya model awal memiliki nilai rata-rata *job flow time* sebesar 150,62 jam (6,2 hari), skenario SPT 138,96 jam (5,8 hari), skenario JSPT 145,07 (6,04 hari), dan skenario JEDD 154,38 jam (6,4 hari). Skenario yang memiliki rata-rata *job flow time* paling kecil adalah model skenario SPT dengan nilai 138,96 jam atau 6,2 hari.

Selanjutnya nilai rata-rata *waiting time* pada mesin untuk model awal EDD sebesar 83,76 jam, model skenario SPT sebesar 72,09 jam, model skenario JSPT sebesar 78,25 jam, dan model skenario JEDD sebesar 87,58 jam. Nilai persentase *waiting time* yang dibandingkan dengan *flow time*, untuk model awal EDD yaitu 55,60%, model skenario SPT yaitu 51,87%, model skenario JSPT yaitu 53,93%, dan model skenario JEDD yaitu 56,72%. Nilai *waiting time* dan persentase *waiting time* terkecil terdapat pada model skenario SPT. Gambar 5.1 dan Gambar 5.2 merupakan grafik persentase jumlah *tardy job*, *mean flow time*, dan *mean waiting time* pada masing-masing model simulasi.

Pada Gambar 5.2, dapat dilihat bahwa semakin kecil nilai *waiting time* pada *job*, maka semakin kecil nilai *flow time*. *Flow time* merupakan akumulasi dari *process time* dan *waiting time*. *Process time* pada penelitian ini menggunakan nilai yang konstan sesuai dengan data pada perencanaan produksi, sedangkan perubahan nilai terjadi pada *waiting time*. Perubahan nilai *waiting time* pada penelitian ini akibat penggunaan *dispatching rule* yang berbeda serta adanya TTF dan *down time* pada mesin yang bersifat stokastik.



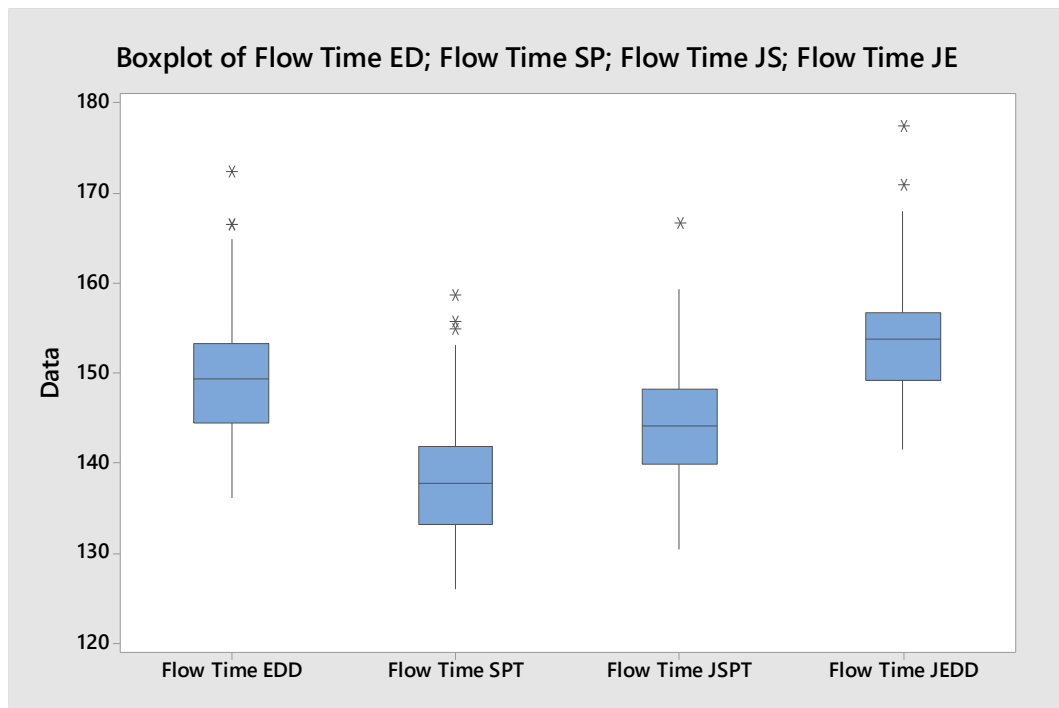
Gambar 5. 1 Grafik Persentase Jumlah *Tardy Job* Masing-masing Model



Gambar 5. 2 Grafik Mean Flow Time dan Mean Waiting Time Masing-masing Model

Pada keempat *dispatching rule* yang dipakai, yaitu EDD, SPT, JSPT, dan JEDD, diketahui bahwa *process time* bernilai konstan yaitu 66,8 jam, sedangkan *waiting time* berkisar pada nilai 72,09-87,58 jam. Nilai TTF dan *down time* yang

bervariasi tidak terlalu mempengaruhi perbedaan nilai *waiting time* antar model simulasi karena pada keempat model tersebut menggunakan distribusi TTF dan *down time* yang sama. Penggunaan *dispatching rule* akan mempengaruhi urutan *job* pada antrian mesin dan keputusan melakukan *setup* pada mesin, yang mana menghasilkan *waiting time* yang berbeda antar model simulasi. Maka dari itu didapatkan kesimpulan bahwa penggunaan *dispatching rule* yang berbeda dapat menghasilkan *waiting time* yang berbeda, yang mana akan mempengaruhi nilai *flow time*. Hasil simulasi juga digambarkan dengan *box plot* untuk mengetahui nilai persebaran pada masing-masing variabel respons yang ditampilkan pada Gambar 5.3 dan Gambar 5.4.

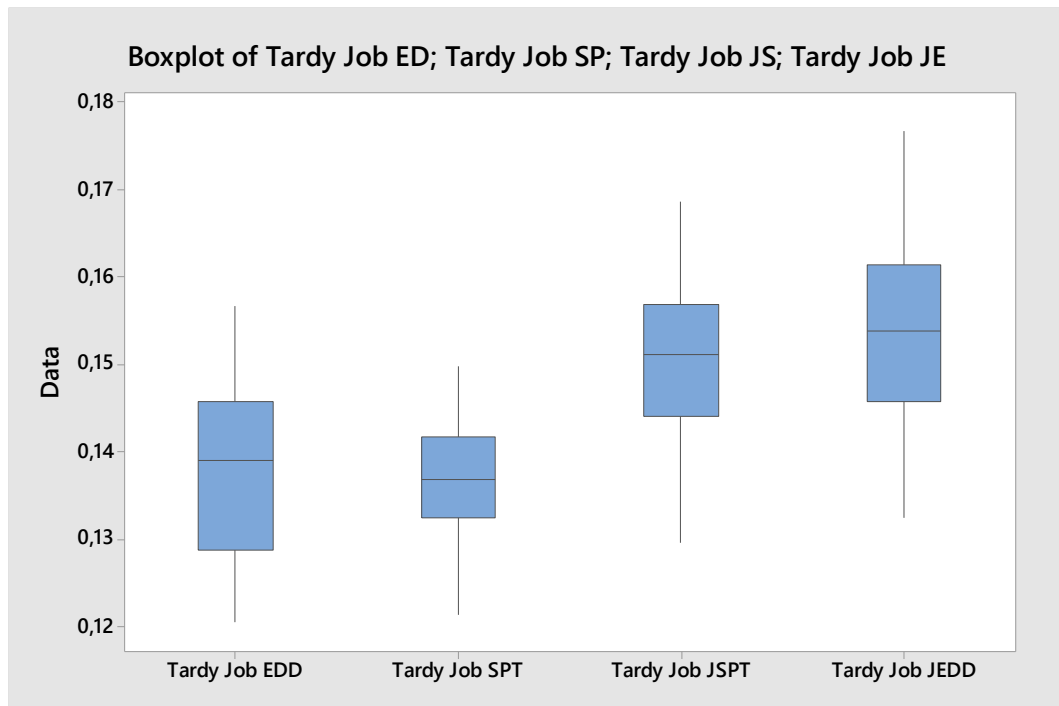


Gambar 5. 3 Box Plot Variabel Job Flow Time Masing-masing Model

Jika dilihat dari *box plot* pada masing-masing model yang ditampilkan pada Gambar 5.3, keempat model memiliki nilai *interquartile range* (IQR) yang tidak terlalu berbeda, yang berarti jarak rentang persebaran data *output* antar skenario hampir sama. Pada model awal EDD, nilai modus data berada pada interval 144,5-153,3, modus data skenario SPT pada interval 133,3-141,9, modus data skenario JSPT pada interval 140-148,2 dan modus data skenario JEDD pada interval 149,2-

156,8. Jika dibandingkan dengan model awal yaitu EDD, maka skenario SPT dan JSPT memiliki persebaran nilai modus data yang lebih rendah. Namun di antara ketiga model skenario yaitu SPT, JSPT, dan JEDD, skenario SPT memiliki persebaran nilai modus data yang lebih rendah dari skenario JSPT dan JEDD. Selanjutnya adalah hasil persentase *tardy job* pada masing-masing model yang ditampilkan dengan *box plot* pada Gambar 5.4.

Berdasarkan Gambar 5.4, pada keempat model tersebut, skenario SPT memiliki nilai *interquartile range* (IQR) yang paling kecil dibandingkan dengan model awal EDD, skenario JSPT, dan skenario JEDD. Hal ini berarti skenario SPT memiliki persebaran data *output* yang tidak terlalu bervariasi jika dibandingkan dengan 3 model lainnya.



Gambar 5. 4 Box Plot Variabel Tardy Job Masing-masing Model

Pada model awal EDD, nilai modus data berada pada interval 12,8%-14,6%, modus data skenario SPT pada interval 13,2%-14,1%, modus data skenario JSPT pada interval 14,4%-15,6% dan modus data skenario JEDD pada interval 14,5%-16,1%. Ketiga skenario yaitu SPT, JSPT, dan JEDD memiliki persebaran data *output* yang tidak lebih bervariasi jika dibandingkan dengan model awal yaitu EDD.

Namun di antara ketiga model skenario, skenario SPT memiliki persebaran nilai modus data yang lebih rendah dari skenario JSPT dan JEDD.

Gantt chart untuk seluruh *dispatching rule* juga dibuat untuk melihat apakah terdapat perbedaan urutan *job* pada mesin untuk masing-masing *dispatching rule*. Perlu ditekankan bahwa pada penelitian ini memiliki tujuan untuk membuat model simulasi yang dapat dipakai perusahaan untuk mengidentifikasi *dispatching rule* terbaik. Maka dari itu, *ganttt chart* pada penelitian ini tidak dapat dijadikan sebagai rekomendasi penjadwalan ke perusahaan karena penjadwalan hasil simulasi bersifat stokastik. Tabel 5.2 merupakan contoh *data job* yang akan dipakai untuk membuat *ganttt chart*. Contoh merupakan data pada stasiun kerja *injection molding*, dengan mesin A-6 dan BC320-2, dan merupakan hasil replikasi ke-1. Pada contoh data terdapat 11 entitas, dengan 2 jenis entitas yaitu entitas berwarna *orange* dan abu. Entitas berwarna *orange* menandakan *job* tersebut terdiri dari beberapa material atau *part number* (PN). Sebagai contoh yaitu entitas nomor 3 dan 8 merupakan entitas yang berasal dari *job* yang sama, yaitu *job* 1572439410. Dengan kata lain, *job* 1572439410 memiliki 2 material dengan PN yang berbeda. Kedua PN yaitu PN 728556 dan 728545 dalam *job* 1572439410 dikerjakan secara paralel. Pengertian paralel pada sistem ini adalah beberapa PN dapat dikerjakan secara bersamaan dalam stasiun kerja yang sama, namun dengan mesin yang berbeda. PN 728556 dikerjakan pada mesin A-6, dan PN 728545 dikerjakan pada mesin BC320-2. Entitas berwarna abu pada tabel dan *ganttt chart* menandakan *job* tersebut hanya terdiri dari 1 material atau PN. Sebagai contoh, *job* 157206140 hanya terdiri dari PN 728556. Selanjutnya pada setiap mesin, setiap entitas dikerjakan secara seri. Pengertian seri dalam sistem ini adalah setiap mesin memproses entitas satu per satu berdasarkan urutan entitas.

Tabel 5. 2 Contoh Entitas untuk *Gantt Chart*

No	<i>Job Number</i>	<i>Part Number</i>	Mesin
1	1572061410	728556	A-6
2	1573453630	730292	A-6
3	1572439410	728556	A-6
4	1573019120	1120012	A-6
5	1573019120	1120012	A-6
6	1573133320	1120012	A-6

Tabel 5. 2 Contoh Entitas untuk Gantt Chart (Lanjutan)

No	Job Number	Part Number	Mesin
7	1573133320	1120012	A-6
8	1572439410	728545	BC320-2
9	1573325710	960524	BC320-2
10	1573368010	761659	BC320-2
11	1573019310	899089	BC320-2

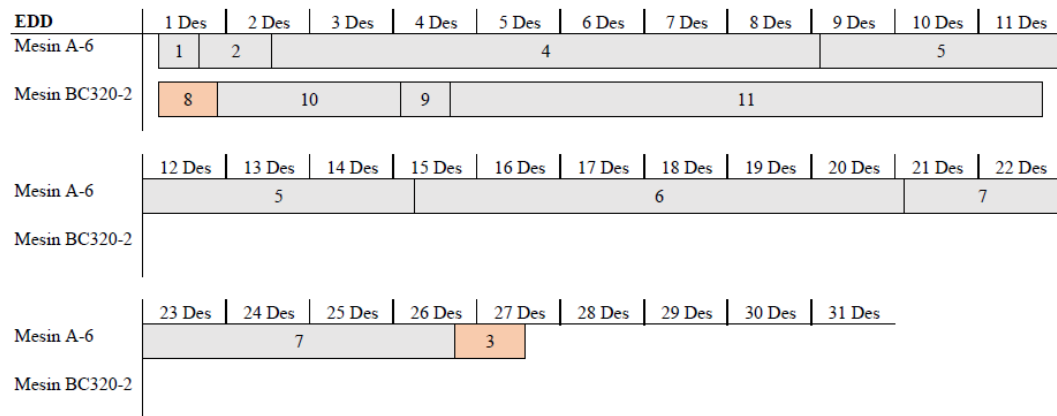
Tabel 5.3 menunjukkan urutan entitas dari hasil simulasi pada mesin A-6 dan BC320-2 untuk seluruh *dispatching rule*, yaitu EDD, SPT, JSPT, dan JEDD, yang selanjutnya digambarkan melalui *gantt chart* pada Gambar 5.5-Gambar 5.8. Pada mesin A-6, seluruh *dispatching rule* menghasilkan urutan entitas yang berbeda, sedangkan pada mesin BC320-2, terdapat persamaan urutan pada EDD dan JEDD, serta persamaan urutan pada SPT dan JSPT. Hal ini juga dapat menjadi verifikasi model simulasi bahwa *dispatching rule* yang berbeda akan menghasilkan urutan antrean entitas yang berbeda. Karena terdapat perbedaan urutan pada *dispatching rule*, maka dapat disimpulkan bahwa model simulasi sudah sesuai dengan model konseptual.

Tabel 5. 3 Urutan Entitas pada Mesin A-6 dan BC320-2

Mesin	Dispatching Rule	Urutan entitas
A-6	EDD	1-2-4-5-6-7-3
	SPT	1-2-3-4-6-5-7
	JSPT	1-3-2-4-6-5-7
	JEDD	1-3-2-4-5-6-7
BC320-2	EDD	8-10-9-11
	SPT	8-9-10-11
	JSPT	8-9-10-11
	JEDD	8-10-9-11

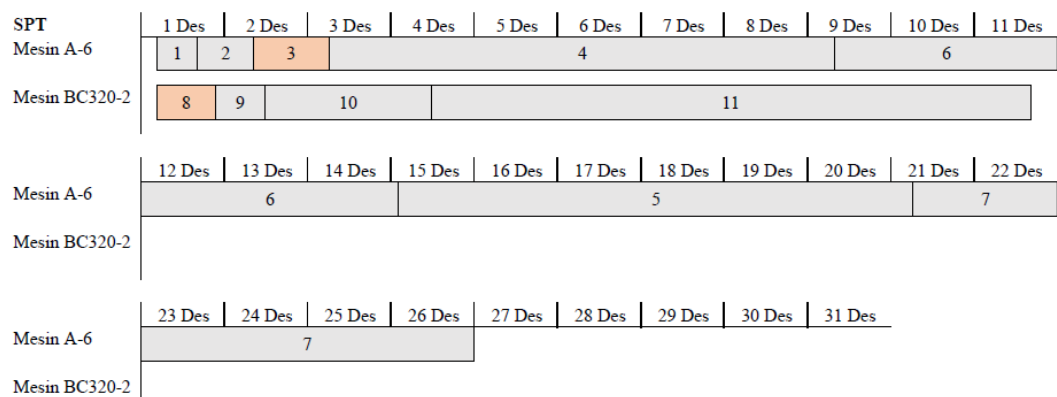
Pada *gantt chart*, terdapat 2 jenis entitas yaitu entitas yang berwarna *orange* dan abu. Warna *orange* menandakan entitas tersebut terdiri dari beberapa material atau PN, sedangkan warna abu hanya terdiri dari 1 material atau PN. Gambar 5.5 merupakan contoh *gantt chart* untuk mesin A-6 dan mesin BC320-2 dengan *dispatching rule Earliest Due Date* (EDD). Proses seri terjadi pada setiap mesin. Sebagai contoh mesin A-6 dengan *dispatching rule* EDD, entitas 1 dikerjakan pertama pada 1 Desember 2019, kemudian setelah entitas 1 selesai, maka

mengerjakan entitas 2, dan seterusnya sampai entitas 3. Selanjutnya jika dibandingkan antar 2 mesin, yaitu mesin A-6 dan mesin BC320-2, entitas 1 dan 8 dikerjakan secara paralel pada 1 Desember 2019, kemudian mengerjakan entitas selanjutnya sesuai urutan entitas pada antrean. Pada entitas yang berwarna *orange*, yaitu entitas 3 dan 8, yang berasal dari *job* yang sama yaitu *job* 1572439410, juga dikerjakan secara paralel pada mesin yang berbeda. Entitas 3 dan 8 akan menghasilkan bentuk sub-produk yang berbeda. Selain itu kedua entitas tidak saling terkait, sehingga tidak ada aturan harus mengerjakan entitas 3 terlebih dahulu atau entitas 8 terlebih dahulu.

