



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBAIKAN METODE KERJA PROSES REMANUFAKTUR
ENGINE TIPE BESAR UNTUK MENINGKATKAN KINERJA
PRODUKSI**

SKRIPSI

**ABDULLAH RUSYDI
0806458706**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**



UNIVERSITAS INDONESIA

**PERBAIKAN METODE KERJA PROSES REMANUFAKTUR
ENGINE TIPE BESAR UNTUK MENINGKATKAN KINERJA
PRODUKSI**

SKRIPSI

Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Teknik

**ABDULLAH RUSYDI
0806458706**

**FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
JUNI 2012**

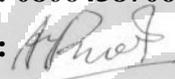
ii

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

**Skripsi ini adalah hasil karya saya sendiri,
dan semua sumber baik yang dikutip maupun yang dirujuk
telah saya nyatakan dengan benar.**

Nama : ABDULLAH RUSYDI

NPM : 0806458706

Tanda tangan : 

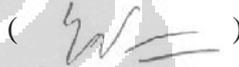
Tanggal : 27 Juni 2012

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Abdullah Rusydi
NPM : 0806458706
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Perbaikan Metode Kerja Proses Remanufaktur
Engine Tipe Besar Untuk Meningkatkan Kinerja
Produksi

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

DEWAN PENGUJI

Pembimbing : Ir. Yadrifil, M.Sc ()
Penguji : Prof. Dr. Ir. T.Yuri M. Zagloel, M.Eng. Sc. ()
Penguji : Ir. Erlinda Muslim, MEE ()
Penguji : Ir. Djoko Sihono Gabriel, MT ()

Ditetapkan di : Depok
Tanggal : 27 Juni 2012

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis ucapkan kepada Allah SWT atas rahmat dan karunia-Nya yang melimpah sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini tepat waktu. Selain itu penulis juga mau mengucapkan terima kasih kepada :

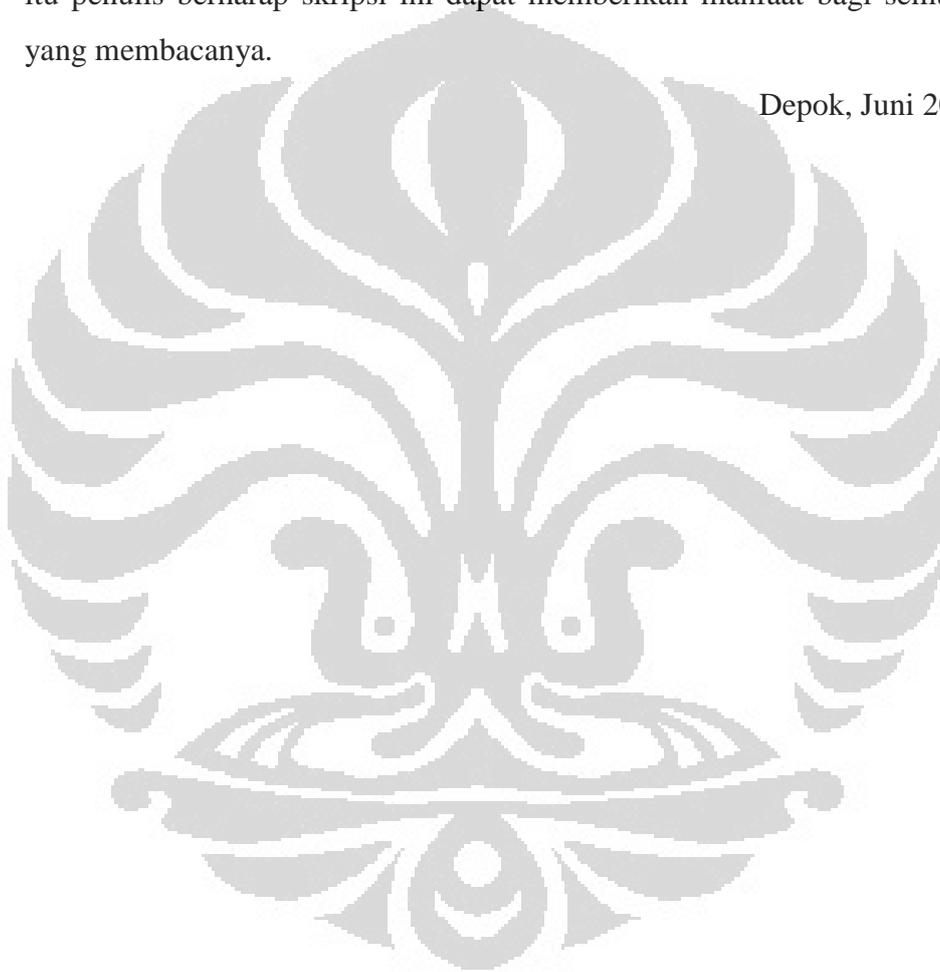
1. Bapak Ir. Yadrifil, M.Sc., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah membimbing dan memberikan masukan selama penulisan.
2. Bapak Prof. Dr. Ir. Teuku Yuri M. Zagloel, M.Eng. Sc., Ibu Ir. Erlinda Muslim, MEE, dan Bapak Ir. Djoko Sihono Gabriel, MT, selaku dewan penguji sidang skripsi yang telah memberikan banyak saran dan masukan terkait penyelesaian skripsi.
3. PT Universal Tekno Reksajaya, yang telah memberikan izin untuk mempergunakan data perusahaan kepada penulis.
4. Bapak Hafidz, Bapak Heri, Mas Jaelani, Ibu Trisna, dan seluruh pegawai PT Universal Tekno Reksajaya yang telah membimbing penulis selama pengambilan data di perusahaan.
5. Ibu Arian Dhini, ST, MT, selaku dosen pembimbing akademis, dan dosen-dosen lainnya, yang telah memberikan masukan dan ilmu selama penulis melakukan pembelajaran.
6. Abi, Ma Ipa, Kiki, dan seluruh anggota keluarga penulis atas dukungan dan dorongan moril yang tak ternilai.
7. Bang Dhani, Jody, Ilham, Zaki, Hadi, Lusy, Lukat, selaku rekan-rekan Lab Sistem Manufaktur yang telah memberikan bantuan selama penulis berkuliah hingga menyelesaikan tugas akhir ini.
8. Paulus dan Teguh selaku teman-teman satu perjuangan, satu bimbingan yang telah berbagi cerita dan pengalaman selama bimbingan kepada penulis.
9. Daniel, Indrawan, Rizal, dan Jimmy, selaku teman-teman Kerja Praktek Kalbe yang telah memberikan pengalaman yang berkesan selama Kerja Praktek penulis.
10. Ifu, Farid, Darus, Oza, Fadhil, selaku sahabat-sahabat penulis yang selalu memberikan kegembiraan ditengah-tengah kesulitan penulisan.