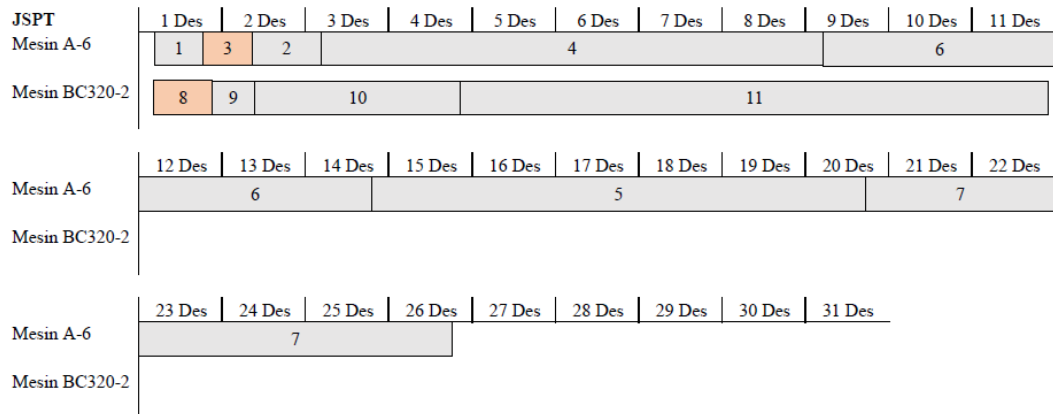


Gambar 5. 5 Gantt Chart untuk Dispatching Rule EDD

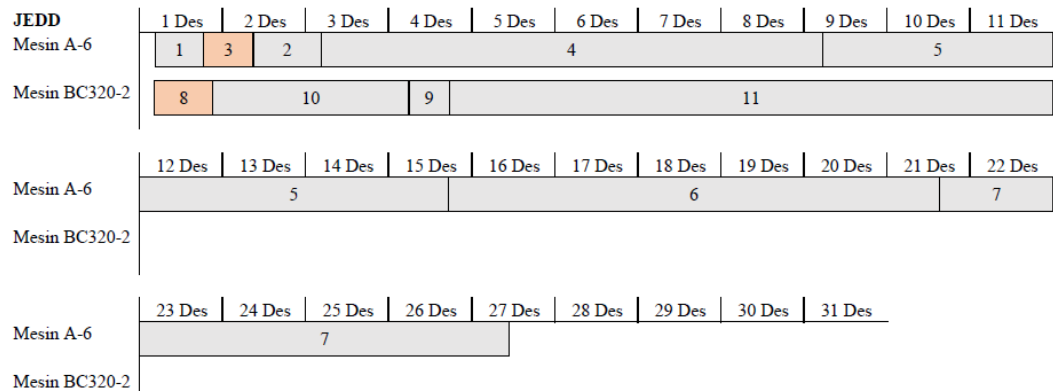
Gambar 5.6-Gambar 5.8 adalah *gantt chart* untuk *dispatching rule* SPT, JSPT, dan JEDD.



Gambar 5. 6 Gantt Chart untuk Dispatching Rule SPT



Gambar 5. 7 Gantt Chart untuk Dispatching Rule JSPT



Gambar 5. 8 Gantt Chart untuk Dispatching Rule JEDD

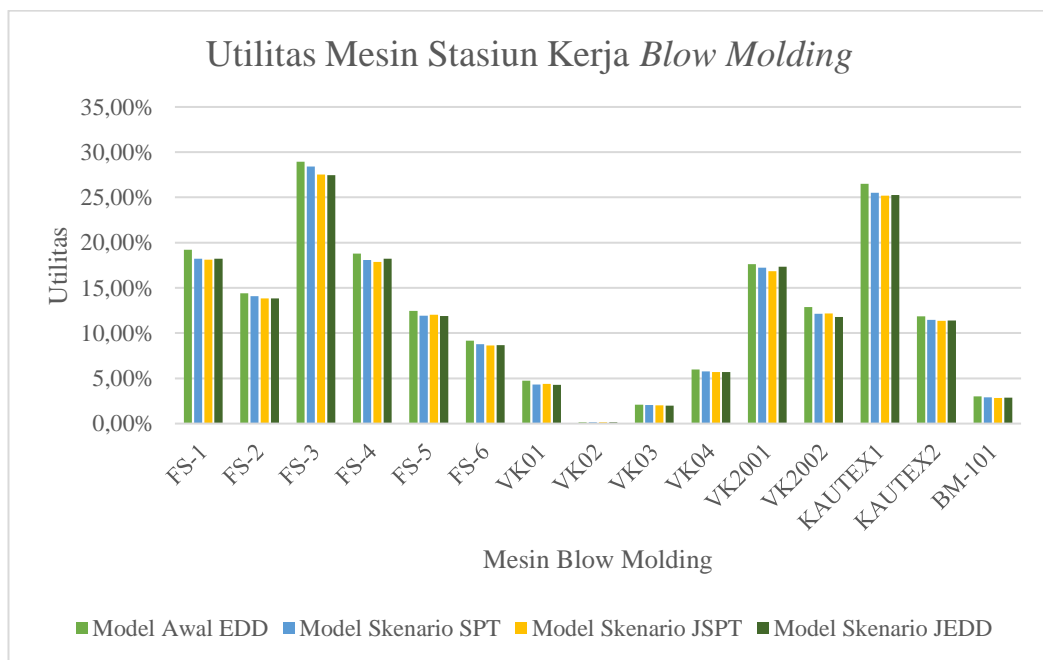
Selanjutnya untuk hasil model simulasi, ditampilkan juga utilitas mesin pada setiap stasiun kerja. Berikut ini adalah perhitungan yang dipakai untuk menghitung utilitas mesin (Kelton, Sadowski, & Zupick, 2015):

$$\text{Utilitas mesin (\%)} = \frac{\text{Total waktu mesin beroperasi}}{\text{Total waktu operasi yang tersedia}} \times 100\%$$

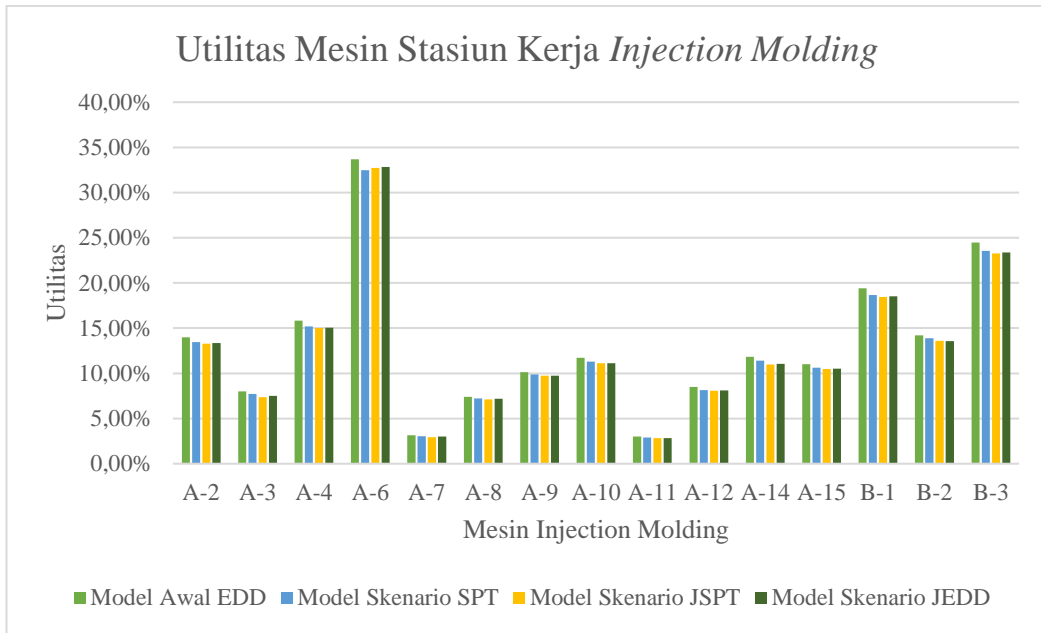
Sebagai contoh, mesin A-10 pada stasiun kerja *injection molding* beroperasi selama 199,5 jam, sedangkan total waktu yang tersedia adalah 1704,3 jam. Total waktu yang tersedia didapatkan dari waktu *length of run* saat simulasi berjalan. Maka perhitungan utilitas mesin A-10 adalah sebagai berikut:

$$\text{Utilitas A} - 10 = \frac{199.5}{1704.3} \times 100\% = 11.71\%$$

Pada penelitian ini memakai 30 replikasi, sehingga nilai utilitas yang didapatkan adalah hasil rata-rata utilitas setiap mesin pada seluruh replikasi. Berikut ini adalah hasil rekapitulasi utilitas mesin pada model awal EDD, model skenario SPT, model skenario JSPT, dan model skenario JEDD. Hasil dalam bentuk tabel yang lebih detail ditampilkan pada Lampiran 4. Rendahnya nilai utilitas dikarenakan pada penelitian ini tidak mempertimbangkan adanya *job* tambahan dari *customer* serta adanya *job rework*. Utilitas mesin antar *dispatching rule* EDD, SPT, JSPT, dan JEDD tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan. Hal ini dikarenakan probabilitas setiap *job* untuk memilih mesin yang berbeda saat memakai *dispatching rule* yang berbeda relatif kecil. Gambar 5.9-Gambar 5.10 menampilkan utilitas pada seluruh mesin di stasiun kerja *blow molding* dan pada mesin A-2 sampai B-3 di stasiun kerja *injection molding*.

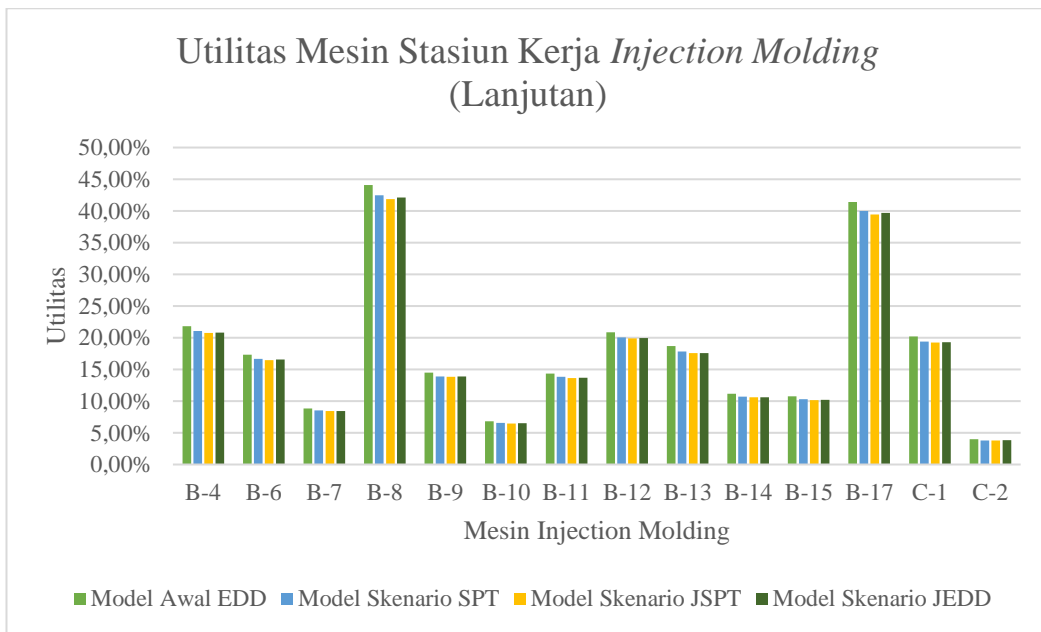


Gambar 5. 9 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja Blow Molding

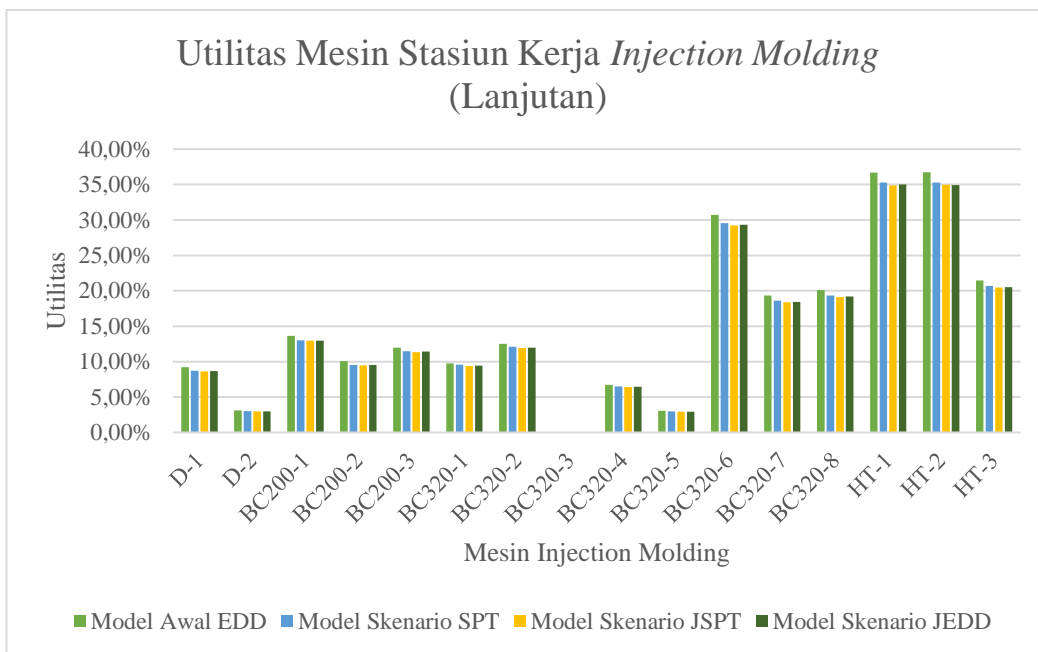


Gambar 5. 10 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Injection Molding* Mesin A-2-Mesin B-3

Gambar 5.11 dan Gambar 5.12 menampilkan utilitas mesin B-4 sampai HT-3 di stasiun kerja *injection molding*.

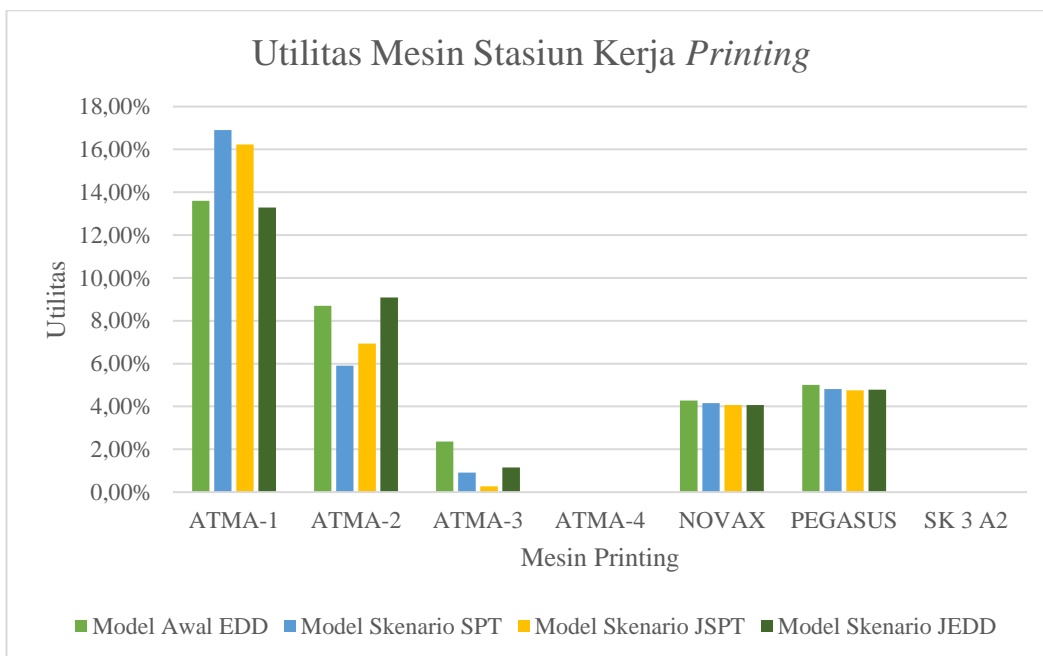


Gambar 5. 11 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Injection Molding* Mesin B-4-Mesin C-2

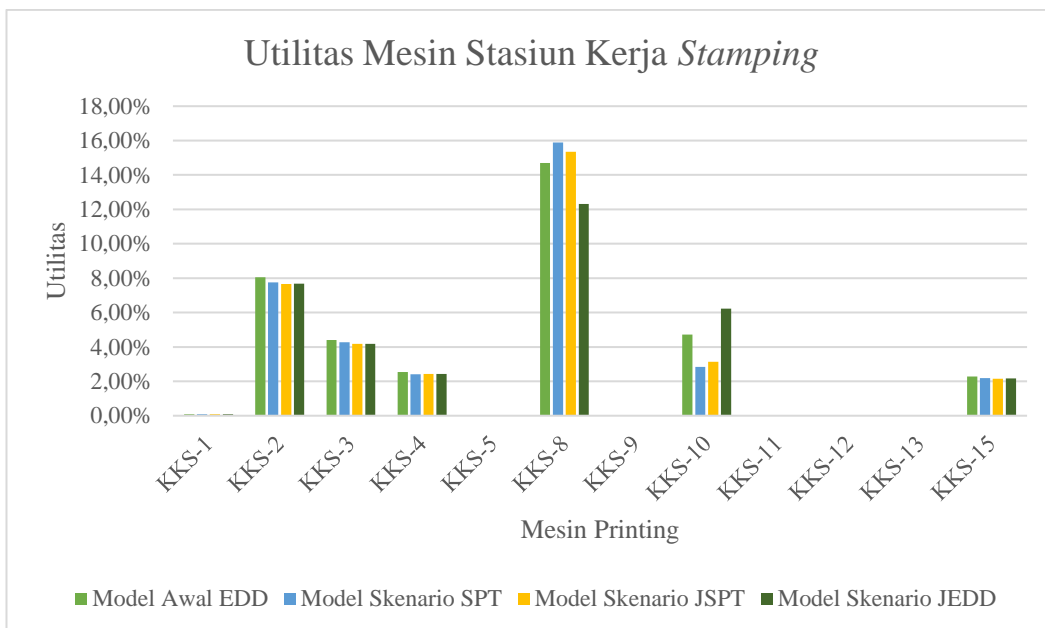


Gambar 5. 12 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Injection Molding* Mesin D-1-Mesin HT-3

Gambar 5.13 dan Gambar 5.14 menampilkan utilitas mesin di stasiun kerja *printing* dan mesin KKS-1 sampai KKS-15 di stasiun kerja *stamping*.

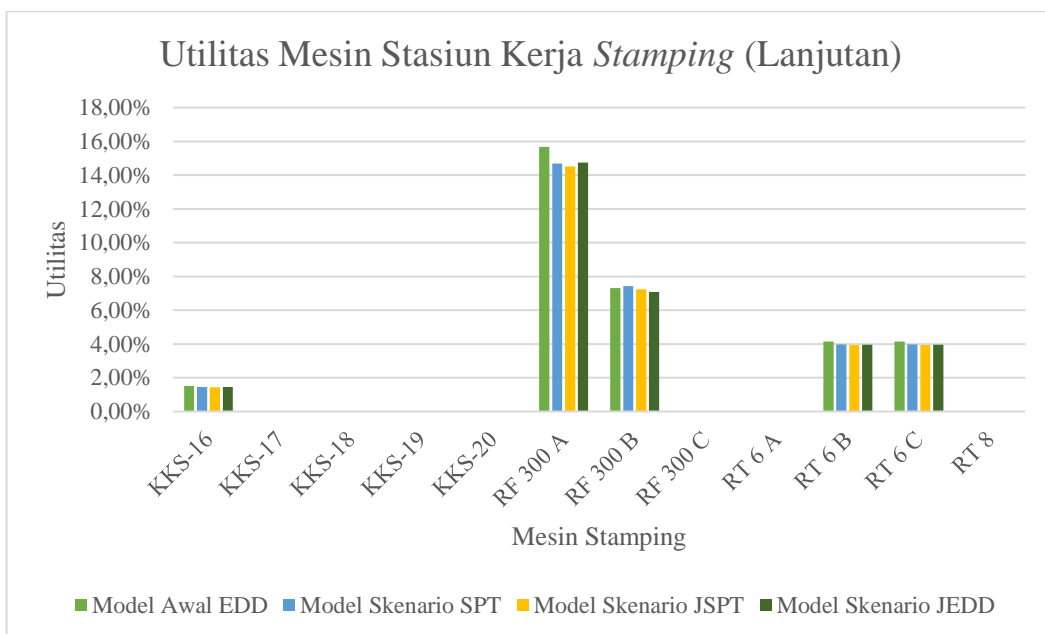


Gambar 5. 13 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Printing*

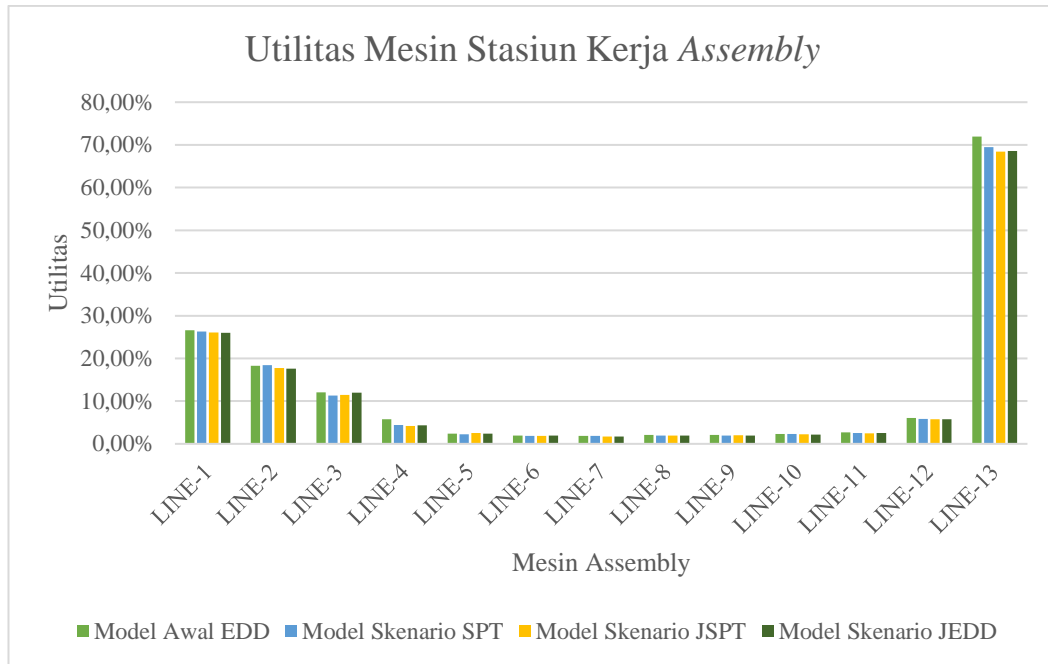


Gambar 5. 14 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Stamping* Mesin KKS-1-Mesin KKS-15

Gambar 5.15 dan Gambar 5.16 menampilkan utilitas mesin KKS-16 sampai RT 8 di stasiun kerja *stamping* dan mesin di stasiun kerja *assembly*.



Gambar 5. 15 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja *Stamping* Mesin KKS-16-Mesin RT 8



Gambar 5.16 Grafik Utilitas Mesin Stasiun Kerja Assembly

5.1.2 Hasil Perbandingan Skenario

Dari hasil simulasi yang telah ditampilkan pada subbab 5.1.1, selanjutnya dilakukan uji signifikansi untuk melakukan perbandingan skenario. Uji yang digunakan adalah Analysis of Variance (ANOVA) One-Way dengan fitur Data Analysis pada Microsoft Excel. Hipotesis yang digunakan adalah (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012):

$H_0: \mu_1 = \mu_2$: Model simulasi awal dengan skenario sama

$H_A: \mu_1 \neq \mu_2$: Model simulasi awal dengan skenario berbeda

Jika nilai $F > F_{critical}$, maka menolak H_0 dan model simulasi awal dinyatakan berbeda dengan model skenario yang diuji. Berikut ini adalah hasil ANOVA One-Way untuk variabel respons yang diukur yaitu rata-rata *flow time* yang ditampilkan pada Tabel 5.4.

Tabel 5. 4 Hasil ANOVA One-Way Rata-rata Flow Time

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Model Awal EDD (jam)	30	4518.7	150.623	72.5184		
Skenario SPT (jam)	30	4168.67	138.956	65.5475		
Skenario JSPT (jam)	30	4351.98	145.066	66.7417		
Skenario JEDD (jam)	30	4631.49	154.383	64.4541		

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	4074.73	3	1358.24	20.1773	1.36221E-10	2.68281
Within Groups	7808.59	116	67.3154			
Total	11883.3	119				

Pada hasil uji diatas, nilai F yaitu 20,17 melebihi nilai F *critical* 2,68 (20,17 > 2,68) sehingga menolak H_0 dan keempat model tersebut dinyatakan tidak memiliki nilai populasi sama. Hal ini berarti model awal berbeda dengan model skenario. Karena menolak H_0 , maka selanjutnya dilakukan Tukey-Kramer Test (Tukey Pairwise Comparisons) untuk membandingkan antar 2 skenario (Walpole, Myers, Myers, & Ye, 2012). Pengerjaan Tukey-Kramer Test menggunakan *software* Minitab. Berikut ini adalah hasil uji Tukey-Kramer Test untuk variabel rata-rata *job flow time* yang ditampilkan pada Gambar 5.17 dan Gambar 5.18.

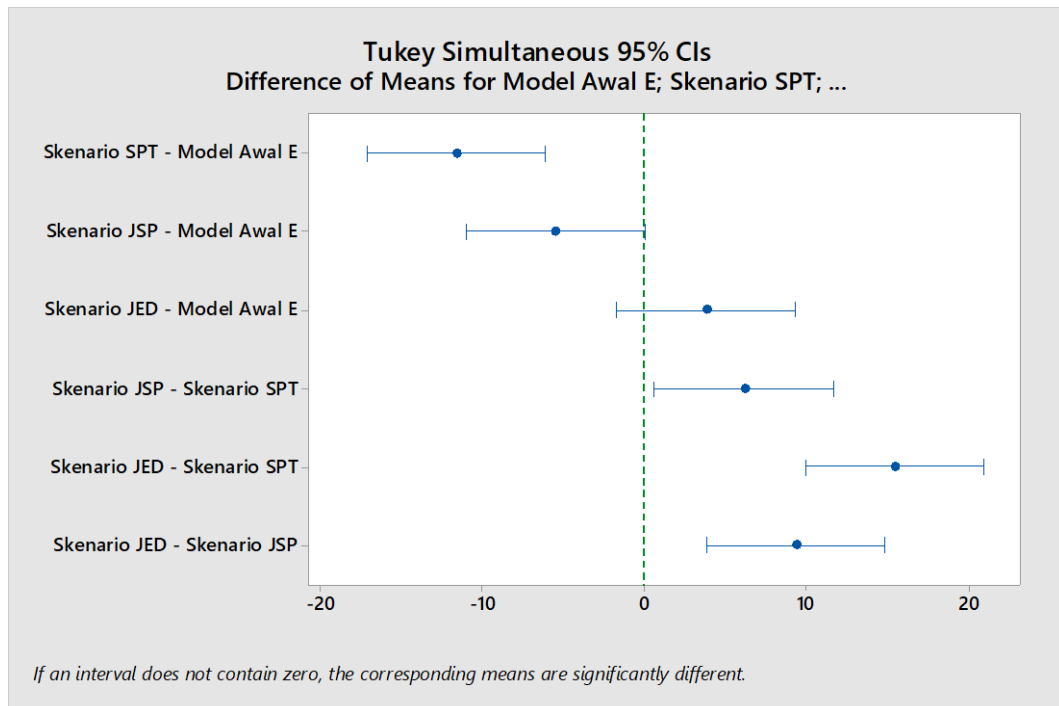
Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Skenario JEDD (jam)	30	154,38	A
Model Awal EDD (jam)	30	150,62	A
Skenario JSPT (jam)	30	145,07	B
Skenario SPT (jam)	30	138,96	C

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 5. 17 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Rata-rata Job Flow Time



Gambar 5. 18 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Rata-rata *Job Flow Time* (Lanjutan)

Dari hasil uji Tukey-Kramer Test, nilai interval yang memiliki nilai 0 menandakan bahwa antar 2 model tidak berbeda secara signifikan. Perbandingan antar 2 skenario yang memiliki nilai interval paling besar (paling jauh dari garis 0) adalah antara model skenario JEDD dan skenario SPT. Model skenario JEDD memiliki nilai rata-rata *flow time* sebesar 154,38 jam dan skenario SPT sebesar 138,96 jam. Dikarenakan tujuan penelitian ini adalah mengidentifikasi kebijakan penjadwalan produksi yang dapat meminimalkan nilai rata-rata *job flow time*, maka dapat disimpulkan bahwa model skenario yang terpilih adalah skenario SPT karena jika dibandingkan dengan skenario JEDD, skenario SPT memiliki nilai rata-rata *flow time* yang lebih kecil yaitu sebesar 138,96 jam atau 6,2 hari. Selanjutnya melakukan ANOVA One-Way untuk variabel respons jumlah *tardy job*. Berikut ini adalah hasil ANOVA One-Way untuk jumlah *tardy job* yang ditampilkan pada Tabel 5.5.

Tabel 5. 5 Hasil ANOVA One-Way Persentase Jumlah Tardy Job

SUMMARY						
<i>Groups</i>	<i>Count</i>	<i>Sum</i>	<i>Average</i>	<i>Variance</i>		
Model Awal (EDD)	30	4.1564	0.138547	0.000102		
Skenario SPT	30	4.1104	0.137013	4.58E-05		
Skenario JSPT	30	4.5062	0.150207	9.24E-05		
Skenario JEDD	30	4.6275	0.15425	0.000118		

ANOVA						
<i>Source of Variation</i>	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>P-value</i>	<i>F crit</i>
Between Groups	0.006543	3	0.002181	24.31694	2.79495E-12	2.682809
Within Groups	0.010404	116	8.97E-05			
Total	0.016947	119				

Pada Tabel 5.5, nilai F yaitu 24,31 melebihi nilai F *critical* 2,68 ($24,31 > 2,68$) sehingga menolak H_0 dan keempat model tersebut dinyatakan tidak memiliki nilai populasi sama. Karena menolak H_0 , maka selanjutnya dilakukan Tukey-Kramer Test untuk membandingkan signifikansi antar 2 skenario. Berikut ini adalah hasil uji Tukey-Kramer Test untuk variabel respons jumlah *tardy job* yang ditampilkan pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20.

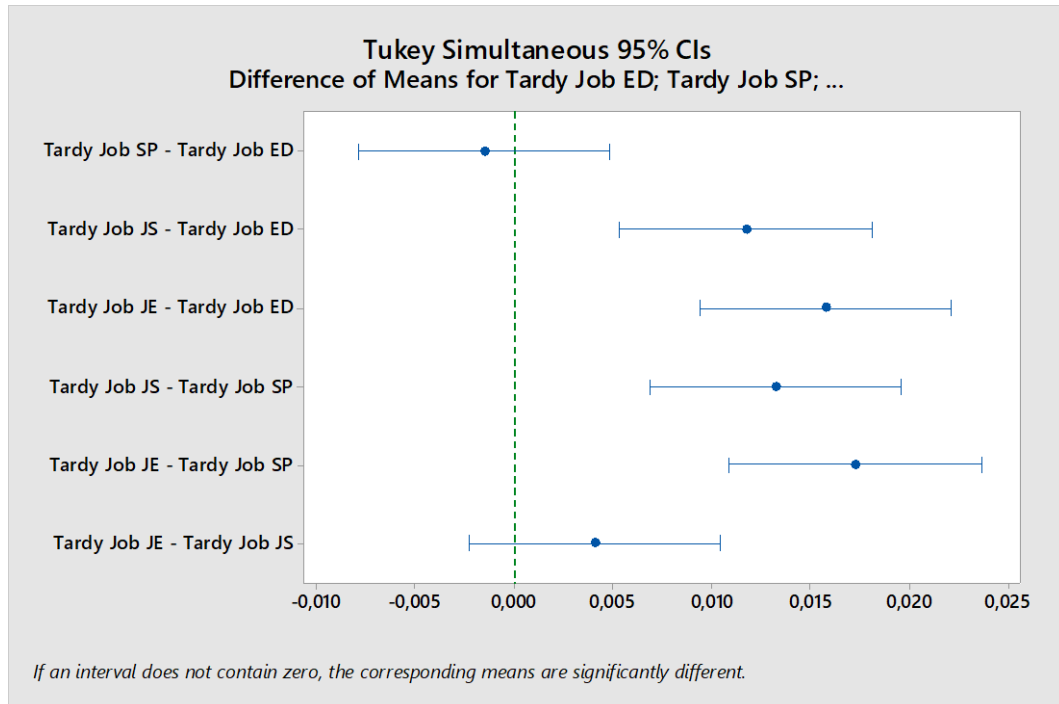
Tukey Pairwise Comparisons

Grouping Information Using the Tukey Method and 95% Confidence

Factor	N	Mean	Grouping
Tardy Job JEDD	30	0,15426	A
Tardy Job JSPT	30	0,15022	A
Tardy Job EDD	30	0,13854	B
Tardy Job SPT	30	0,13701	B

Means that do not share a letter are significantly different.