11. Seluruh keluarga besar Teknik Industri UI yang telah memberikan dukungan selama penulisan skripsi ini.
12. Semua teman-teman, baik teman-teman teknik industri UI, maupun teman-teman departemen lain atas dukungan dan pertemanan selama ini.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, kritik dan saran yang membangun sangat penulis harapkan. Selain itu penulis berharap skripsi ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membacanya.

Depok, Juni 2012

Penulis



**HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI
TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS**

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

Nama : Abdullah Rusydi
NPM : 0806458706
Departemen : Teknik Industri
Fakultas : Teknik
Jenis Karya : Skripsi

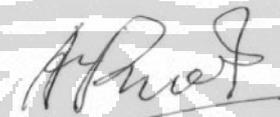
demi pengembangan ilmu pengetahuan, menyetujui untuk memberikan kepada Universitas Indonesia **Hak Bebas Royalti Noneksklusif** (*Non-exclusive Royalty-Free Right*) atas karya ilmiah saya yang berjudul:

Perbaikan Metode Kerja Proses Remanufaktur *Engine* Tipe Besar Untuk Meningkatkan Kinerja Produksi

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalih media/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat dan mempublikasikan tugas akhir saya selama tetap mencantumkan nama saya sebagai penulis/pencipta dan sebagai pemilik Hak Cipta.

Demikian pernyataan ini saya buat dengan sebenarnya.

Dibuat di : Depok
Pada tanggal : 27 Juni 2012
Yang Menyatakan



(Abdullah Rusydi)

ABSTRAK

Nama : Abdullah Rusydi
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Perbaikan Metode Kerja Proses Remanufaktur *Engine* Tipe Besar Untuk Meningkatkan Kinerja Produksi

Masalah lingkungan menjadi isu utama yang muncul seiring dengan perkembangan dunia industri. Oleh karena itu, diperkenalkan konsep remanufaktur sebagai jawaban atas permasalahan itu. Namun, aktivitas *Production Planning and Control* dalam remanufaktur lebih sulit untuk diterapkan sehingga perancangan produksi perusahaan pun masih banyak yang *trial and error*. Masalah tersebut juga menyebabkan perusahaan menjadi tidak selektif dalam memilih produk untuk diremanufaktur. Dalam penelitian ini, akan dikembangkan rancangan alur produksi dan model simulasi untuk membantu PT UTR sebagai perusahaan remanufaktur alat berat dalam pemilihan produk diremanufaktur. Dari hasil penelitian akan dipilih satu produk *Engine* tipe besar yang akan memberikan nilai yang paling tinggi untuk perusahaan.

Kata kunci:

Remanufaktur, metode kerja, model simulasi, *Engine* Tipe Besar

ABSTRACT

Name : Abdullah Rusydi
Study Program : Industrial Engineering
Title : The Re-Design of Work Method in Remanufacturing Process
for Large Engine Type to Increase Production Performance

The environment problem became major issue as the development of industrial sector. Because of that, remanufacturing concept has been introduced to answer that problem. However, Production Planning and Control activities is harder to implement in remanufacture field. Thus the production designs mostly use trial and error. This problem also causes the company not selective to choose the product they remanufactured. In this research, the design of production plot and simulation model will be developed to support PT UTR as the remanufacturing company in heavy equipment to choose their products to be remanufactured. The result of this research will select one product of Large Engine Type as the product that gives highest value for the company.

Key words:

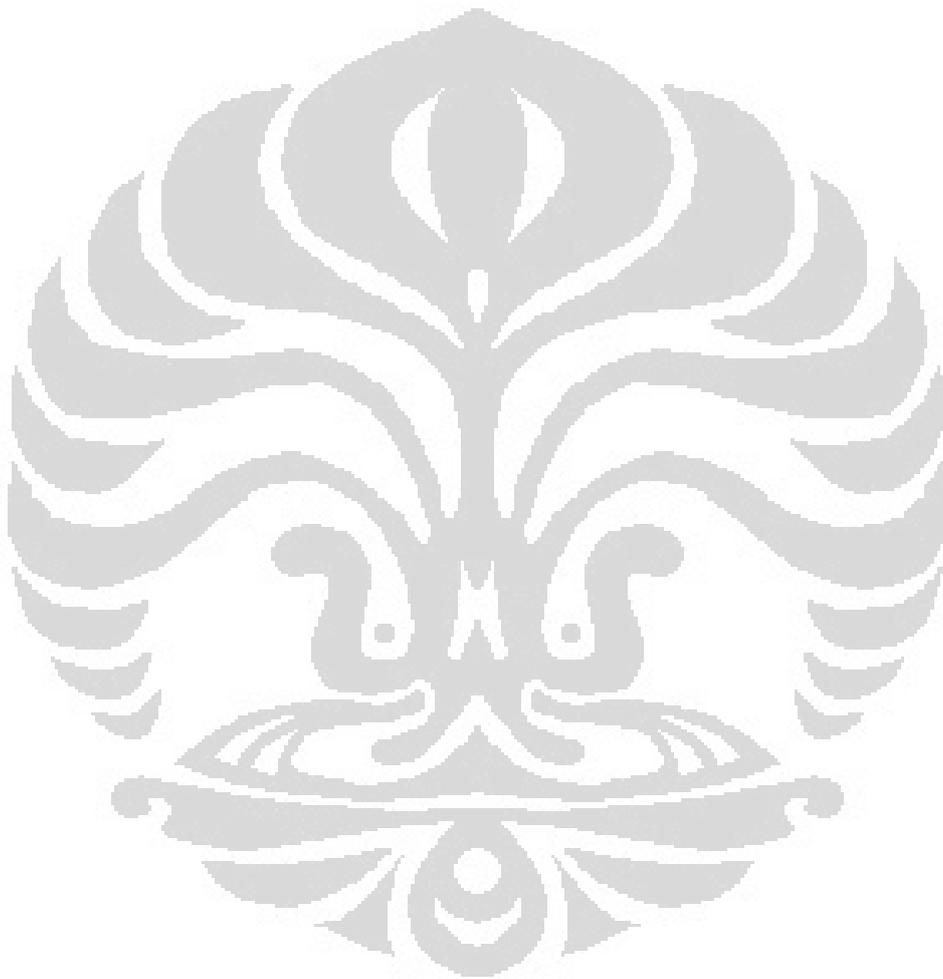
Remanufacture, work method, simulation model, Large Engine Type

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL.....	ii
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	iii
HALAMAN PENGESAHAN.....	iv
KATA PENGANTAR	v
HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI.....	vii
ABSTRAK	viii
ABSTRACT	ix
DAFTAR ISI.....	x
DAFTAR TABEL.....	xiii
DAFTAR GAMBAR	xiv
DAFTAR RUMUS	xv
DAFTAR LAMPIRAN.....	xvi
BAB I PENDAHULUAN.....	1
1.1.Latar Belakang.....	1
1.2.Diagram Keterkaitan Masalah.....	5
1.3.Perumusan Masalah.....	7
1.4.Tujuan Penelitian.....	7
1.5.Ruang Lingkup Penelitian.....	7
1.6.Metodologi Penelitian.....	8
1.7.Sistematika Penulisan.....	10
BAB II DASAR TEORI.....	12
2.1 Remanufaktur (<i>Remanufacture</i>).....	12
2.2 Pengukuran Waktu Kerja.....	15
2.2.1 Metode Pengukuran Waktu Kerja	16
2.2.1.1 Metode Pengukuran Secara Langsung	16
2.2.1.2 Metode Pengukuran Secara Tidak Langsung	16
2.2.2 Pengukuran Waktu Standar Dengan Metode Studi Waktu	17
2.2.3 Prosedur Melakukan Studi Waktu.....	17
2.2.3.1 Pencatatan Informasi	18
2.2.3.2 Pembagian Operasi Menjadi Elemen-Elemen Kegiatan .	18
2.2.3.3 Pengukuran Dan Pencatatan Waktu Elemen Kerja	18
2.2.3.4 Menentukan Kecukupan Dan Keseragaman Data	19
2.2.3.5 Menentukan Faktor Penyesuaian.....	22
2.2.3.6 Menentukan Kelonggaran-Kelonggaran	25
2.3 Keseimbangan Lintasan.....	30
2.3.1 Pengertian Lintasan Produksi	30
2.3.2 Keseimbangan Lintasan Produksi	30
2.3.3 Rumus Parameter-Parameter Lintasan Produksi	32
2.3.3.1 Waktu Siklus	32
2.3.3.2 Jumlah Stasiun Kerja Minimum Yang Dibutuhkan	33
2.3.3.3 <i>Balance Delay</i> Dan <i>Efficiency</i>	33
2.3.3.4 <i>Idle Time</i>	33
2.3.3.5 <i>Smoothness Index</i>	34

2.3.4 Metode Penyeimbangan Lintasan.....	34
2.3.4.1 Metode <i>Largest Candidate Rule</i>	35
2.3.4.2 Metode Bobot Posisi Peringkat	36
2.3.4.3 Metode Pendekatan Wilayah (<i>Region Approach</i>)	37
2.4 Simulasi	38
2.4.1 Definisi Simulasi	38
2.4.2 Tujuan Simulasi.....	39
2.4.3 Penggunaan Simulasi.....	40
2.4.4 Keuntungan Dan Kerugian Dalam Menggunakan Simulasi	41
2.4.5 Jenis-Jenis Simulasi.....	42
2.4.6 Verifikasi Dan Validasi	45
2.4.7 Sistem	46
2.4.8 <i>Plant Simulation</i>	47
2.5 PERT (<i>Program Evaluation And Review Technique</i>)	49
BAB III PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	51
3.1 Gambaran Umum Perusahaan	51
3.2 Ruang Lingkup Produksi	54
3.3 Data Dalam Menentukan Waktu Standar	61
3.3.1 Elemen-Elemen Pekerjaan Dan <i>Flow Process Chart</i>	61
3.3.2 Pengambilan Data Pengamatan	63
3.3.3 Pengamatan Faktor Penyesuaian	63
3.3.4 Pengamatan Faktor Kelonggaran.....	64
3.4 Data Penyeimbangan Lintasan Proses <i>Engine</i>	64
3.4.1 Elemen-Elemen Pekerjaan.....	64
3.4.2 Waktu Siklus Elemen-Elemen Pekerjaan	64
3.4.3 Waktu Normal Dan Waktu Standar.....	65
3.4.4 Uji Kecukupan Dan Keseragaman Data.....	66
3.4.5 Rekapitulasi Waktu Proses <i>Engine</i>	67
3.4.6 Keseimbangan Lintasan Proses <i>Engine</i>	67
3.4.7 <i>Takt Time</i> Produksi.....	68
3.4.8 Efisiensi Lintasan Produksi <i>Engine</i>	68
3.5 Pembuatan Model Simulasi	69
3.5.1 Verifikasi	70
3.5.2 Validasi.....	71
3.6 Pembagian <i>Flow</i> Produksi.....	72
3.7 Keseimbangan Lintasan <i>Flow</i> Produksi.....	78
BAB IV ANALISA DATA.....	82
4.1 Perancangan Lintasan Produksi.....	82
4.1.1 Penghitungan Stasiun Kerja Minimum	82
4.1.2 Penghitungan <i>Ranked Position</i>	83
4.1.3 Penghitungan Efisiensi	92
4.2 Pembuatan Model Hasil Optimasi.....	94
4.3 Penghitungan Estimasi Durasi Produksi.....	97
4.4 Analisa Hasil.....	99
4.5.1 Perbandingan Keseimbangan Lintasan.....	99
4.5.2 Perbandingan Durasi Waktu Aktivitas	102

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN	103
5.1 Kesimpulan	103
5.2 Saran	103
REFERENSI.....	105
LAMPIRAN.....	106



DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Faktor Penyesuaian Menurut <i>Schummard</i>	22
Tabel 2.2 Faktor Penyesuaian Menurut <i>Westinghouse</i>	24
Tabel 2.3 Nilai Kelonggaran Berdasarkan Faktor Yang Berpengaruh.....	26
Tabel 3.1 Pembagian Jam Kerja PT UTR	53
Tabel 3.2 Alokasi Pekerja Dalam Setiap <i>Workstation</i>	57
Tabel 3.3 Daftar Komponen Dalam BOM <i>Engine</i>	58
Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Operator	63
Tabel 3.5 Faktor Kelonggaran	64
Tabel 3.6 Perbandingan Hasil Output Model Dan Keadaan Nyata.....	71
Tabel 3.7 Daftar Elemen Kerja <i>Flow A</i>	73
Tabel 3.8 Daftar Elemen Kerja <i>Flow B</i>	75
Tabel 3.9 Daftar Elemen Kerja <i>Flow C</i>	77
Tabel 4.1 Posisi Peringkat Untuk Operasi <i>Flow A</i>	84
Tabel 4.2 Urutan Operasi <i>Flow A</i> Berdasarkan Bobot Posisi.....	85
Tabel 4.3 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja <i>Flow A</i>	86
Tabel 4.4 Posisi Peringkat Untuk Operasi <i>Flow B</i>	87
Tabel 4.5 Urutan Operasi <i>Flow B</i> Berdasarkan Bobot Posisi	88
Tabel 4.6 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja <i>Flow B</i>	89
Tabel 4.7 Posisi Peringkat Untuk Operasi <i>Flow C</i>	89
Tabel 4.8 Urutan Operasi <i>Flow C</i> Berdasarkan Bobot Posisi	91
Tabel 4.9 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja <i>Flow C</i>	92
Tabel 4.10 Perbandingan Kondisi Lintasan Sebelum Dan Sesudah Optimasi...	101
Tabel 4.11 Durasi Pengerjaan <i>Flow</i> Berdasarkan Keberhasilan 90%	102