Gambar 5. 19 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Jumlah Tardy Job



Gambar 5. 20 Hasil Tukey-Kramer Test Variabel Jumlah Tardy Job (Lanjutan)

Dari hasil uji Tukey-Kramer Test pada Gambar 5.19 dan Gambar 5.20, diketahui bahwa perbandingan antar 2 skenario yang memiliki nilai interval paling besar (paling jauh dari garis 0) adalah antara model skenario JEDD dan skenario SPT. Model skenario JEDD memiliki nilai persentase *tardy job* sebesar 15,43% dan skenario SPT sebesar 13,70%. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa model skenario yang terpilih untuk meminimalkan jumlah *tardy job* adalah skenario SPT karena jika dibandingkan dengan skenario JEDD, skenario SPT memiliki nilai persentase *tardy job* yang lebih kecil yaitu 13,70%.

5.1.3 Job Sequence Hasil Simulasi

Berdasarkan hasil *running experiment* pada keempat model, didapatkan perbedaan hasil *job sequence* pada setiap mesin. Tabel 5.6 merupakan contoh tabel hasil *job sequence* pada replikasi ke-1 untuk stasiun kerja *blow molding*, yang menampilkan perbandingan *job sequence* untuk setiap model. *Cell* yang diberi warna biru menunjukkan terdapat perbedaan *job sequence* diantara keempat model tersebut, yang mana terdapat pada mesin BM-101, FS-1, FS-2, FS-5, FS-6, dan

VK03. Tabel *job sequence* untuk replikasi ke-1 stasiun kerja *injection molding*, *printing*, *stamping*, dan *assembly* ditampilkan pada Lampiran 5-Lampiran 8.

Tabel 5. 6 Job Sequence Stasiun Kerja Blow Molding

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
Blow Molding	BM-101	1573251710	733943	1573251710	733943	1573251710	733943	1573251710	733943
		1573447310	732326	1573447310	937445	1573447310	732326	1573447310	732326
		1573447310	937445	1573447310	732326	1573447310	937445	1573447310	937445
		1573329510	732476	1573329510	732476	1573329510	732476	1573329510	732476
		1571462630	1051818	1571462630	1051818	1571462630	1051818	1571462630	1051818
	FS-1	1573133310	1072363	1571835110	733952	1571835110	733952	1573133310	1072363
		1571835110	733952	1573133310	1072363	1573133310	1072363	1571835110	733952
	FS-2	1572138310	728318	1572138310	728318	1572138310	728318	1572138310	728318
		1572498610	728318	1573074810	728282	1572498610	728318	1572498610	728318
		1573074810	728282	1572498610	728318	1573074810	728282	1573074810	728282
	FS-3	1573019110	1072363	1573019110	1072363	1573019110	1072363	1573019110	1072363
		1573203310	733952	1573203310	733952	1573203310	733952	1573203310	733952
		1573024810	1084452	1573024810	1084452	1573024810	1084452	1573024810	1084452
	FS-4	1572722110	970650	1572722110	970650	1572722110	970650	1572722110	970650
		1573025510	1084544	1573025510	1084544	1573025510	1084544	1573025510	1084544
		1572944310	735581	1572944310	735581	1572944310	735581	1572944310	735581
	FS-5	1572535310	728253	1572535310	728253	1572535310	728253	1572535310	728253
		1573328110	733955	1573158210	728315	1573158210	728315	1573328110	733955
		1573158210	728315	1573328110	733955	1573328110	733955	1573158210	728315
	FS-6	1571695210	938007	1571695210	938007	1571695210	938007	1571695210	938007
		1573453610	1109809	1573251810	728284	1573251810	728284	1573453610	1109809
		1573251810	728284	1572856110	1116007	1572856110	1116007	1573251810	728284
		1572856110	1116007	1573453610	1109809	1573453610	1109809	1572856110	1116007
	KAUT EX1	1573204030	728373	1573204030	728373	1573204030	728373	1573204030	728373
		1573204040	728373	1573204040	728373	1573204040	728373	1573204040	728373
	KAUT EX2	1573204050	728373	1573204050	728373	1573204050	728373	1573204050	728373
	VK02	1569597210	939501	1569597210	939501	1569597210	939501	1569597210	939501
	VK03	1567961830	728166	1567961830	728166	1567961830	728166	1567961830	728166
		1571564750	728166	1573074910	728167	1571564750	728166	1571564750	728166
		1573074910	728167	1571564750	728166	1573074910	728167	1573074910	728167
	VK04	15670244100	728352	15670244100	728352	15670244100	728352	15670244100	728352
	VK200 1	1567694170	728347	1567694170	728347	1567694170	728347	1567694170	728347
		1573086510	728288	1573086510	728288	1573086510	728288	1573086510	728288
		1571465110	728286	1571465110	728286	1571465110	728286	1571465110	728286
	VK200 2	1572877810	728286	1572877810	728286	1572877810	728286	1572877810	728286

Tabel 5. 6 Job Sequence Stasiun Kerja Blow Molding (Lanjutan)

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		1573087010	938009	1573087010	938009	1573087010	938009	1573087010	938009

5.2 Analisis

Pada subbab 5.2 dianalisis mengenai kondisi riil pada perusahaan, model simulasi awal, masing-masing model skenario, dan model skenario terbaik.

5.2.1 Analisis Kondisi Riil

Banyak faktor yang menyebabkan adanya keterlambatan produksi dan rata-rata *flow time*. Hal yang mengakibatkan terjadinya dua hal tersebut adalah *waiting time* yang tinggi untuk setiap *job*. Faktor yang menyebabkan adanya *waiting time* dapat terdiri dari terdapat kerusakan mesin, jumlah *manpower* yang tidak mencukupi, terjadi *stock-out* material, dan penjadwalan produksi yang kurang baik. Penjadwalan produksi yang kurang tepat dapat menimbulkan *waiting time* karena *job* yang diterima tidak sesuai dengan sumber daya yang tersedia. Keterbatasan sumber daya mengharuskan perusahaan membuat penjadwalan yang baik agar masing-masing *job* dapat diproduksi dalam jumlah dan waktu yang tepat. Penerapan *dispatching rule* dapat membantu pembuatan penjadwalan produksi, namun perlu disesuaikan dengan kondisi pada sistem produksi. Banyaknya *variability* dan *interdependency* juga perlu dipertimbangkan dalam penjadwalan. Pada kondisi riil, *dispatching rule* yang digunakan adalah *Earliest Due Date* (EDD), namun berdasarkan data historis masih belum mampu memenuhi target *flow time* dan *tardy job* yang diinginkan.

Pada kondisi riil terdapat 5 stasiun kerja yaitu *blow molding*, *injection molding*, *printing*, *stamping*, dan *assembly*. *Flow time* paling lama umumnya adalah *job* yang memiliki proses *injection molding*, *printing*, *stamping*, dan *assembly*. Hal ini dikarenakan selain tahapan proses yang banyak, jumlah kuantitas produk pada *job* jenis ini umumnya sangat banyak. Umumnya produk yang mempunyai *job* jenis ini adalah produk kemasan *lipstick*, sehingga dapat dikatakan produk yang paling kompleks adalah produk kemasan *lipstick*. Sistem pengerjaan proses pada *job* pada kondisi riil juga dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan. Walaupun *job* dibagi

menjadi beberapa kali pengerjaan, sering kali pengerjaan tersebut tidak berurutan. Hal ini dikarenakan saat akan melanjutkan, mesin masih dipakai oleh *job* lain. Pilihan alternatif mesin juga bervariasi, terdapat *job* yang memiliki alternatif banyak mesin, terdapat juga *job* yang hanya dapat diproses oleh 1 mesin. Salah satu contoh yang menyebabkan kondisi riil memiliki *flow time* yang panjang adalah pada Desember 2019 terdapat *part number* yang memiliki waktu proses cukup besar, namun pilihan alternatif mesin yang sedikit, yaitu *part number* 1063195 dengan alternatif mesin B-8 dan HT-2. Dikarenakan mesin yang tersedia hanya 2, maka *interdependency* akan sangat tinggi apabila mesin rusak atau sedang dipakai oleh *part number* lain yang mengakibatkan *flow time* panjang. Contoh lainnya yaitu pada stasiun kerja *assembly* terdapat lini perakitan khusus yaitu LINE 13, yang mana hanya beberapa subproduk saja yang dapat diproses pada lini tersebut. Dari data perencanaan produksi diketahui terdapat cukup banyak *order* yang harus diproses di LINE 13, yang juga mengakibatkan *flow time* panjang. Berikut ini adalah Tabel 5.7 yang menampilkan rincian untuk *part number* 1063195.

Tabel 5. 7 Contoh Part Number 1063195

<i>Part Number</i>	<i>Job Number</i>	Mesin	Waktu Proses (jam)
1063195	1568188120	B-8	87.3
	1570208360	B-8	102.1
	1572560610	HT-2	51.1
	1573447510	B-8	102.1
	1572781940	B-8	46.7
	1572782110	HT-2	51.1
	1572560910	B-8	4.4
	1572560810	HT-2	102.1
	1572782120	HT-2	102.1
	1572761610	B-8	102.1
	1572560510	B-8	51.1
	1572761340	B-8	51.1
	1572761350	HT-2	51.1
	1572560710	B-8	102.1
	1572561120	HT-2	102.1
	1572561010	B-8	113.8

5.2.2 Analisis Model Awal

Pada model simulasi awal, terdapat batasan yang dipakai yaitu setiap proses pada *job* hanya sekali pengerjaan. Hal ini mengakibatkan adanya perbedaan *flow time* historis dengan *flow time* model simulasi awal. Karena batasan tersebut, perhitungan *flow time* historis menyesuaikan dengan batasan yang dipakai yaitu tidak disertai dengan *waiting time* saat proses dipecah menjadi beberapa kali dan pengerjaannya tidak dilakukan secara berurutan. *Waiting time* hanya dihitung ketika *job* sudah berpindah ke proses selanjutnya, namun ternyata mesin pada proses selanjutnya masih belum *available*. Dari hasil perhitungan, didapatkan nilai rata-rata *flow time* historis adalah sebesar 143,36 jam.

Setiap *job* pada model simulasi awal sudah memiliki atribut *job number*, *part number*, alur proses produksi (*stage*), waktu proses pada setiap *stage*, dan *due date*. Waktu proses yang dipakai adalah waktu proses standar yang ditetapkan oleh perusahaan untuk setiap *job*. Selain itu juga alternatif mesin yang digunakan sesuai dengan pilihan alternatif mesin pada kondisi riil. Setelah melakukan *running* model, didapatkan rata-rata *flow time* model simulasi awal adalah 150,62 jam, yang mana model dinyatakan valid dan memiliki arti dapat merepresentasikan kondisi riil. Penggunaan *dispatching rule* EDD pada model awal tidak mempertimbangkan kuantitas produk, yang mana hal ini juga sesuai dengan kondisi riil. Maka dari itu *job* yang memiliki *due date* lebih awal akan diproses terlebih dahulu. Sebagai contoh, *job* 1572451510 dan 1572853710 (ditampilkan pada Tabel 5.8) diproses pada mesin yang sama yaitu C-1, kemudian jika kedua *job* di-*release* bersamaan, maka *job* 1572451510 akan diproses terlebih dahulu karena memiliki *due date* lebih awal daripada *job* 1572853710.

Tabel 5. 8 Contoh Dispatching Rule EDD

<i>Job Number</i>	<i>Part Number</i>	Waktu Proses (jam)	<i>Start Date</i>	<i>Finish Date</i>	<i>Due Date</i>
1572451510	963994	272.9	01/12/19	12/12/19	28/11/19
1572853710	1072661	52.9	13/12/19	15/12/19	16/12/19

5.2.3 Analisis Masing-masing Model Skenario

1. Skenario *Shortest Processing Time* (SPT)

Berdasarkan hasil perbandingan skenario dengan ANOVA One-Way dan Tukey-Kramer Test, didapatkan kesimpulan bahwa skenario *Shortest Processing Time* (SPT) memiliki nilai yang paling baik untuk kedua variabel respons yaitu jumlah *tardy job* dan rata-rata *flow time*. Skenario SPT mampu menghasilkan *tardy job* sebesar 13,70% dan rata-rata *flow time* sebesar 138,96 jam. Pengerjaan *job* dengan SPT dapat menurunkan *job waiting time*, karena *job* yang diproses pada awal antrean adalah *job* dengan waktu proses tercepat. Kondisi ini menyebabkan *job* yang mengantre setelahnya tidak terlalu lama menunggu dan dapat menghasilkan nilai *flow time* yang kecil. Semakin banyak *job* yang memiliki *flow time* kecil, maka rata-rata *flow time* untuk seluruh *job* akan berkurang. Pada perencanaan produksi bulan Desember 2019, terdapat banyak *job* yang hanya terdiri dari 1 *stage* memiliki waktu proses kecil. Maka dari itu, dengan aturan SPT ini maka seluruh *job* yang memiliki waktu proses lebih kecil akan diprioritaskan dan menghasilkan rata-rata *flow time* lebih kecil dari model simulasi awal.

Selanjutnya untuk variabel respons *tardy job*, pada aturan SPT juga menurun karena banyak *job* yang dengan waktu proses bernilai kecil juga memiliki *due date* yang lebih lama dibandingkan dengan *due date* pada *job* dengan waktu proses bernilai besar. Maka dari itu ketika memproses antrean menggunakan aturan SPT, tidak hanya rata-rata *flow time* yang berkurang, namun juga penyelesaian *job* menjadi banyak yang tepat waktu sehingga dapat mengurangi jumlah *tardy job*. Selain itu, *job* yang memiliki waktu proses yang kecil tersebut umumnya memiliki banyak alternatif mesin, sehingga kemungkinan beberapa *job* berada di dalam satu mesin akan kecil.

2. Skenario *Job with similar setup and Shortest Processing Time* (JSPT)

Hasil dari skenario *Job with similar setup and Shortest Processing Time* (JSPT) cukup berbeda dengan SPT, hal ini karena jika terdapat *job* identik, maka akan diprioritaskan daripada *job* yang tidak identik. *Job* identik yang dimaksud adalah *job* yang memiliki *part number* sama dengan *job* yang saat itu sedang diproses pada mesin. Pengerjaan *job identik* secara

berurutan dapat mengurangi waktu tunggu akibat *setup* mesin. Pada variabel respons pertama yaitu jumlah *tardy job*, nilai persentase JSPT lebih besar daripada skenario SPT yaitu sebesar 15,02%, dibandingkan dengan SPT sebesar 13,70%. Peningkatan jumlah *tardy job* dikarenakan terdapat *job* identik yang diprioritaskan memiliki waktu proses lebih lama, sehingga menyebabkan *job* berikutnya yang sedang mengantre menjadi tidak dapat selesai memenuhi *due date*. Pengurangan waktu tunggu akibat *setup* saat penerapan aturan SPT tidak lebih besar daripada waktu tunggu *job* yang bertambah akibat urutannya berubah pada antrean mesin.

Pengurangan waktu tunggu akibat *setup* mesin tidak terlalu berpengaruh karena pada sistem produksi ini memiliki banyak alternatif mesin untuk setiap *job*, sehingga akan menghasilkan probabilitas yang kecil untuk *job* dengan *part number* sama mengantre pada mesin yang sama. Sebagai contoh, *part number* 7303010 memiliki alternatif 7 mesin seperti yang ditunjukkan pada Tabel 5.9. Setiap *job* dapat memakai banyak mesin dikarenakan *mold* untuk setiap jenis produk dapat dipakai di banyak mesin. Sekalipun *job* dengan *part number* sama mengantre di mesin yang sama, maka pengurangan waktu tunggu akibat *setup* masih lebih kecil daripada penambahan waktu tunggu *job* di antrean akibat berubahnya urutan antrean.

Tabel 5. 9 Alternatif Mesin Part Number 730310

<i>Part Number</i>	Alternatif Mesin
730310	A-3
	A-6
	A-10
	A-11
	A-14
	HT-1
	HT-3

Pada Desember 2019, *job* yang memiliki *part number* sama hanya sejumlah 87 *job* dari total 204 *job*, dengan modus 2 *job* untuk setiap *part number*. Walaupun terdapat 87 *job* identik, *job* tersebut memiliki waktu *setup* yang tidak terlalu lama dan waktu proses yang lebih lama sehingga

berpengaruh terhadap *flow time*. Variabel respons *flow time* pada skenario JSPT juga berada diantara skenario SPT dan JEDD, yaitu sebesar 145,07 jam. *Flow time* pada JSPT dapat lebih besar daripada SPT karena adanya urutan antrean yang berubah akibat terdapat *job* identik.

3. Skenario *Job with similar setup and Earliest Due Date* (JEDD)

Variabel respons pertama yang akan dianalisis adalah *tardy job*. Model skenario JEDD memiliki nilai persentase *tardy job* paling besar yaitu 15,43%. Skenario JEDD memiliki nilai *tardy job* yang cukup berbeda dari model awal EDD dikarenakan adanya *job* identik yang cukup berpengaruh terhadap penyelesaian *job* secara tepat waktu. Jika penerapan EDD masih mengakibatkan *job* selesai terlambat, maka penerapan JEDD akibat adanya *job* identik akan memberikan waktu tunggu pada antrean lebih lama sehingga akan meningkatkan jumlah *tardy job* dibandingkan dengan EDD.

Variabel respons kedua yaitu rata-rata *flow time*. Skenario JEDD juga memiliki nilai rata-rata *flow time* paling besar, yaitu senilai 154,38 jam, yang mana tidak berbeda jauh dengan skenario model awal yaitu EDD dengan nilai 150,62 jam. Hal ini dikarenakan waktu tunggu akibat *setup* pada umumnya memiliki nilai jauh lebih kecil dibandingkan dengan waktu proses *job*. Sehingga jika ada kondisi saat sebuah *job* berubah urutan antreannya karena terdapat *job* yang identik dengan *job* yang saat itu sedang diproses, maka *waiting time job* yang sedang mengantre dikarenakan menunggu *job* identik tersebut akan lebih lama dibandingkan dengan *waiting time* untuk *setup* mesin.