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Perkembangan <i>Sustainable Company</i>	2
Gambar 1.2 Waktu <i>Idle</i> Untuk Tiap <i>Workstation</i>	4
Gambar 1.3 Waktu Siklus Tiap WS Dan <i>Takt Time</i> Perusahaan	5
Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah	6
Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian	10
Gambar 2.1 Opsi Operasi Dalam <i>End-of-Life</i> Produk Elektronik.....	15
Gambar 3.1 Tata Letak Produksi PT UTR	54
Gambar 3.2 <i>Bill Of Material</i> Produk <i>Engine</i>	61
Gambar 3.3 <i>Flow Process Chart</i> Produk <i>Engine</i>	62
Gambar 3.4 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap <i>Workstation</i>	67
Gambar 3.5 Contoh Bahasa Permodelan UML	69
Gambar 3.6 Model Kondisi Awal Sistem Remanufaktur <i>Engine</i>	70
Gambar 3.7 <i>Event Debugger</i> Pada Model Simulasi <i>Engine</i>	71
Gambar 3.8 <i>Flow Process Chart Flow A</i>	72
Gambar 3.9 <i>Flow Process Chart Flow B</i>	74
Gambar 3.10 <i>Flow Process Chart Flow C</i>	76
Gambar 3.11 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap <i>Workstation (Flow B)</i>	79
Gambar 3.12 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap <i>Workstation (Flow C)</i>	80
Gambar 4.1 Model Simulasi Hasil Optimasi <i>Flow A</i>	95
Gambar 4.2 Model Simulasi Hasil Optimasi <i>Flow B</i>	96
Gambar 4.3 Model Simulasi Hasil Optimasi <i>Flow C</i>	96
Gambar 4.4 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (<i>Flow A</i>)	100
Gambar 4.5 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (<i>Flow B</i>).....	100
Gambar 4.6 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (<i>Flow C</i>).....	101

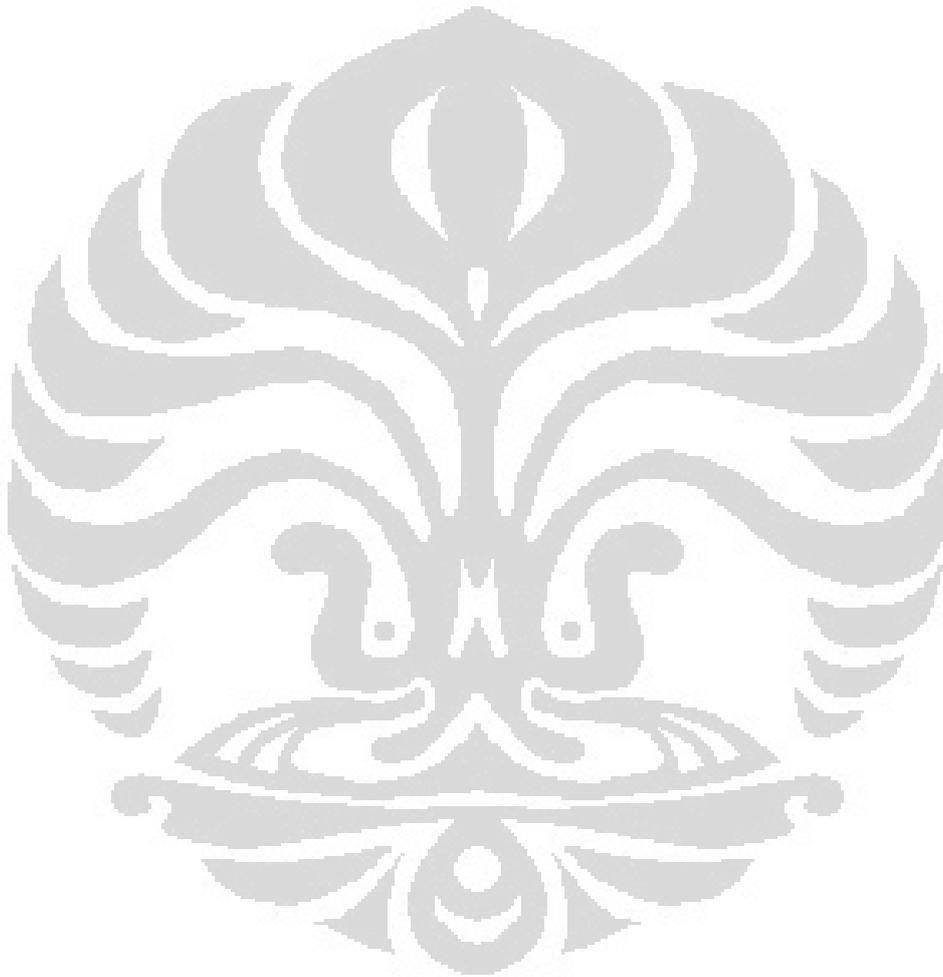
DAFTAR RUMUS

Rumus 2.1 Rumus Nilai Rata-Rata Dari Data Pengamatan	20
Rumus 2.2 Rumus Standar Deviasi Data	20
Rumus 2.3 Rumus Pengujian Data.....	20
Rumus 2.4 Rumus <i>Upper Control Line</i>	21
Rumus 2.5 Rumus <i>Lower Control Line</i>	10
Rumus 2.6 Rumus Waktu Normal	15
Rumus 2.7 Rumus Waktu Standar	54
Rumus 2.8 Rumus Waktu Siklus Lintasan Produksi	61
Rumus 2.9 Rumus Jumlah Stasiun Kerja Minimum.....	62
Rumus 2.10 Rumus <i>Balance Delay</i> Pertama	67
Rumus 2.11 Rumus <i>Balance Delay</i> Kedua	69
Rumus 2.12 Rumus Efisiensi Lintasan	70
Rumus 2.13 Rumus <i>Idle Time</i> Stasiun Kerja Ke-i	71
Rumus 2.14 Rumus <i>Smoothness Index</i>	72
Rumus 2.15 Rumus <i>Weighted Average</i>	54
Rumus 2.16 Rumus Standar Deviasi Dari Waktu Aktivitas	61
Rumus 2.17 Rumus Standar Deviasi Dari Proyek	62
Rumus 2.18 Rumus Probabilitas Keberhasilan Proyek.....	67
Rumus 3.1 Rumus <i>Takt Time</i> Produksi.....	69
Rumus 4.1 Rumus <i>Throughput Time</i> Produksi.....	70

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Daftar Stasiun Kerja Dan Elemen Kerja.....	106
Lampiran 2. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 1 Washing</i>	107
Lampiran 3. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 2 Disassembly</i>	108
Lampiran 4. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 3 Subassy 1</i>	108
Lampiran 5. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 4 Subassy 2</i>	109
Lampiran 6. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 5 Subassy 3</i>	110
Lampiran 7. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 6 Machining</i>	111
Lampiran 8. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 7 FIP Room</i>	112
Lampiran 9. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 8 Short Block</i>	113
Lampiran 10. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 9 Main Assembly</i>	113
Lampiran 11. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 10 Dyno Room</i>	114
Lampiran 12. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar <i>Workstation 11 Painting</i>	114
Lampiran 13. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk <i>Flow A</i>	115
Lampiran 14. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk <i>Flow B</i>	116
Lampiran 15. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk <i>Flow C</i>	116
Lampiran 16. <i>Precedence Table Engine</i>	118
Lampiran 17. <i>Unified Modeling Language Engine (Damage Core)</i>	118
Lampiran 18. <i>Unified Modeling Language Sub Assembly 1</i>	118
Lampiran 19. <i>Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 1</i>	118
Lampiran 20. <i>Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 1</i>	119
Lampiran 21. <i>Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 1</i>	119
Lampiran 22. <i>Unified Modeling Language Sub Assembly 2</i>	119
Lampiran 23. <i>Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 2</i>	119
Lampiran 24. <i>Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 2</i>	119
Lampiran 25. <i>Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 2</i>	119
Lampiran 26. <i>Unified Modeling Language Sub Assembly 3</i>	119
Lampiran 27. <i>Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 3</i>	120
Lampiran 28. <i>Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 3</i>	120
Lampiran 29. <i>Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 3</i>	120
Lampiran 30. <i>Unified Modeling Language Turbo Charger</i>	120
Lampiran 31. <i>Unified Modeling Language Part 1 Turbo Charger</i>	120
Lampiran 32. <i>Unified Modeling Language Part 2 Turbo Charger</i>	120
Lampiran 33. <i>Unified Modeling Language WS 1 Engine 1</i>	120
Lampiran 34. <i>Unified Modeling Language WS 2 Disassembly</i>	121

Lampiran 35. <i>Unified Modeling Language Washing 2 WS 4</i>	121
Lampiran 36. <i>Unified Modeling Language Washing 2 WS 5</i>	121
Lampiran 37. <i>Unified Modeling Language Washing 2 Short Block</i>	121
Lampiran 38. <i>Unified Modeling Language WS 3</i>	121
Lampiran 39. <i>Unified Modeling Language WS 4</i>	121
Lampiran 40. <i>Unified Modeling Language WS 5</i>	121
Lampiran 41. <i>Unified Modeling Language WS 7</i>	122
Lampiran 42. <i>Unified Modeling Language WS 8</i>	122
Lampiran 43. <i>Unified Modeling Language WS 9</i>	122
Lampiran 44. <i>Unified Modeling Language WS 10</i>	122
Lampiran 45. <i>Unified Modeling Language WS 11</i>	122



BAB I

PENDAHULUAN

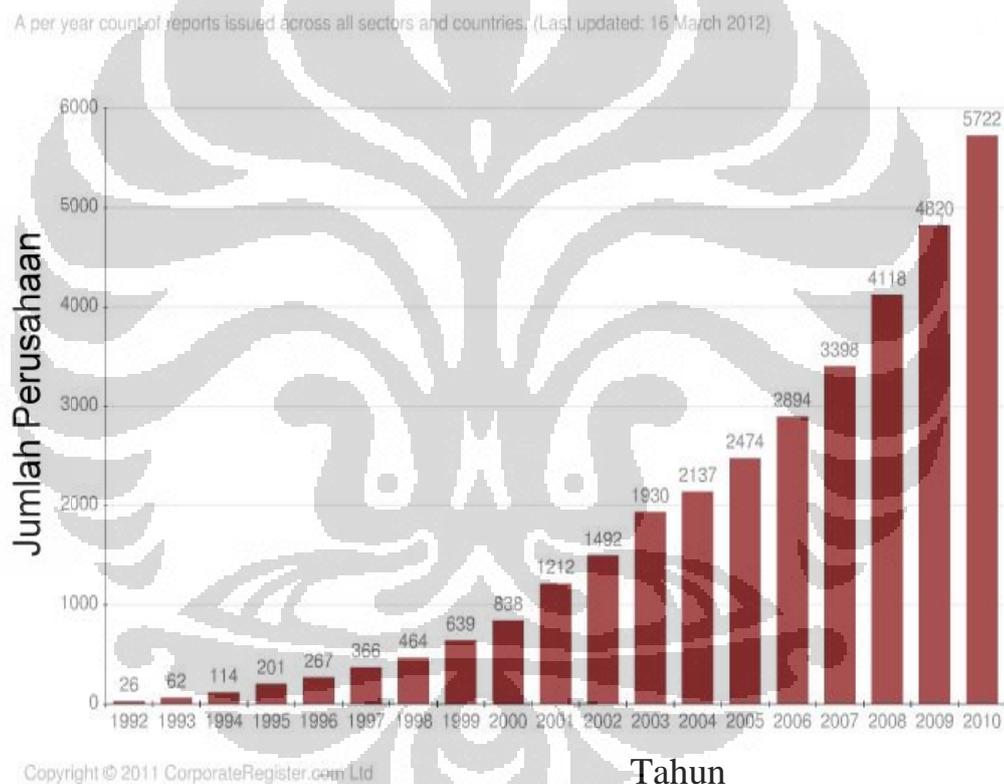
1.1 Latar Belakang

Dewasa ini, masalah lingkungan menjadi isu utama dalam setiap aktivitas kita. Perubahan iklim, peningkatan suhu global, peningkatan konsentrasi CO₂, merupakan sedikit dari masalah yang ditimbulkan oleh pengelolaan lingkungan yang kurang tepat. Apabila hal ini dibiarkan, efek yang lebih besar mungkin akan terjadi dalam dunia kita. Karena adanya isu lingkungan tersebut, ditambah dengan sumber daya alam yang semakin terbatas dan berkurangnya tempat pembuangan, sejumlah negara yang tergabung dalam UNFCCC PBB melakukan diskusi tentang perubahan iklim yang bisa ditimbulkan oleh emisi karbon, sebagai salah satu faktor kualitas kesehatan lingkungan didunia. Dari hasil pertemuan tersebut, dihasilkan perjanjian yang dinamakan protokol Kyoto (*Kyoto Protocol*) yang mewajibkan negara-negara yang tergabung dalam UNFCCC mengurangi emisi gas rumah kaca sampai dengan 5,2% dibawah tingkat emisi di tahun 1990 (UNFCCC 2005)¹. Untuk bisa memenuhi perjanjian tersebut, beberapa negara membuat kebijakan tentang lingkungan hidup sebagai respon menurunnya kepedulian terhadap lingkungan terutama untuk dunia industri, karena dunia industri merupakan salah satu penyumbang emisi karbon yang terbesar. Oleh karena itu, sejumlah konsep industri baru yang berwawasan lingkungan mulai berkembang, seperti *remanufacturing*, *reverse supply chain* (sering disebut *reverse logistic*), ataupun *reusing*, sebagai jawaban atas meningkatnya isu lingkungan di dunia industri (Demirel et. al. 2008).