5.2.4 Analisis Model Skenario Terpilih

Pada penelitian ini, terdapat batasan pada proses produksi yaitu pengerjaan *job* pada setiap stasiun kerja tidak dapat dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan. Melakukan perbandingan model skenario dengan data historis tidak akan relevan karena adanya batasan tersebut. Maka dari itu model skenario terpilih akan dibandingkan dengan model simulasi awal untuk mengetahui nilai *improvement* yang didapatkan. Tabel 5.10 menunjukkan perbedaan nilai *improvement* pada

masing-masing skenario yaitu SPT, JSPT, dan JEDD jika dibandingkan dengan model awal EDD. Nilai *improvement* minus menandakan bahwa skenario tersebut tidak mengalami perbaikan, akan tetapi justru semakin memburuk.

Tabel 5. 10 *Improvement* pada Masing-masing Skenario

	Model Skenario SPT	Model Skenario JSPT	Model Skenario JEDD
Penurunan <i>Mean Flow Time</i>	7.74%	3.69%	-2.50%
Penurunan <i>Tardy Job</i>	1.08%	-8.45%	-11.41%

Berdasarkan hasil uji ANOVA One-Way dan Tukey Kramer Test, didapatkan hasil bahwa model skenario yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* serta rata-rata *flow time* adalah skenario *Shortest Processing Time* (SPT). Nilai rata-rata *flow time* skenario SPT adalah 138,96 jam, sedangkan rata-rata *flow time* model awal adalah 150,62 jam, yang berarti bahwa pada model skenario SPT terjadi penurunan rata-rata *flow time* sebesar 7,74% dari model simulasi awal. Rata-rata *flow time* sebesar 138,96 jam atau 5,79 hari ini mampu mencapai target *flow time* tidak lebih dari 14 hari sebesar 97,28%, dengan batasan dan asumsi yang disebutkan pada penelitian ini. Sedangkan pada model awal EDD mampu mencapai target *flow time* tidak lebih dari 14 hari sebesar 96,98%, Selanjutnya untuk variabel respons *tardy job*, pada skenario SPT didapatkan nilai *tardy job* sebesar 13,70%, sedangkan pada model simulasi awal adalah sebesar 13,85%, yang berarti bahwa terjadi penurunan *tardy job* sebesar 1,08%. Meskipun model skenario SPT tidak mencapai target dari perusahaan untuk meminimalkan *tardy job* sampai sebesar 3%, namun penelitian ini tidak dilakukan untuk mencapai target tersebut. Penelitian dikatakan berhasil jika mampu mereduksi nilai *tardy job* model simulasi awal. Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa penelitian yang dilakukan dapat mencapai tujuan penelitian yaitu mampu membuat model simulasi untuk penjadwalan produksi yang mempertimbangkan *variability* dan *interdependency*, serta mampu mengidentifikasi kebijakan penjadwalan produksi yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* dan rata-rata *flow time*.

BAB VI

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab 6 ditampilkan kesimpulan terhadap hasil penelitian serta saran pengembangan untuk penelitian selanjutnya tentang penjadwalan produksi yang mempertimbangkan *variability* dan *interdependency* pada sistem.

6.1 Kesimpulan

Kesimpulan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Pada penelitian ini berhasil dibuat model simulasi untuk penjadwalan produksi yang mempertimbangkan *variability* dan *interdependency* pada sistem.
2. Dari hasil perbandingan skenario, terdapat beberapa jenis *job* yang mempengaruhi eksperimen yaitu *job* yang memiliki *due date* awal namun memiliki waktu proses besar, *job* yang memiliki *due date* akhir namun memiliki waktu proses kecil, dan *job* identik yang memiliki waktu proses lebih lama daripada waktu *setup*. Pada penelitian ini didapatkan skenario terbaik yaitu *Shortest Processing Time* (SPT) yang dapat meminimalkan jumlah *tardy job* sebesar 1,08% dan rata-rata *flow time* sebesar 7,74%.

6.2 Saran

Saran yang diharapkan untuk dilakukan pada penelitian selanjutnya adalah sebagai berikut:

1. Dalam pembuatan model simulasi dapat mempertimbangkan pengerjaan proses pada *job* yang dapat dibagi menjadi beberapa kali pengerjaan.
2. Dapat mempertimbangkan ketersediaan operator, intervensi *job* yang baru datang saat *job* sedang diproses pada mesin, dan faktor lain yang tidak dipertimbangkan dalam penelitian ini.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

DAFTAR PUSTAKA

- Abdallah, K. S., & Jang, J. (2017). Scheduling A Single Machine With Job Family Setup Times To Minimize Total Tardiness. *International Conference on Engineering, Technology and Innovation (ICE/ITMC)* (hal. 665-672). Funchal: IEEE.
- Baker, K. R., & Trietsch, D. (2019). *Principles of Sequencing and Scheduling*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc.
- Chapman, S. N., Arnold, J. R., Gatewood, A. K., & Clive, L. M. (2017). *Introduction to Materials Management*. United States: Pearson Education, Inc.
- Daellenbach, H. G., & McNickle, D. C. (2005). *Management Science: Decision Making through Systems Thinking*. New York: Palgrave Macmillan.
- Fowler, J. W., Monch, L., & Rose, O. (2006). Scheduling and Simulation. Dalam J. W. Herrmann, *Handbook of Production Scheduling* (hal. 109). New York: Springer Science+Business Media.
- Harrel, C., Gosh, B. K., & Bowden, R. O. (2004). *Simulation Using Pro Model*. California: McGraw-Hill Education.
- Herrmann, J. W. (2006). Decision-Making Systems in Production Scheduling. Dalam J. W. Herrmann, *Handbook of Production Scheduling* (hal. 94). New York: Springer Science+Business Media.
- Kelton, W. D., Sadowski, R. P., & Zupick, N. B. (2015). *Simulation with Arena*. New York: McGraw-Hill Education.
- Pinedo, M. L. (2016). *Scheduling: Theory, Algorithms, and System*. New York: Springer Science+Business Media.
- Robinson, S. (2014). *Simulation: The Practice of Model Development and Use*. Hampshire: Palgrave Macmillan.
- Rostami, M., Kheirandish, O., & Ansari, N. (2015). Minimizing maximum tardiness and delivery costs with batch delivery and job release times. *Appl. Math. Modelling*, 4909-4927.
- Sharma, P., & Jain, A. (2015). Performance Analysis of Dispatching Rules in a Stochastic Dynamic Job Shop Manufacturing System with Sequence-

Dependent Setup Times: Simulation Approach. *CIRP Journal of Manufacturing Science and Technology*, 110-119.

Walpole, R. E., Myers, R. H., Myers, S. L., & Ye, K. (2012). *Probability & Statistics for Engineers & Scientists*. United States of America: Pearson Education, Inc.

Xiong, H., Fan, H., Jiang, G., & Li, G. (2016). A Simulation-Based Study of Dispatching Rules in a Dynamic Job Shop Scheduling Problem with Batch Release and Extended Technical Precedence Constraints . *European Journal of Operational Research*, 13-24.

LAMPIRAN

Lampiran 1: Hasil Variabel Respons *Mean Flow Time* per Replikasi pada Masing-masing Model

Replikasi	<i>Mean Flow Time</i> Model Awal EDD (jam)	<i>Mean Flow Time</i> Skenario SPT (jam)	<i>Mean Flow Time</i> Skenario JSPT (jam)	<i>Mean Flow Time</i> Skenario JEDD (jam)
1	151.79	137.14	145.36	151.24
2	142.35	129.85	136.51	147.38
3	164.99	155.72	159.36	162.24
4	143.59	135.57	141.06	146.64
5	151.73	137.84	148.06	153.63
6	159.33	144.12	156.16	163.41
7	152.79	137.83	148.99	155.98
8	145.58	132.35	140.06	151.76
9	172.38	158.73	166.61	177.51
10	148.16	138.25	144.54	154.98
11	144.91	133.42	141.76	149.98
12	154.04	141.47	148.86	155.22
13	152.21	140.23	147.39	155.84
14	138.86	129.73	137.13	143.27
15	166.46	153.17	157.86	168.07
16	152.91	136.82	144.24	156.24
17	142.92	132.67	137.84	145.52
18	145.67	134.88	139.89	149.88
19	147.11	136.26	142.19	152.12
20	140.51	126.08	130.53	145.05
21	148.83	139.38	144.04	152.63
22	150.01	139.39	142.50	155.07
23	148.47	136.30	140.76	153.90
24	153.45	143.83	147.86	158.92
25	143.09	133.07	138.72	147.38
26	136.16	126.50	132.46	141.54
27	166.50	154.95	159.05	170.85
28	148.10	139.43	141.13	151.69
29	152.54	140.30	144.24	155.08
30	153.25	143.39	146.82	158.51
Rata-Rata	150.62	138.96	145.07	154.38

Lampiran 2: Hasil Variabel Respons *Tardy Job* per Replikasi pada Masing-masing Model

Replikasi	<i>Tardy Job</i> Model Awal (EDD)	<i>Tardy Job</i> Skenario SPT	<i>Tardy Job</i> Skenario JSPT	<i>Tardy Job</i> Skenario JEDD
1	12.65%	13.44%	14.23%	13.83%
2	12.45%	13.25%	13.25%	15.26%
3	14.46%	14.06%	14.86%	14.06%
4	14.57%	14.17%	15.79%	16.19%
5	14.98%	12.96%	14.98%	15.38%
6	13.77%	13.36%	14.98%	15.79%
7	15.66%	13.65%	15.66%	15.66%
8	14.40%	14.40%	15.60%	16.80%
9	15.26%	14.46%	15.66%	17.67%
10	14.17%	12.96%	14.98%	15.79%
11	14.17%	12.55%	12.96%	15.38%
12	14.57%	12.15%	14.17%	16.19%
13	13.65%	13.65%	16.87%	15.26%
14	14.46%	13.65%	16.06%	16.87%
15	14.40%	13.44%	16.40%	16.00%
16	12.96%	12.96%	15.38%	14.57%
17	12.15%	13.77%	14.17%	15.79%
18	12.55%	13.77%	14.57%	15.79%
19	14.86%	14.06%	13.65%	15.26%
20	14.86%	14.86%	15.26%	16.47%
21	12.45%	13.25%	13.25%	13.65%
22	13.31%	13.71%	14.92%	16.13%
23	13.77%	13.77%	16.19%	14.57%
24	15.38%	14.17%	15.38%	17.41%
25	14.06%	13.25%	16.06%	15.26%
26	12.05%	13.25%	15.26%	15.26%
27	13.65%	14.46%	14.46%	13.25%
28	13.71%	14.92%	15.32%	14.52%
29	13.71%	13.71%	15.73%	14.92%
30	12.55%	14.98%	14.57%	13.77%
Rata-Rata	13.85%	13.70%	15.02%	15.43%

Lampiran 3: Nilai *Mean Waiting Time* per Replikasi pada Masing-masing Model

Replikasi	<i>Mean Waiting Time Model Awal EDD (jam)</i>	<i>Mean Waiting Time Skenario SPT (jam)</i>	<i>Mean Waiting Time Skenario JSPT (jam)</i>	<i>Mean Waiting Time Skenario JEDD (jam)</i>
1	84.83	70.23	78.42	84.31
2	83.84	71.39	78.05	88.97
3	93.40	84.05	87.85	90.75
4	75.69	67.72	73.27	78.84
5	84.26	70.40	80.75	86.35
6	89.39	74.16	86.24	93.52
7	85.13	70.07	81.29	88.35
8	87.61	74.28	82.08	93.78
9	100.35	86.71	94.58	105.50
10	79.20	69.32	75.63	86.04
11	78.93	67.30	75.74	83.97
12	85.92	73.29	80.79	87.18
13	85.14	73.06	80.43	88.80
14	80.55	71.41	78.84	84.97
15	95.89	82.67	87.38	97.57
16	82.58	66.51	74.04	86.01
17	74.05	63.84	69.06	76.76
18	76.92	66.18	71.19	81.17
19	80.19	69.36	75.38	85.28
20	83.03	68.64	73.04	87.55
21	81.47	71.98	76.68	85.31
22	80.74	70.17	73.33	85.95
23	80.86	68.68	73.24	86.28
24	83.20	73.59	77.68	88.74
25	77.18	67.14	72.76	81.42
26	79.90	70.27	76.28	85.38
27	95.48	83.98	88.09	99.92
28	79.50	70.82	72.62	83.14
29	84.73	72.42	76.44	87.30
30	82.97	73.09	76.58	88.30
Rata-Rata	83.77	72.09	78.26	87.58

Lampiran 4: Utilitas Mesin pada Masing-masing Model

Stasiun Kerja	Mesin	Model EDD	Model SPT	Model JSPT	Model JEDD
<i>Blow Molding</i>	FS-1	19.20%	18.21%	18.13%	18.21%
	FS-2	14.42%	14.09%	13.84%	13.82%
	FS-3	28.93%	28.40%	27.51%	27.46%
	FS-4	18.79%	18.09%	17.86%	18.22%
	FS-5	12.45%	11.92%	12.02%	11.87%
	FS-6	9.17%	8.76%	8.64%	8.66%
	VK01	4.74%	4.33%	4.40%	4.29%
	VK02	0.15%	0.15%	0.15%	0.15%
	VK03	2.11%	2.05%	2.03%	1.99%
	VK04	5.99%	5.75%	5.70%	5.70%
	VK2001	17.62%	17.23%	16.85%	17.34%
	VK2002	12.89%	12.13%	12.17%	11.78%
	KAUTEX1	26.49%	25.50%	25.20%	25.28%
	KAUTEX2	11.86%	11.47%	11.37%	11.38%
	BM-101	3.02%	2.92%	2.83%	2.86%
<i>Injection Molding</i>	A-2	14.00%	13.44%	13.30%	13.34%
	A-3	8.02%	7.73%	7.38%	7.51%
	A-4	15.82%	15.18%	15.03%	15.04%
	A-6	33.69%	32.46%	32.71%	32.82%
	A-7	3.15%	3.05%	2.94%	3.00%
	A-8	7.39%	7.22%	7.12%	7.17%
	A-9	10.13%	9.88%	9.74%	9.73%
	A-10	11.71%	11.29%	11.10%	11.13%
	A-11	3.00%	2.90%	2.83%	2.84%
	A-12	8.49%	8.16%	8.07%	8.10%
	A-14	11.82%	11.40%	10.99%	11.03%
	A-15	11.02%	10.61%	10.48%	10.52%
	B-1	19.40%	18.67%	18.45%	18.51%
	B-2	14.20%	13.87%	13.59%	13.56%
	B-3	24.48%	23.56%	23.28%	23.36%
	B-4	21.83%	21.03%	20.77%	20.79%
	B-6	17.32%	16.67%	16.47%	16.54%
	B-7	8.85%	8.52%	8.42%	8.44%
	B-8	44.07%	42.48%	41.86%	42.13%
	B-9	14.49%	13.88%	13.82%	13.87%
	B-10	6.79%	6.59%	6.45%	6.49%
	B-11	14.36%	13.82%	13.66%	13.70%
	B-12	20.86%	20.06%	19.88%	19.95%
	B-13	18.66%	17.83%	17.57%	17.59%
B-14	11.16%	10.72%	10.60%	10.58%	
B-15	10.74%	10.32%	10.17%	10.18%	
B-17	41.43%	39.97%	39.42%	39.67%	

Stasiun Kerja	Mesin	Model EDD	Model SPT	Model JSPT	Model JEDD
	C-1	20.21%	19.41%	19.23%	19.31%
	C-2	3.99%	3.79%	3.80%	3.83%
	D-1	9.21%	8.71%	8.62%	8.66%
	D-2	3.13%	3.02%	2.98%	2.99%
	BC200-1	13.66%	13.01%	12.98%	12.98%
	BC200-2	10.06%	9.55%	9.48%	9.52%
	BC200-3	11.95%	11.46%	11.33%	11.41%
	BC320-1	9.77%	9.57%	9.41%	9.46%
	BC320-2	12.50%	12.09%	11.92%	11.97%
	BC320-3	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	BC320-4	6.74%	6.49%	6.41%	6.44%
	BC320-5	3.07%	2.95%	2.92%	2.93%
	BC320-6	30.72%	29.57%	29.22%	29.32%
	BC320-7	19.32%	18.59%	18.37%	18.43%
	BC320-8	20.11%	19.35%	19.12%	19.19%
	HT-1	36.71%	35.28%	34.90%	35.00%
	HT-2	36.73%	35.27%	34.97%	34.94%
	HT-3	21.48%	20.71%	20.44%	20.52%
<i>Printing</i>	ATMA-1	13.60%	16.91%	16.23%	13.28%
	ATMA-2	8.69%	5.91%	6.94%	9.08%
	ATMA-3	2.36%	0.91%	0.27%	1.15%
	ATMA-4	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	NOVAX	4.28%	4.15%	4.06%	4.06%
	PEGASUS	5.00%	4.81%	4.75%	4.78%
	SK 3 A2	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
<i>Stamping</i>	KKS-1	0.09%	0.09%	0.08%	0.08%
	KKS-2	8.05%	7.75%	7.66%	7.68%
	KKS-3	4.39%	4.26%	4.18%	4.18%
	KKS-4	2.54%	2.41%	2.42%	2.42%
	KKS-5	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-8	14.69%	15.88%	15.35%	12.31%
	KKS-9	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-10	4.72%	2.84%	3.14%	6.22%
	KKS-11	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-12	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-13	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-15	2.27%	2.19%	2.16%	2.17%
	KKS-16	1.52%	1.46%	1.44%	1.45%
	KKS-17	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-18	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-19	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	KKS-20	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	RF 300 A	15.66%	14.69%	14.52%	14.74%
	RF 300 B	7.30%	7.42%	7.23%	7.09%