Remanufacturing adalah sebuah proses mengubah kondisi produk yang terpakai menjadi seperti produk baru dengan sejumlah garansi kualitas dari perusahaan. *Remanufacturing* mempunyai karakteristik sebagai *sustainable development* karena dapat meningkatkan keuntungan perusahaan melalui pengurangan pembuangan sampah industri (*disposal*), pengurangan bahan baku material, dan energi yang digunakan dalam kegiatan produksi (Lund 1996). Keuntungan lain dari konsep *remanufacturing* diantaranya bahwa konsep ini

¹ www.unfccc.int (2012)

profitable. Melalui penelitian yang dijalankan oleh Nasr et.al (1998), rata-rata *profit margin* dari sebuah perusahaan remanufaktur mencapai 20%, yang memperlihatkan kegiatan remanufaktur *profitable* (Guide 2000). Selain itu, rata-rata produk remanufaktur mempunyai harga berkisar antara 45-65% dari produk baru (Lund dan Hauser 2008), dengan kondisi produk sekitar 85% dari produk baru. Hal ini menimbulkan ketertarikan pasar terhadap produk remanufaktur karena harganya yang lebih murah dan kondisinya yang tidak jauh berbeda dengan produk baru. Berikut adalah perkembangan jumlah *sustainable company* dimana sebagian besar kegiatannya bergerak dibidang remanufaktur dan *reverse logistic*.



Gambar 1.1 Perkembangan *Sustainable Company*

(sumber: www.corporateregister.com)

Disamping keuntungan-keuntungan yang telah disebutkan diatas, ternyata aktivitas PPC (*Production Planning and Control*) lebih kompleks dan sulit untuk diterapkan dalam perusahaan remanufaktur (Guide 2000). Hal ini disebabkan karena masih sedikit teknologi dan teknik yang telah dikembangkan terutama untuk proses remanufaktur yang menyebabkan tersendatnya perkembangan

remanufaktur dalam sebuah industri (Nasr et al., 1998). Oleh karena itu, sejumlah permasalahan masih terjadi dalam perusahaan remanufaktur terutama yang berkaitan dengan ketidakpastian dalam pengembalian barang ke perusahaan dan perancangan proses yang optimal dalam kegiatan remanufaktur perusahaan. Dua hal ini menjadi kunci penting dalam efisiensi kegiatan remanufaktur perusahaan. Namun, dalam penelitian ini akan dibatasi dengan efisiensi perancangan proses produksi remanufaktur dalam sebuah perusahaan.

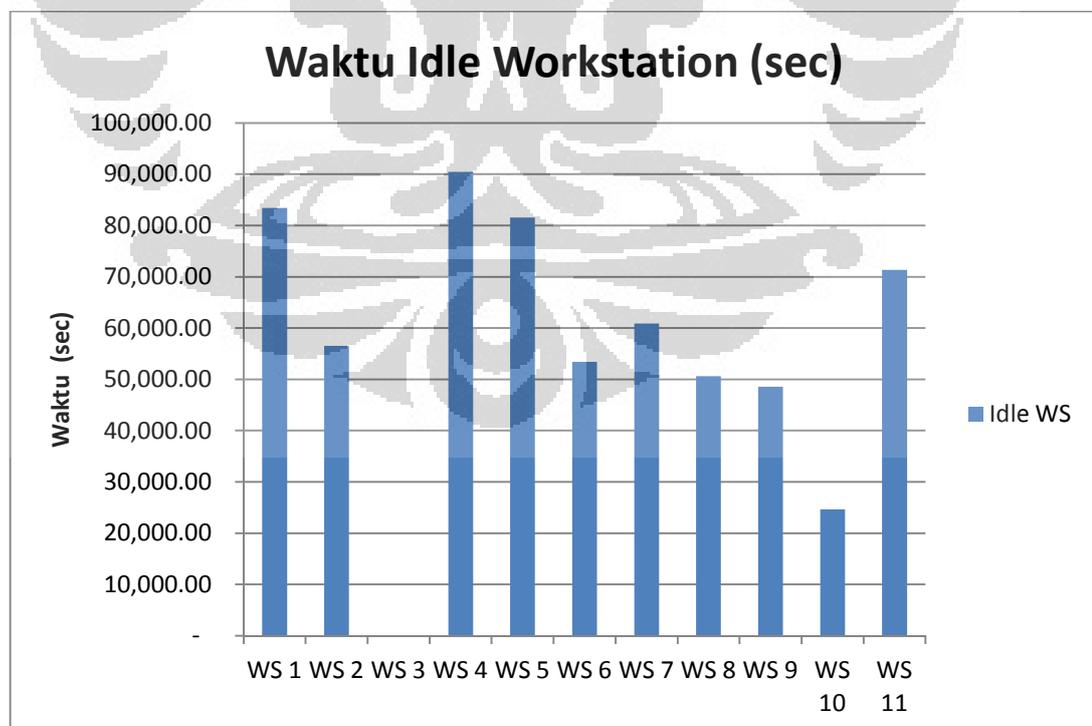
Dalam perusahaan remanufaktur, proses produksi dibagi menjadi dua, yaitu proses *disassembly* dan proses *assembly*. Proses *disassembly* merupakan tahapan awal dari kegiatan remanufaktur dan berperan sebagai gerbang utama bagi proses produksi perusahaan remanufaktur. Produk terpakai yang telah diterima perusahaan dibongkar (*disassembly*) menjadi beberapa bagian dan *part* dari proses *disassembly* yang lolos uji kualitas akan selanjutnya diproses (dibersihkan, dicat atau dirangkai ulang) dan akan dipakai kembali dalam proses *assembly* perusahaan.

Keefisienan proses menjadi salah satu faktor kesuksesan dalam kegiatan produksi perusahaan. Namun, dengan adanya ketidakseimbangan *workload* dalam setiap *workstation* (WS), tak terkecuali dalam perusahaan remanufaktur, mengakibatkan permasalahan tersendiri dalam sistem produksi perusahaan. Hal ini nantinya akan berpengaruh kepada meningkatnya *lead time* dan lebih jauh lagi berpengaruh kepada hasil produksi perusahaan. Oleh karena itu, studi tentang *Line Balancing* diperkenalkan sebagai metode khusus untuk menyamaratakan *workload* setiap WS dengan mengatur jumlah WS yang bekerja agar sistem produksi perusahaan bisa lebih efisien (Falkenauer 2005).