Stasiun Kerja	Mesin	Model EDD	Model SPT	Model JSPT	Model JEDD
	RF 300 C	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	RT 6 A	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
	RT 6 B	4.14%	3.98%	3.94%	3.95%
	RT 6 C	4.14%	3.98%	3.94%	3.95%
	RT 8	0.00%	0.00%	0.00%	0.00%
Assembly	LINE-1	26.62%	26.28%	26.05%	25.97%
	LINE-2	18.27%	18.45%	17.77%	17.59%
	LINE-3	12.03%	11.34%	11.42%	11.97%
	LINE-4	5.75%	4.38%	4.15%	4.31%
	LINE-5	2.38%	2.23%	2.56%	2.39%
	LINE-6	1.96%	1.86%	1.85%	1.90%
	LINE-7	1.84%	1.83%	1.72%	1.74%
	LINE-8	2.06%	1.90%	1.93%	1.95%
	LINE-9	2.09%	1.92%	1.99%	1.92%
	LINE-10	2.27%	2.34%	2.24%	2.18%
	LINE-11	2.67%	2.51%	2.46%	2.51%
	LINE-12	6.05%	5.82%	5.75%	5.77%
	LINE-13	71.98%	69.51%	68.42%	68.54%

Lampiran 5: *Job Sequence* Replikasi ke-1 Stasiun Kerja *Injection Molding*

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
IM	A-10	1573367910	733553	1573447340	733956	1573447340	733956	1573367910	733553
		1573447340	733956	1573367510	1116262	1573367910	733553	1573447340	733956
		1573367910	733553	1573367910	733553	15730197120	733662	15730197120	733662
		1573367510	1116262	15730197120	733662	1573367510	1116262	1573367510	1116262
		15730197120	733662	1573367910	733553	1573367910	733553	1573367910	733553
	A-11	1573074820	728279	1573074820	728279	1573074820	728279	1573074820	728279
		1573367910	733560	1573367910	733560	1573251820	728279	1573251820	728279
		1573251820	728279	1573251820	728279	1573367910	733560	1573367910	733560
		1573367910	733560	1573367910	733560	1573367910	733560	1573367910	733560
	A-12	1573019780	733664	1573019780	733664	1573019780	733664	1573019780	733664
		15730197100	733664	15730197100	733664	15730197100	733664	15730197100	733664
	A-14	1573019750	733661	1573367510	1098402	1573019750	733661	1573019750	733661
		1573367510	1098402	1573019750	733661	1573019770	733661	1573019770	733661
		1573019770	733661	1573019770	733661	1573367510	1098402	1573367510	1098402
	A-15	1573447320	732324	1573447320	732324	1573019790	733661	1573019790	733661
1573019790		733661	1573019790	733661	1573447320	732324	1573447320	732324	

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		15730197110	733661	15730197110	733661	15730197110	733661	15730197110	733661
	A-2	1572221680	926033	1572221680	926033	1572221680	926033	1572221680	926033
		1573204110	730247	1573204110	730247	1573204110	730247	1573019730	733661
		1573019730	733661	1573019730	733661	1573019730	733661	1573204110	730247
	A-3	1573074830	1023182	1573074830	1023182	1573074830	1023182	1573074830	1023182
		1573019760	733662	1573367510	1098402	1573367510	1098402	1573019760	733662
		1573367510	1098402	1573019760	733662	1573019760	733662	1573367510	1098402
		1573019780	733662	1573019780	733662	1573019780	733662	1573019780	733662
	A-4	1572944510	735659	1572944510	735659	1572944510	735659	1572944510	735659
		1573447330	732459	1573447330	732459	1573447330	732459	1573447330	732459
		1573368010	761658	1573368010	761658	1573368010	761658	1573368010	761658
		15730197100	733662	15730197100	733662	15730197100	733662	15730197100	733662
	A-6	1573453630	730292	1573453630	730292	1572439410	728556	1573453630	730292
		1572061410	728556	1572439410	728556	1573453630	730292	1572439410	728556
		1573019120	1120012	1572061410	728556	1573019120	1120012	1573019120	1120012
		1573019120	1120012	1573019120	1120012	1572061410	728556	1572061410	728556
		1573133320	1120012	1573133320	1120012	1573133320	1120012	1573019120	1120012
		1573133320	1120012	1573019120	1120012	1573019120	1120012	1573133320	1120012
		1572439410	728556	1573133320	1120012	1573133320	1120012	1573133320	1120012
	A-7	1573447320	732327	1573447320	732327	1573447320	732327	1573447320	732327
		1573019760	733664	1573019760	733664	1573019760	733664	1573019760	733664
		1572535330	728642	1572535330	728642	1572535330	728642	1572535330	728642
	A-8	1572877820	971306	1572877820	971306	1572877820	971306	1572877820	971306
		1573086930	971304	1573367510	1116262	1573367510	1116262	1573086930	971304
		1573087240	971304	1573086930	971304	1573086930	971304	1573087240	971304
		1573367510	1116262	1573453620	730291	1573087240	971304	1573367510	1116262
		1573453620	730291	1573087240	971304	1573453620	730291	1573453620	730291
	A-9	1571996910	1108249	1573251830	1023182	1573251830	1023182	1573367510	1116261
		1573367510	1116260	1573367510	1116260	1571996910	1108249	1573367510	1116260
		1573367510	1116260	1573367510	1116261	1573367510	1116260	1573251830	1023182
		1573367510	1116261	1573367510	1116260	1573367510	1116261	1571996910	1108249
		1573367510	1116261	1573367510	1116261	1573367510	1116260	1573367510	1116261
		1573251830	1023182	1571996910	1108249	1573367510	1116261	1573367510	1116260

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		1571997110	1108249	1571997110	1108249	1571997110	1108249	1571997110	1108249
	B-1	1570208360	1063194	1572781940	1063194	1572781940	1063194	1570208360	1063194
		1572761310	1065328	1570208370	1063194	1570208370	1063194	1570208370	1063194
		1570208370	1063194	1570208360	1063194	1570208360	1063194	1572781940	1063194
		1572781940	1063194	1572761310	1065328	1572761310	1065328	1572761310	1065328
		1572761340	1065328	1572561010	1063194	1572761340	1065328	1572761340	1065328
		1572561010	1063194	1572761340	1065328	1572561010	1063194	1572561010	1063194
	B-10	1572853710	1072661	1572853710	1072661	1572853710	1072661	1572853710	1072661
		1572061410	1072667	1572061410	1072667	1572061410	1072667	1572061410	1072667
		1571333330	997695	1571333330	997695	1571333330	997695	1571333330	997695
	B-11	1571236320	1082334	1571236320	1082334	1571236320	1082334	1571236320	1082334
		1571236230	1082331	1573251720	728331	1573025520	1082334	1573025520	1082334
		1573025520	1082334	1571236230	1082331	1573251720	728331	1571236230	1082331
		1573251720	728331	1573025520	1082334	1571236230	1082331	1573251720	728331
	B-12	1570904810	1062179	1570904810	1062179	1570904810	1062179	1570904810	1062179
		1572877610	1072645	1572877610	1072645	1572877610	1072645	1572877610	1072645
		1572908660	1062778	1572908660	1062778	1572908660	1062778	1572908660	1062778
	B-13	1573019310	899170	1573019310	899170	1573019310	899170	1573019310	899170
		1573019310	899170	1573019310	899170	1573019310	899170	1573019310	899170
	B-14	1573368010	761658	1573368010	761658	1573368010	761658	1573368010	761658
		1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491
		1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491
	B-15	1573325710	1119558	1573325710	1119558	1573325710	1119558	1573325710	1119558
		1573325710	1119558	1573325710	1119558	1573325710	1119558	1573325710	1119558
		1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491
		1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491	1573086610	1041491
	B-17	1570095820	1036846	1570095820	1036846	1570095820	1036846	1570095820	1036846
		1573367910	733556	1573367910	733556	1571177410	1036846	1573367910	733556
		1573367910	733556	1573367910	733556	1573367910	733556	1571177410	1036846
		1571177410	1036846	1571177410	1036846	1573367910	733556	1573367910	733556
		1573024820	1082331	1573024820	1082331	1573024820	1082331	1573024820	1082331
	B-2	1572853710	1072648	1572853710	1072648	1573368010	728579	1572853710	1072648
		1571333330	997698	1573368010	728579	1572853710	1072648	1573086610	1041491

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		1573086610	1041491	1571333330	997698	1571333330	997698	1573368010	728579
		1573368010	728579	1573086610	1041491	1573086610	1041491	1571333330	997698
	B-3	1568188120	1068885	1568188120	1068885	1568188120	1068885	1568188120	1068885
		1573447210	1121201	1573447210	1121201	1573447210	1121201	1573447210	1121202
		1573447210	1121202	1573447210	1121202	1573447210	1121202	1573447210	1121201
		1572490240	1065328	1572490240	1065328	1572490240	1065328	1572782120	1063194
		1572761320	1065328	1572761320	1065328	1572761350	1065328	1572490240	1065328
		1572761350	1065328	1572761350	1065328	1572761320	1065328	1572761320	1065328
		1572782120	1063194	1572782120	1063194	1572782120	1063194	1572761350	1065328
		1572560710	1068885	1572560710	1068885	1572560710	1068885	1572560710	1068885
	B-4	1571996910	1108248	1572694310	1115007	1571996910	1108248	1571996910	1108248
		1571997110	1108248	1571996910	1108248	1571997110	1108248	1571997110	1108248
		1572694310	1115007	1571997110	1108248	1572694310	1115007	1572694310	1115007
	B-6	1572613610	1114470	1573368010	761659	1573368010	761659	1572613610	1114470
		1573368010	761659	1571333330	997696	1571333330	997696	1573368010	761659
		1571333330	997696	1571333330	997697	1571333330	997697	1571333330	997696
		1571333330	997697	1572613610	1114470	1572613610	1114470	1571333330	997697
	B-7	1572328820	949783	1572328820	949783	1572328820	949783	1572328820	949783
		1573368010	728579	1573368010	728579	1573368010	728579	1573368010	728579
		1572694310	1115006	1572694310	1115006	1572694310	1115006	1572694310	1115006
	B-8	1568188120	1063195	1572781940	1063195	1572781940	1063195	1568188120	1063195
		1570208360	1063195	1568188120	1063195	1568188120	1063195	1570208360	1063195
		1572781940	1063195	1570208360	1063195	1570208360	1063195	1573447510	1063195
		1573447510	1063195	1572761610	1063195	1572560910	1063195	1572781940	1063195
		1572560910	1063195	1572560910	1063195	1572761610	1063195	1572560910	1063195
		1572761610	1063195	1572561010	1063195	1573447510	1063195	1572761610	1063195
		1572560510	1063195	1572560710	1063195	1572761340	1063195	1572560510	1063195
		1572761340	1063195	1573447510	1063195	1572560510	1063195	1572761340	1063195
		1572561010	1063195	1572761340	1063195	1572561010	1063195	1572560710	1063195
		1572560710	1063195	1572560510	1063195	1572560710	1063195	1572561010	1063195
	B-9	1572908910	1068527	1572908910	1068527	1572908910	1068527	1572908910	1068527
		1573325710	960525	1573325710	960525	1573325710	960525	1573325710	960525
		15730197120	733664	15730197120	733664	15730197120	733664	15730197120	733664

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
	BC200-1	1571177510	1036846	1571177510	1036846	1571177510	1036846	1571177510	1036846
		1572877610	1072645	1572877610	1072645	1572877610	1072645	1572877610	1072645
	BC200-2	1573087020	971304	1573087020	971304	1573087020	971304	1573087020	971304
		1573086520	971304	1573086520	971304	1573086520	971304	1573086520	971304
	BC200-3	1573074920	728331	1573074920	728331	1573074920	728331	1572685310	1114935
		1572685310	1114935	1572685310	1114935	1572685310	1114935	1573074920	728331
		1572694310	1114935	1572694310	1114935	1572694310	1114935	1572694310	1114935
	BC320-1	1572908780	1077435	1572908780	1077435	1572908780	1077435	1572908780	1077435
		1572908790	1077435	1572908790	1077435	1572908790	1077435	1572908790	1077435
		1573019310	899089	1573019310	899089	1573019310	899089	1573019310	899089
	BC320-2	1573325710	960524	1573325710	960524	1573325710	960524	1572439410	728545
		1573368010	761659	1572439410	728545	1572439410	728545	1573325710	960524
		1573019310	899089	1573368010	761659	1573368010	761659	1573019310	899089
		1572439410	728545	1573019310	899089	1573019310	899089	1573368010	761659
	BC320-3	1572685310	1114934	1572685310	1114934	1572685310	1114934	1572685310	1114934
		1572613610	1114459	1572694310	1114934	1572613610	1114459	1572613610	1114459
		1572694310	1114934	1572613610	1114459	1572694310	1114934	1572694310	1114934
	BC320-4	15729087100	1077435	15729087100	1077435	15729087100	1077435	15729087100	1077435
		15729087110	1077435	15729087110	1077435	15729087110	1077435	15729087110	1077435
	BC320-5	1572535810	1113362	1572535810	1113362	1572535810	1113362	1572535810	1113362
		1572685310	1114932	1572685310	1114932	1572685310	1114932	1572685310	1114932
	BC320-6	1571332310	1023974	1571332310	1023974	1571332310	1023974	1571332310	1023974
		1573251670	1023974	15732516130	1023974	15732516130	1023974	1573251670	1023974
		1572981970	730300	1573251670	1023974	1572981970	730300	1572981970	730300
		15732516100	1023974	15732516100	1023974	1573251670	1023974	15732516100	1023974
		15732516130	1023974	1572981970	730300	15732516100	1023974	15732516130	1023974
	BC320-7	1573251630	1023974	1573251630	1023974	1573251630	1023974	1573251630	1023974
		1573251640	1023974	1573251640	1023974	1573251640	1023974	1573251640	1023974
		1573251680	1023974	1573251680	1023974	1573251680	1023974	1573251680	1023974
		15732516110	1023974	15732516110	1023974	15732516110	1023974	15732516110	1023974
	BC320-8	1573251650	1023974	1573251650	1023974	1573251650	1023974	1573251650	1023974
		1573251660	1023974	1573251660	1023974	1573251660	1023974	1573251660	1023974
1573251690		1023974	1573251690	1023974	1573251690	1023974	1573251690	1023974	

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		15732516120	1023974	15732516120	1023974	15732516120	1023974	15732516120	1023974
	C-1	1569597220	1065678	1569597220	1065678	1569597220	1065678	1569597220	1065678
		1572853710	1072661	1572853710	1072661	1572853710	1072661	1572853710	1072661
		1572451510	963994	1572451510	963994	1572451510	963994	1572451510	963994
	C-2	1573087820	1065677	1573087820	1065677	1573087820	1065677	1573087820	1065677
		1573087430	1065677	1573087430	1065677	1573087430	1065677	1573087430	1065677
	D-1	1573325710	1119590	1573325710	1119590	1573325710	1119590	1573325710	1119590
		1573325710	1119590	1573325710	1119590	1573325710	1119590	1573325710	1119590
		1573325710	960524	1573325710	960524	1573325710	960524	1573325710	960524
	D-2	1573119120	955320	1573325710	960525	1573325710	960525	1573205410	936795
		1573205410	936795	1573119120	955320	1573205410	936795	1573325710	960525
		1573325710	960525	1573205410	936795	1573119120	955320	1573119120	955320
	HT-1	1572498620	959496	1572498620	959496	1572498620	959496	1572498620	959496
		1572781910	1063194	1572782110	1063194	1572782110	1063194	1572782110	1063194
		1572781920	1063194	1572781910	1063194	1572781910	1063194	1572781910	1063194
		1572782110	1063194	1572781920	1063194	1572781920	1063194	1572781920	1063194
		1572560410	1068561	1572560410	1068561	1572560410	1068561	1572560410	1068561
	HT-2	1572560610	1063195	1572761350	1063195	1572560610	1063195	1572560610	1063195
		1572560810	1063195	1572782110	1063195	1572560810	1063195	1572782110	1063195
		1572782110	1063195	1572782120	1063195	1572761350	1063195	1572560810	1063195
		1572560410	1068562	1572560610	1063195	1572782110	1063195	1572782120	1063195
		1572560410	1068562	1572560810	1063195	1572782120	1063195	1572761350	1063195
		1572560410	1068562	1572561120	1063195	1572561120	1063195	1572561120	1063195
		1572561120	1063195	1572560410	1068562	1572560410	1068562	1572560410	1068562
		1572761350	1063195	1572560410	1068562	1572560410	1068562	1572560410	1068562
		1572782120	1063195	1572560410	1068562	1572560410	1068562	1572560410	1068562
	HT-3	1572561110	1073591	1572761610	1073599	1572561110	1073591	1572561110	1073591
		1572761610	1073599	1572561110	1073591	1572761610	1073599	1572761610	1073599
		1572761330	1065328	1572761330	1065328	1572761330	1065328	1572761330	1065328
		1572560410	1068561	1572561120	1073591	1572561120	1073591	1572561120	1073591
		1572561120	1073591	1572560410	1068561	1572560410	1068561	1572560410	1068561