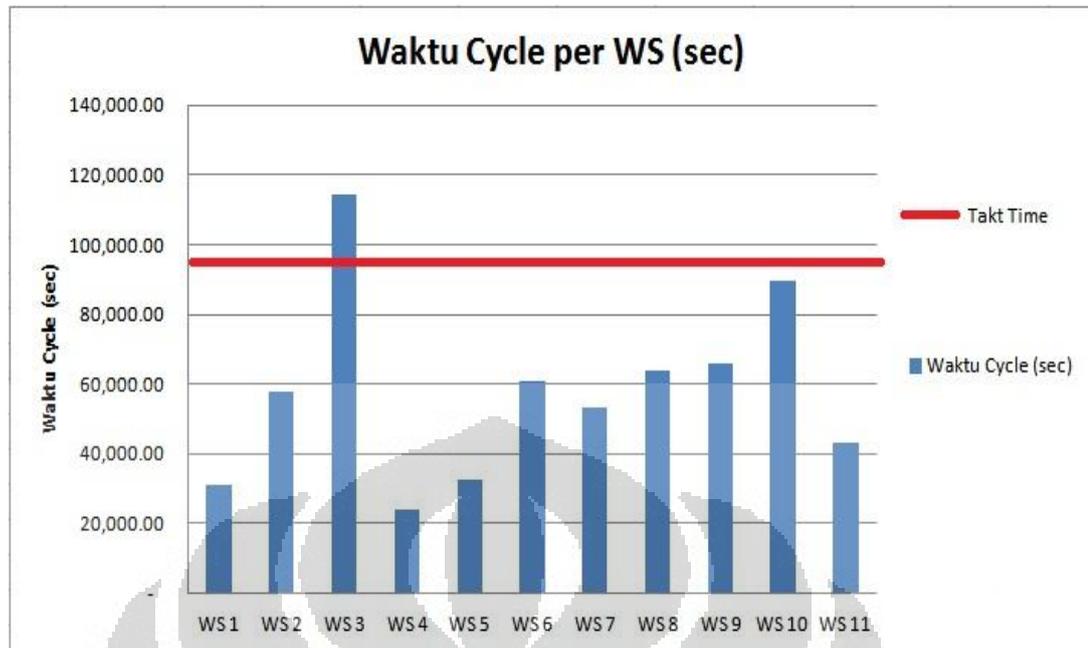
Dalam sistem remanufaktur, apabila kita melihat secara lebih mendalam, produksinya terbagi menjadi beberapa *flow process*. Hal ini dilakukan untuk menyesuaikan dengan kondisi barang/produk yang datang ke perusahaan. Seperti yang telah kita ketahui dalam sistem remanufaktur, barang/produk yang datang ke perusahaan kondisinya tidak sama walaupun barang/produk tersebut merupakan produk yang sejenis. Kondisi yang tidak sama tersebut yang menyebabkan proses remanufaktur terbagi menjadi beberapa proses. Walaupun begitu, perusahaan remanufaktur tetap melihat proses produksinya secara agregat. Maksudnya adalah

mereka melihat hanya satu proses yang paling utama/paling cepat saja untuk produk tertentu. Hal ini yang nantinya akan dijadikan perusahaan sebagai acuan performa proses remanufaktur produk tersebut di pabrik mereka.

Dalam perusahaan tempat dilakukannya penelitian, PT UTR, terdapat satu permasalahan utama yang sesuai dengan penjelasan diatas, yaitu belum adanya ukuran kinerja yang bisa dijadikan acuan untuk dasar penilaian performa perusahaan. Hal ini menyebabkan perusahaan tidak selektif dalam memilih produk yang diproses, sehingga perusahaan belum dapat memilih produk mana yang dapat menghasilkan *profit* yang lebih tinggi ke perusahaan. Sedangkan apabila kita melihat dari rancangan alur produksinya, perusahaan masih menggunakan metode *trial and error* sehingga rancangannya pun belum sepenuhnya optimal. Rancangan yang belum optimal tersebut berpengaruh tidak baik kepada kinerja perusahaan, ditandai dengan efisiensi lini produksinya yang hanya 50,57% dan ketidakseimbangannya lini produksi apabila kita melihat dari *delay* untuk tiap-tiap *workstation* (Gambar 1.2). Hal ini ditambah dengan waktu siklus produksi saat ini yang melebihi *takt time* perusahaan (Gambar 1.3) sehingga perusahaan sulit untuk memenuhi *demand*.