Lampiran 6: *Job Sequence* Replikasi ke-1 Stasiun Kerja *Printing*

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
PRT	ATMA-1	1571546010	1107485	1571546010	1107485	1571546010	1107485	1571546010	1107485
		1572328820	1056091	1572328820	1056091	1572328820	1056091	1572328820	1056091
		1573019760	1028953	15730197120	1028953	15730197120	1028953	1573019760	1028953
		15730197120	1028953	1573019760	1028953	1573019760	1028953	15730197120	1028953
		1573367510	1116209	1573019780	1028953	1573019780	1028953	1573367510	1116209
			15730197100	1028953	15730197100	1028953			
	ATMA-2	1572061410	1107068	1573367510	1116209	1573367510	1116209	1572061410	1107068
		1573367510	1116209	1572061410	1107068	1572061410	1107068	1573019780	1028953
		1573019780	1028953			1573367510	1116209	1573367510	1116209
		15730197100	1028953						
	ATMA-3			1573367510	1116209			15730197100	1028953
	NOVAX	1571462540	1051860	1571462540	1051860	1571462540	1051860	1571462540	1051860
	NOVAX	1571695210	891333	1571695210	891333	1571695210	891333	1571695210	891333
	NOVAX	1571462630	1051860	1571462630	1051860	1571462630	1051860	1571462630	1051860
	NOVAX	1573025510	1084542	1573025510	1084542	1573025510	1084542	1573025510	1084542
	NOVAX	1573024810	1084451	1573024810	1084451	1573024810	1084451	1573024810	1084451
	PEGASUS	1571178010	939504	1571178010	939504	1571178010	939504	1571178010	939504
	PEGASUS	1573087210	728290	1573087810	939507	1573087810	939507	1573087210	728290
	PEGASUS	1573086910	728289	1573086910	728289	1573086910	728289	1573086910	728289
	PEGASUS	1573087010	939443	1573087010	939443	1573087010	939443	1573087010	939443
PEGASUS	1573087810	939507	1573087210	728290	1573087210	728290	1573087810	939507	

Lampiran 7: *Job Sequence* Replikasi ke-1 Stasiun Kerja *Stamping*

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
STP	KKS-1	1572328820	949790	1572328820	949790	1572328820	949790	1572328820	949790
	KKS-10	15730197110	733959	1573019770	733959	1573019770	733959	1573019730	733959
		1573019770	733959					1573019770	733959
	KKS-15	1573367910	733557	1573367910	733557	1573367910	733557	1573367910	733557
		1573367910	733557	1573367910	733557	1573367910	733557	1573367910	733557
	KKS-16	1573367910	1120536	1573367910	1120536	1573367910	1120536	1573367910	1120536
		1573367910	1120536	1573367910	1120536	1573367910	1120536	1573367910	1120536
	KKS-2	1571996910	1108246	1571996910	1108246	1571996910	1108246	1571996910	1108246
		1571997110	1108246	1571997110	1108246	1571997110	1108246	1571997110	1108246
	KKS-3	1573368010	761718	1573368010	761718	1573368010	761718	1573368010	761718
		1573368010	761718	1573368010	761718	1573368010	761718	1573368010	761718
	KKS-4	1572856120	1115625	1572856120	1115625	1572856120	1115625	1572856120	1115625
	KKS-8	1573019710	733959	1573019710	733959	1573019710	733959	1573019710	733959
		1573019790	733959	1573019790	733959	1573019790	733959	1573019790	733959
		1573019750	733959	1573019750	733959	1573019750	733959	1573019750	733959

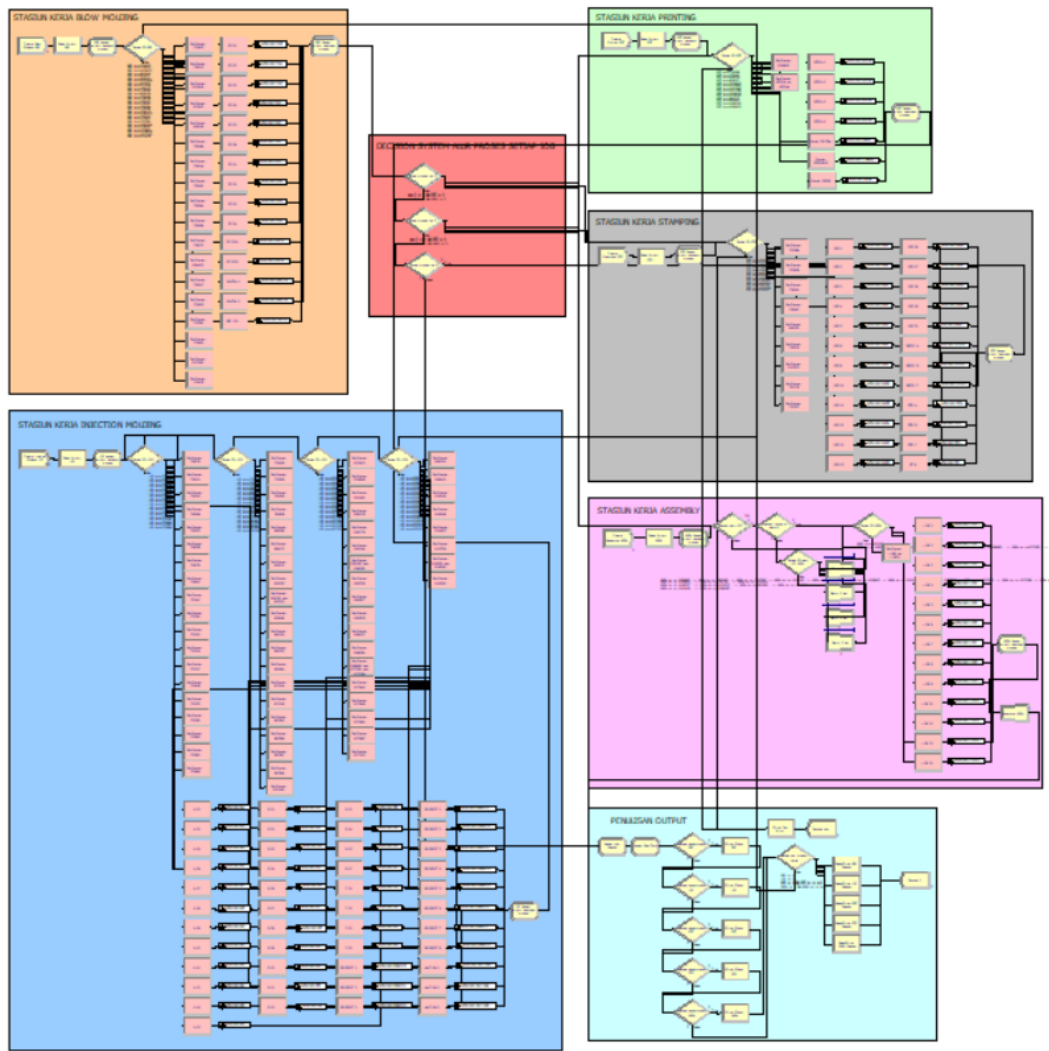
Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
		1573019730	733959	15730197110	733959	15730197110	733959	15730197110	733959
				1573019730	733959	1573019730	733959		
	RF 300 A	1572877830	728297	1572877830	728297	1572877830	728297	1572877830	728297
		1573087030	733599	1573087030	733599	1573087030	733599	1573087030	733599
	RF 300 B	1573087220	733599	1573087220	733599	1573087220	733599	1573087220	733599
		1572535330	728254	1572535330	728254	1572535330	728254	1572535330	728254
	RT 6 B	1572694310	1115003	1572694310	1115003	1572694310	1115003	1572694310	1115003
	RT 6 C	1572685310	1114931	1572685310	1114931	1572685310	1114931	1572685310	1114931

Lampiran 8: *Job Sequence* Replikasi ke-1 Stasiun Kerja *Assembly*

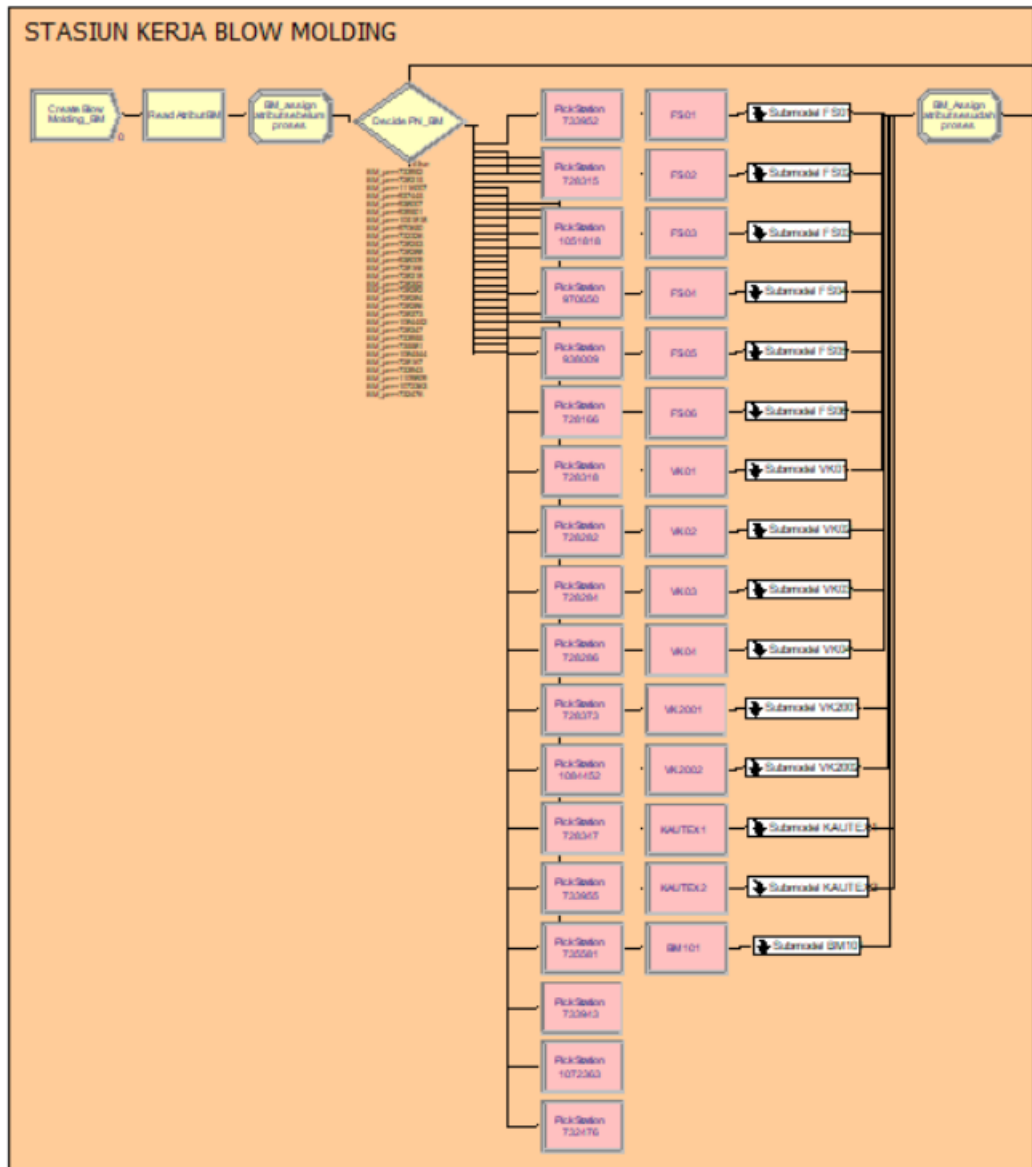
Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
ASSY	LINE-1	1569707520	1036845	1569707520	1036845	1569707520	1036845	1569707520	1036845
		1570095710	1036845	1573326820	1120218	1570095710	1036845	1570095710	1036845
		1573326820	1120218	1570095710	1036845	1573326820	1120218	1573326820	1120218
		1572221680	926031	1572221680	926031	1573119120	1024504	1573119120	1024504
		1570095820	1036980	1570095820	1036980	1572221680	926031	1572221680	926031
		1571177410	1036845	1573133320	1120011	1570095820	1036980	1570095820	1036980
		1573133320	1120011			1571177410	1036845	1571177410	1036845
						1573133320	1120011	1573133320	1120011
	LINE-10	1572854310	960521	1572854310	960521	1572854310	960521	1572854310	960521
		1572877710	1034620	1572877710	1034620	1572877710	1034620	1572877710	1034620
	LINE-11	1572877610	1034620	1572877610	1034620	1572877610	1034620	1572877610	1034620
		1573019020	1120011	1573019020	1120011	1573019020	1120011	1573019020	1120011
	LINE-12	1572451510	1110128	1572451510	1110128	1572451510	1110128	1572451510	1110128
	LINE-13	1569933250	1073590	1569933250	1073590	1569933250	1073590	1569933250	1073590
		1570208350	1063193	1570208350	1063193	1570208350	1063193	1570208350	1063193
		1572761310	1065327	1570208370	1063193	1570208370	1063193	1572561110	1073590
		1572490240	1065327	1572761310	1065327	1572561110	1073590	1570208370	1063193
		1572561110	1073590	1572490240	1065327	1570393750	1086936	1570393750	1086936
		1570208370	1063193	1572561110	1073590	1572490240	1065327	1572781910	1063193
		1570393750	1086936	1572761320	1065327	1572761310	1065327	1572490240	1065327
		1572781910	1063193	1572761330	1065327	1572761320	1065327	1572761310	1065327
		1572761320	1065327	1572781910	1063193	1572761330	1065327	1572761320	1065327
		1572761330	1065327	1572781920	1063193	1572781910	1063193	1572761330	1065327
		1572781920	1063193	1570393750	1086936	1572781920	1063193	1572781920	1063193
	LINE-2	1570095810	1036980	1570095810	1036980	1570095810	1036980	1570095810	1036980
		1570095720	1036845	1572535810	1113360	1572535810	1113360	1570095720	1036845
		1572535810	1113360	1570095720	1036845	1570095720	1036845	1572535810	1113360
		1571177510	1036980	1572853710	1034620	1571177510	1036980	1571177510	1036980
		1573019120	1120011			1572853710	1034620		

Stasiun Kerja	Mesin	Skenario EDD		Skenario SPT		Skenario JSPT		Skenario JEDD	
		Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number	Job Number	Part Number
	LINE-3	1570724570	1060165	1570724570	1060165	1570724570	1060165	1570724570	1060165
		1570724580	1060241	1570724580	1060241	1570724580	1060241	1570724580	1060241
		1572853710	1034620	1571177510	1036980	1573019120	1120011	1572853710	1034620
				1573019120	1120011			1573019120	1120011
				1571177410	1036845				
	LINE-4	1570806940	1102738	1570806940	1102738	1570806940	1102738	1570806940	1102738
		1571333320	997694	1571333320	997694	1571333320	997694	1571333320	997694
		1572328820	1056090	1572328820	1056090	1572328820	1056090	1572328820	1056090
		1573119120	1024504	1573119120	1024504				
	LINE-5	1571996930	1109122	1571996930	1109122	1571996930	1109122	1571996930	1109122
		1571997130	1109122	1571997130	1109122	1571997130	1109122	1571997130	1109122
	LINE-6	1572221650	926037	1572221650	926037	1572221650	926037	1572221650	926037
		1572221670	926037	1572221670	926037	1572221670	926037	1572221670	926037
	LINE-7	1572283920	1032912	1572283920	1032912	1572283920	1032912	1572283920	1032912
		1572283910	1033424	1572283910	1033424	1572283910	1033424	1572283910	1033424
	LINE-8	1572439510	766906	1572439510	766906	1572439510	766906	1572439510	766906
		1572606210	735016	1572606210	735016	1572606210	735016	1572606210	735016
	LINE-9	1572718810	1038612	1572718810	1038612	1572718810	1038612	1572718810	1038612
		1572786510	1000271	1572786510	1000271	1572786510	1000271	1572786510	1000271

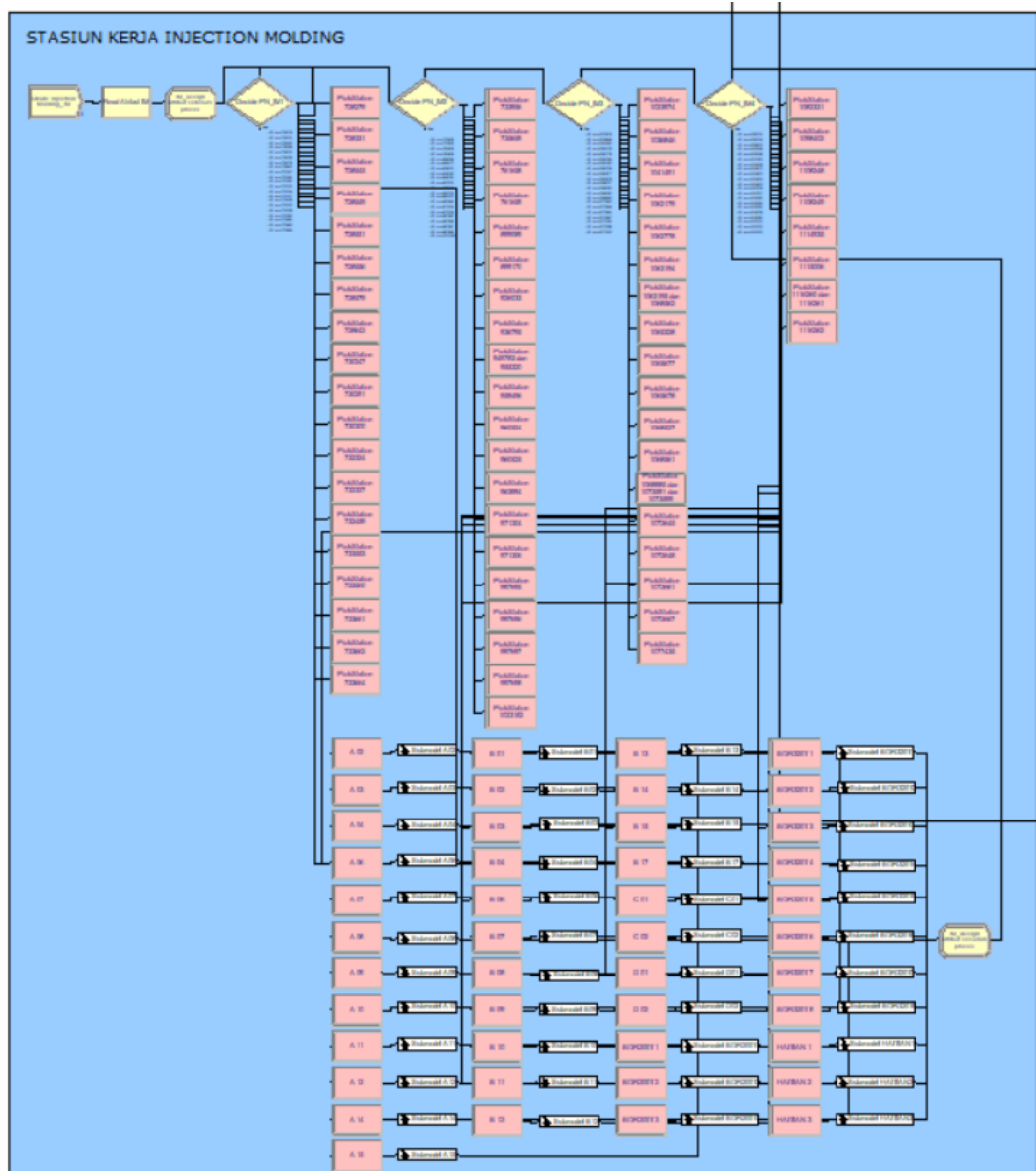
Lampiran 9: Model Simulasi Keseluruhan Sistem



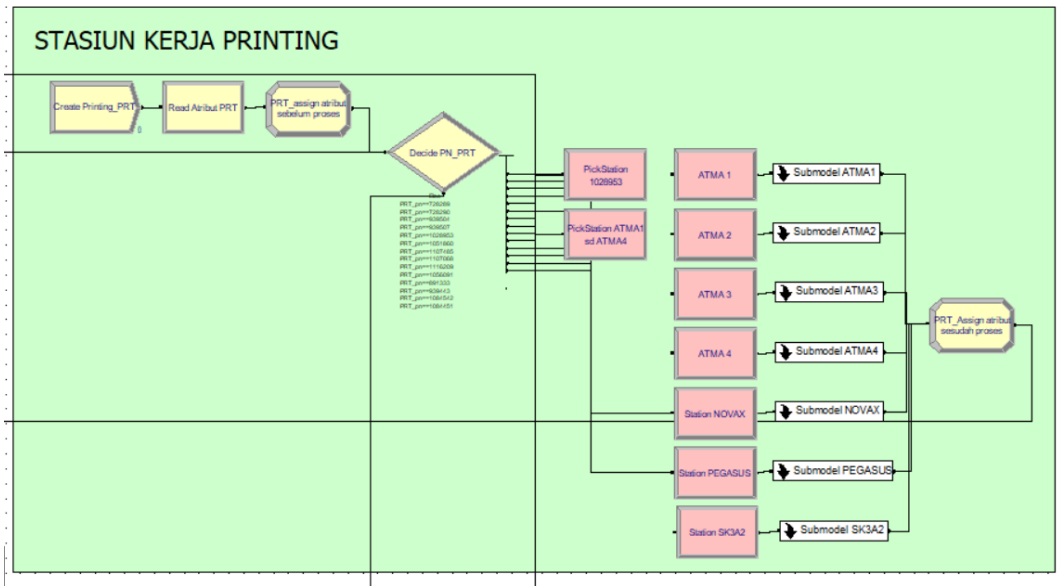
Lampiran 10: Model Simulasi Stasiun Kerja *Blow Molding*



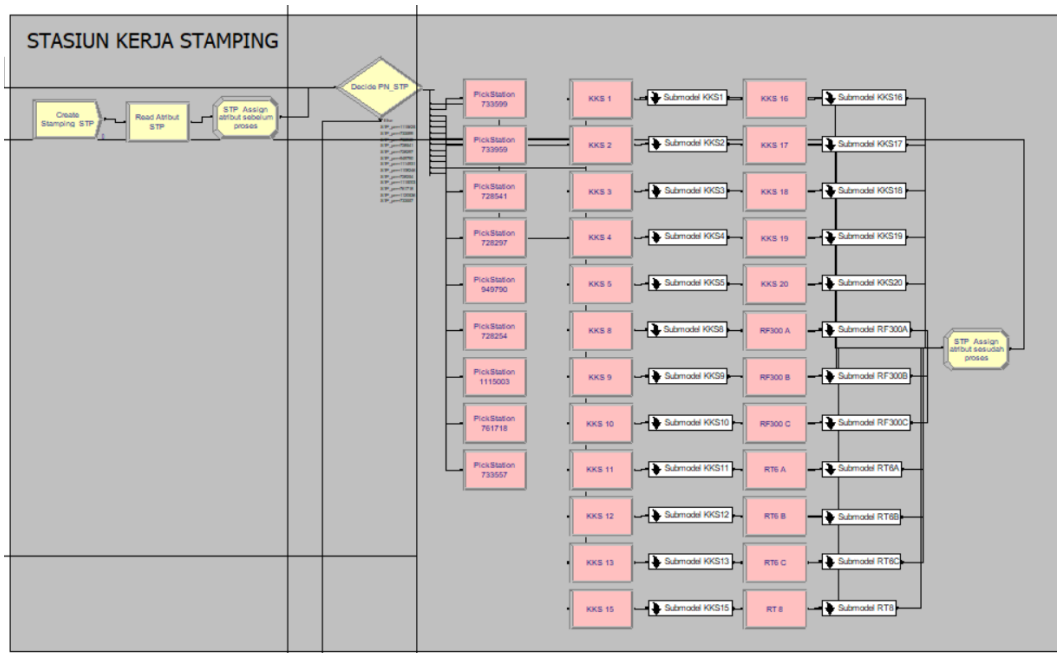
Lampiran 11: Model Simulasi Stasiun Kerja *Injection Molding*



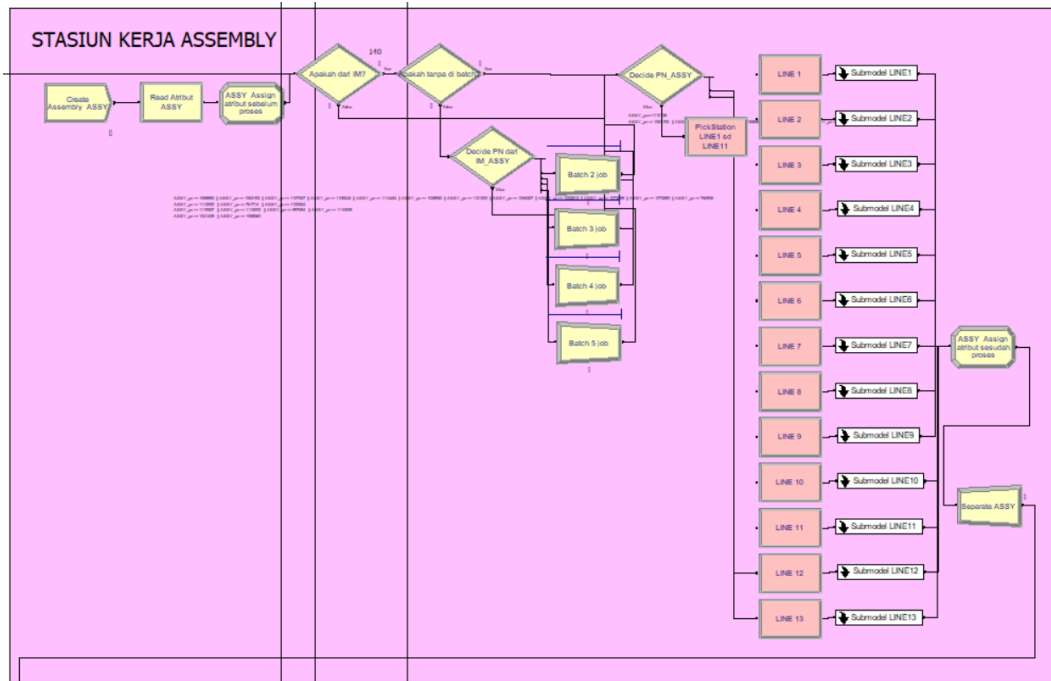
Lampiran 12: Model Simulasi Stasiun Kerja *Printing*



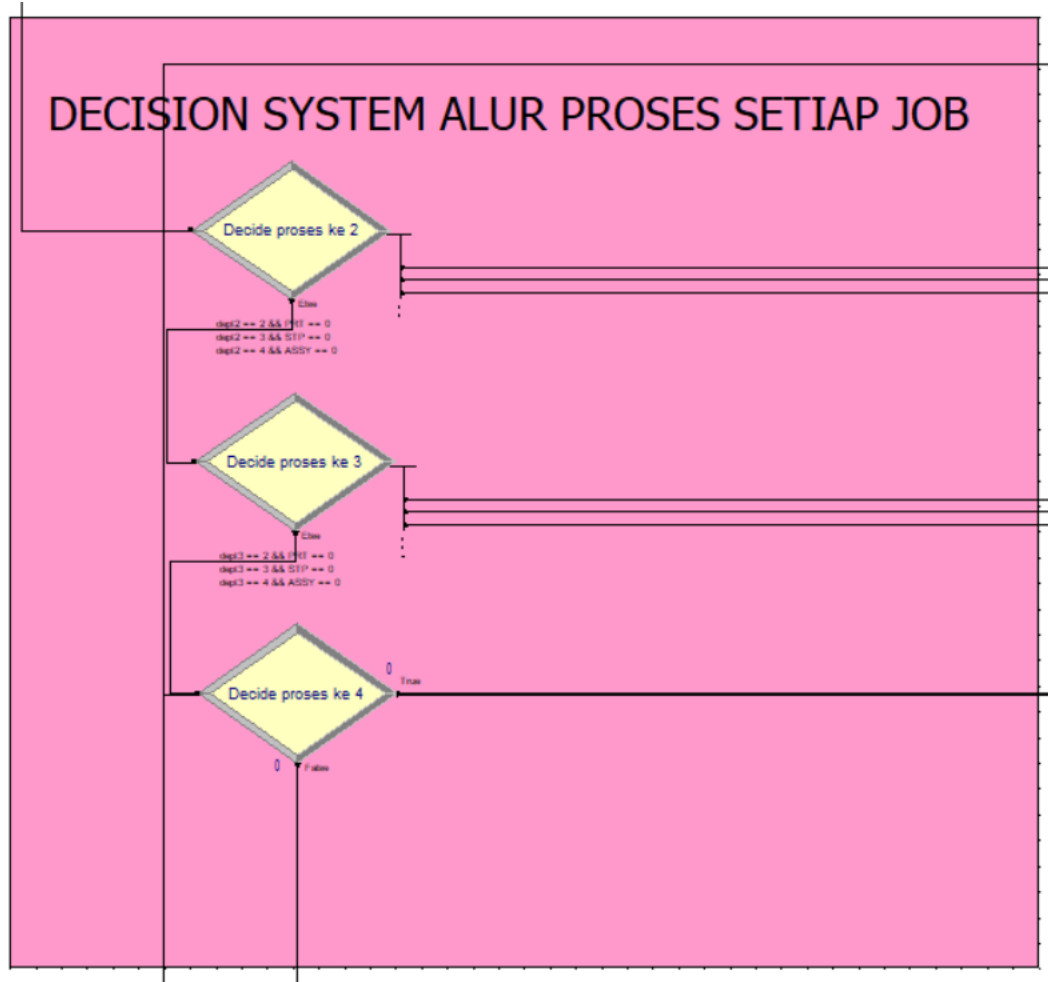
Lampiran 13: Model Simulasi Stasiun Kerja *Stamping*



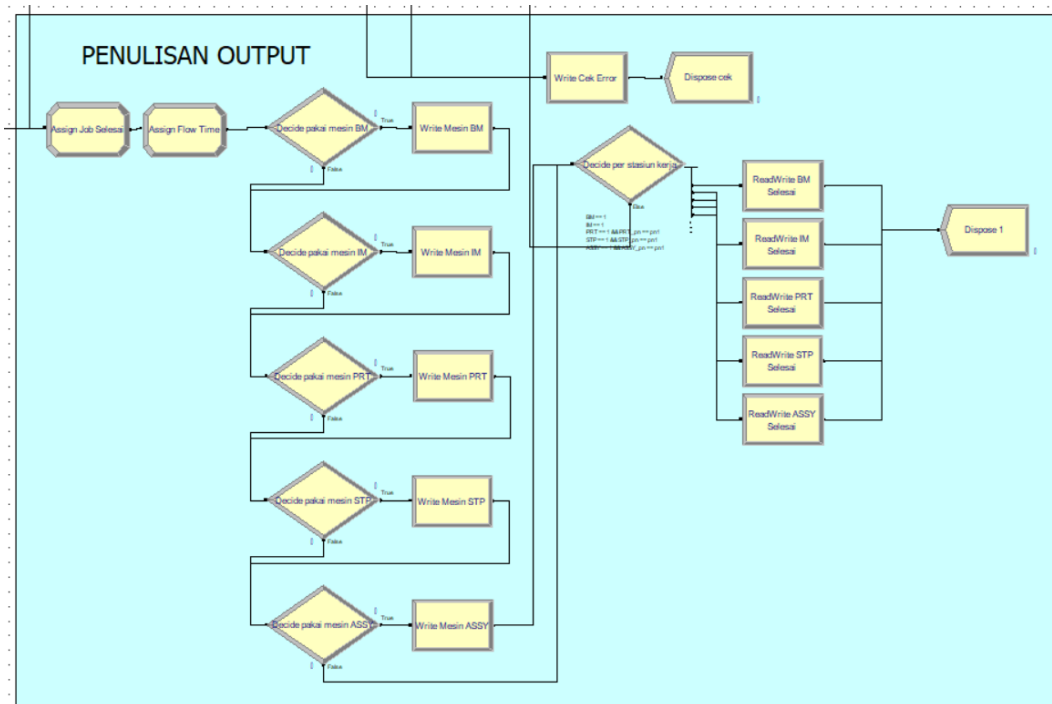
Lampiran 14: Model Simulasi Stasiun Kerja Assembly



Lampiran 15: Model Simulasi *Decision System* Alur Proses setiap *Job*



Lampiran 16: Model Simulasi Penulisan *Output*



(Halaman ini sengaja dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Nama lengkap penulis adalah Salsa Shauma Jadida atau biasa dipanggil Salsa. Penulis lahir di Medan, 5 April 1998. Penulis merupakan anak pertama dari empat bersaudara. Penulis menempuh jenjang pendidikan sekolah dasar di SDIT Darul Hikmah Bekasi, sekolah menengah pertama di SMP Islam Nurul Fikri Boarding School Anyer, dan sekolah menengah atas di MAN Insan Cendekia Serpong. Setelah menempuh jenjang pendidikan sekolah, penulis menempuh pendidikan perguruan tinggi di Institut Teknologi Sepuluh Nopember Surabaya dengan program studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri. Penulis pernah melakukan pertukaran pelajar (*student exchange*) di Universiti Malaysia Pahang (UMP), Malaysia dengan program studi Industrial Technology Management pada 2018-2019 selama 1 semester. Selain aktif dalam kegiatan akademik, penulis juga aktif dalam kegiatan non akademik. Penulis aktif dalam organisasi ITS Model United Nations Club (ITS MUN) sebagai Staf Desain dan Publikasi 2017/2018, serta berbagai kepanitiaan untuk acara yang diselenggarakan di ITS. Penulis juga aktif dalam kegiatan pelatihan seperti pelatihan *software* SAP ERP di Malaysia, pelatihan *Global Competencies Workshop* yang diselenggarakan oleh ITS International Office, pelatihan Wirausaha Baru Jabar yang diselenggarakan oleh DISPERINDAG Jawa Barat, dan lain-lain. Adapun beberapa prestasi penulis yang pernah diraih, yaitu sebagai finalis dalam lomba ISMEC 2019 Universitas Brawijaya dan menjadi Top 100 dari 300 tim lebih pada lomba *digital startup* Telkom Socio Digi Leaders oleh Telkom Indonesia. Penulis pernah melakukan magang mandiri di PT Albea Rigid Packaging Surabaya Divisi Supply Chain Management. Untuk memenuhi persyaratan program sarjana, penulis pernah melaksanakan Kerja Praktik di PT Aerofood Indonesia (Aerofood ACS) Surabaya Divisi Store & Planning. Informasi lebih lanjut mengenai penelitian ini dapat menghubungi penulis melalui email salsa.shauma@gmail.com.