Gambar 1.2 Waktu *Idle* Untuk Tiap *Workstation*

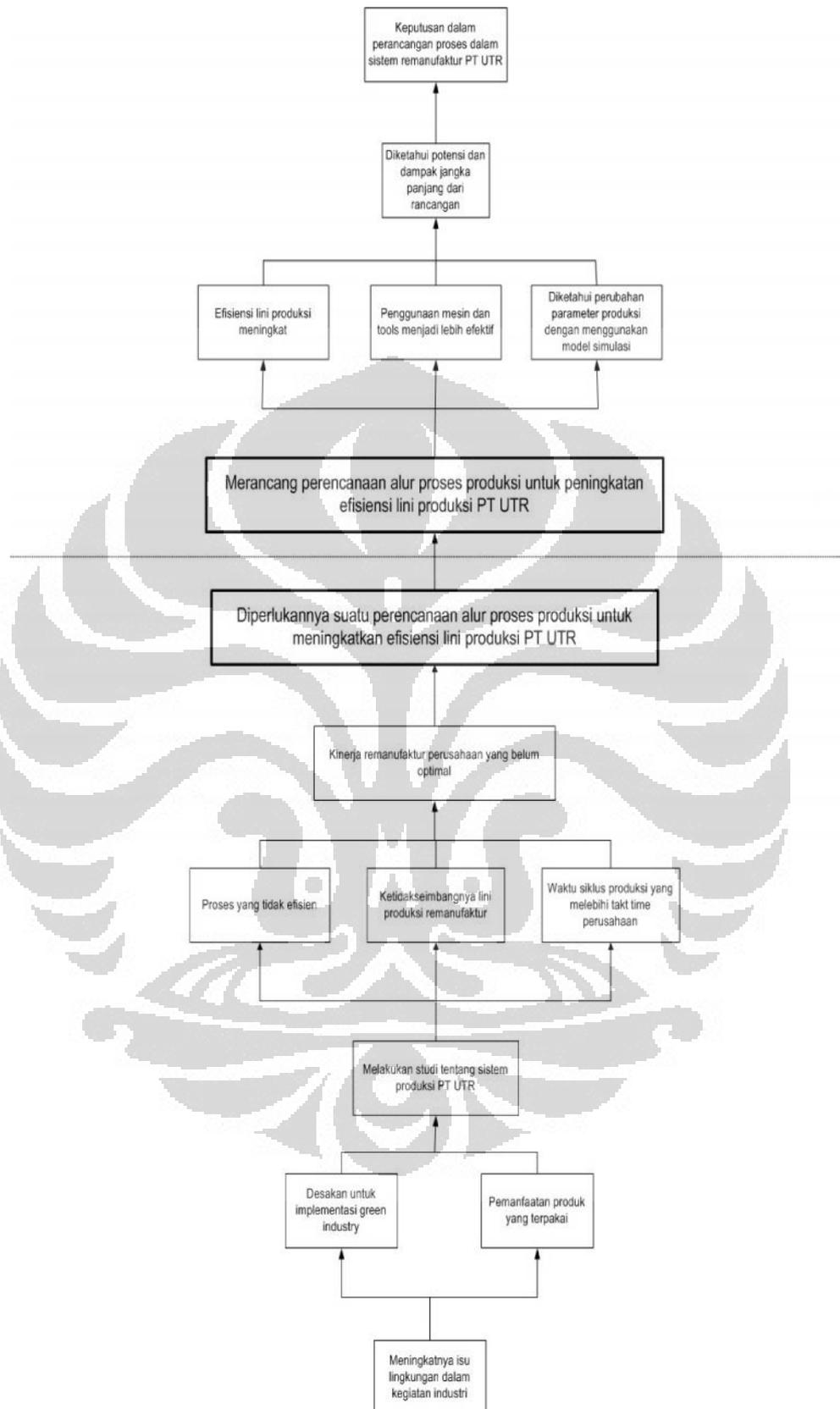


Gambar 1.3 Waktu Siklus Tiap WS dan *Takt Time* Perusahaan

Selanjutnya, untuk melihat karakteristik dan perubahan parameter (terutama waktu produksi) dari sistem produksi yang telah menerapkan metode *line balancing* tersebut, contohnya dalam PT UTR, terdapat beberapa kendala, diantaranya sulitnya untuk melakukan eksperimen terhadap sistem baru yang sudah dibuat. Besarnya biaya, terganggunya sistem produksi perusahaan, dan lamanya waktu implementasi menjadi kendala utama dalam implementasi sistem. Oleh karena itu, simulasi model menjadi isu yang berkembang saat ini, terutama untuk mengetahui karakteristik sistem. Dengan menggunakan simulasi model, perusahaan bisa mengetahui hasil sistem yang telah diperbaiki tersebut dengan biaya yang sedikit (dibandingkan dengan eksperimen langsung), cepat diketahui hasilnya, tidak menimbulkan permasalahan di sistem saat ini serta fleksibel penggunaannya.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Dibawah ini adalah diagram keterkaitan masalah yang menggambarkan keterkaitan antar masalah berdasarkan penggambaran latar belakang diatas yang ditampilkan pada Gambar 2.



Gambar 1.4 Diagram Keterkaitan Masalah

1.3 Perumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang dan diagram keterkaitan masalah yang telah dibahas sebelumnya, maka kita dapat mengetahui bahwa terdapat beberapa permasalahan yang dialami oleh perusahaan remanufaktur, salah satunya dalam PT UTR saat ini. Permasalahan tersebut antara lain adalah perancangan lini produksi yang belum optimal. Oleh karena itu, diperlukan perancangan ulang terhadap alur produksi perusahaan tersebut. Selain itu, permasalahan selanjutnya adalah belum adanya acuan kinerja produksi dari perusahaan sehingga perusahaan tidak optimal dalam menentukan pemilihan produk yang memiliki nilai tinggi. Berdasarkan hal tersebut, maka penelitian ini dilakukan untuk mengetahui alur lini produksi yang efisien dalam sistem remanufaktur PT UTR serta merekomendasikan pemilihan produk untuk diremanufaktur sehingga perusahaan dapat menentukan produk yang diproses untuk diprioritaskan.

1.4 Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk menyeimbangkan lintasan produksi remanufaktur *Engine* tipe besar dalam PT UTR serta membuat model remanufaktur untuk *Engine* tipe besar untuk menganalisis prioritas pemilihan produk remanufaktur dengan melihat pada waktu produksi dengan menggunakan alat bantu permodelan *Plant Simulation 9.0*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Dalam melakukan penelitian ini perlu dilakukan pembatasan masalah agar pelaksanaan serta hasil yang akan diperoleh sesuai dengan tujuan pelaksanaannya. Pembatasan masalah yang ditetapkan adalah sebagai berikut:

1. Penelitian lintasan produksi dibatasi hanya mengambil aspek rancangan alur proses produksi, tidak mengubah tata letak pabrik,
2. Parameter produksi yang diteliti adalah efisiensi lini produksi dan waktu produksi,
3. Penelitian hanya dilakukan dalam proses produksi remanufaktur satu produk, yaitu *Engine* tipe besar yang memiliki nilai yang tinggi

dibandingkan produk lain karena merupakan penggerak/tenaga utama dari alat berat. Selain itu, memiliki proses yang lebih panjang dari produk lain sehingga memperbesar kemungkinan terjadinya masalah produksi,

4. Pemilihan prioritas produk mengikuti asumsi dengan waktu pengerjaan yang lebih cepat, maka biaya produksinya akan lebih murah,
5. Pemilihan prioritas produk tersebut juga tidak mempertimbangkan pergantian produk dalam proses remanufacturnya.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi penelitian yang digunakan dalam melakukan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Penentuan topik penelitian

Topik yang diajukan dalam penelitian ini berkaitan dengan memodelkan kegiatan remanufaktur perusahaan dengan skenario proses produksinya. Batasan masalah dalam penelitian ini juga akan diidentifikasi dalam bagian ini sehingga penelitian memiliki fokus yang jelas.

2. Pembahasan landasan teori

Pada bagian ini, landasan teori yang berhubungan dengan topik penelitian akan ditentukan. Landasan teori ini nantinya akan dijadikan referensi untuk menyelesaikan permasalahan penelitian ini. Adapun landasan teori yang terkait antara lain *line balancing*, permodelan, *work measurement*, dan PERT.

3. Pengumpulan dan pengolahan data

Pengumpulan data dilakukan berdasarkan data primer melalui pengamatan langsung serta data sekunder yang berasal dari referensi jurnal dan sumber-sumber lainnya. Data yang diambil berupa data alur proses produksi yang berlangsung, *time study* masing-masing *workstation*, data hasil produksi (*output process*-nya), dll.

4. Pembuatan model simulasi

Pada bagian ini, model simulasi dibuat dengan menggunakan *software Plant Simulation 9.0* sesuai dengan kondisi lapangan. Model simulasi yang

dikembangkan didasarkan pada data konsep *remanufacturing industry* yang diambil dari data primer maupun sekunder.

5. Tahap verifikasi dan validasi

Setelah model simulasi telah berhasil dibuat, dilakukan tahap verifikasi dan validasi untuk memastikan model simulasi tersebut sesuai dengan kondisi lapangan saat penelitian.

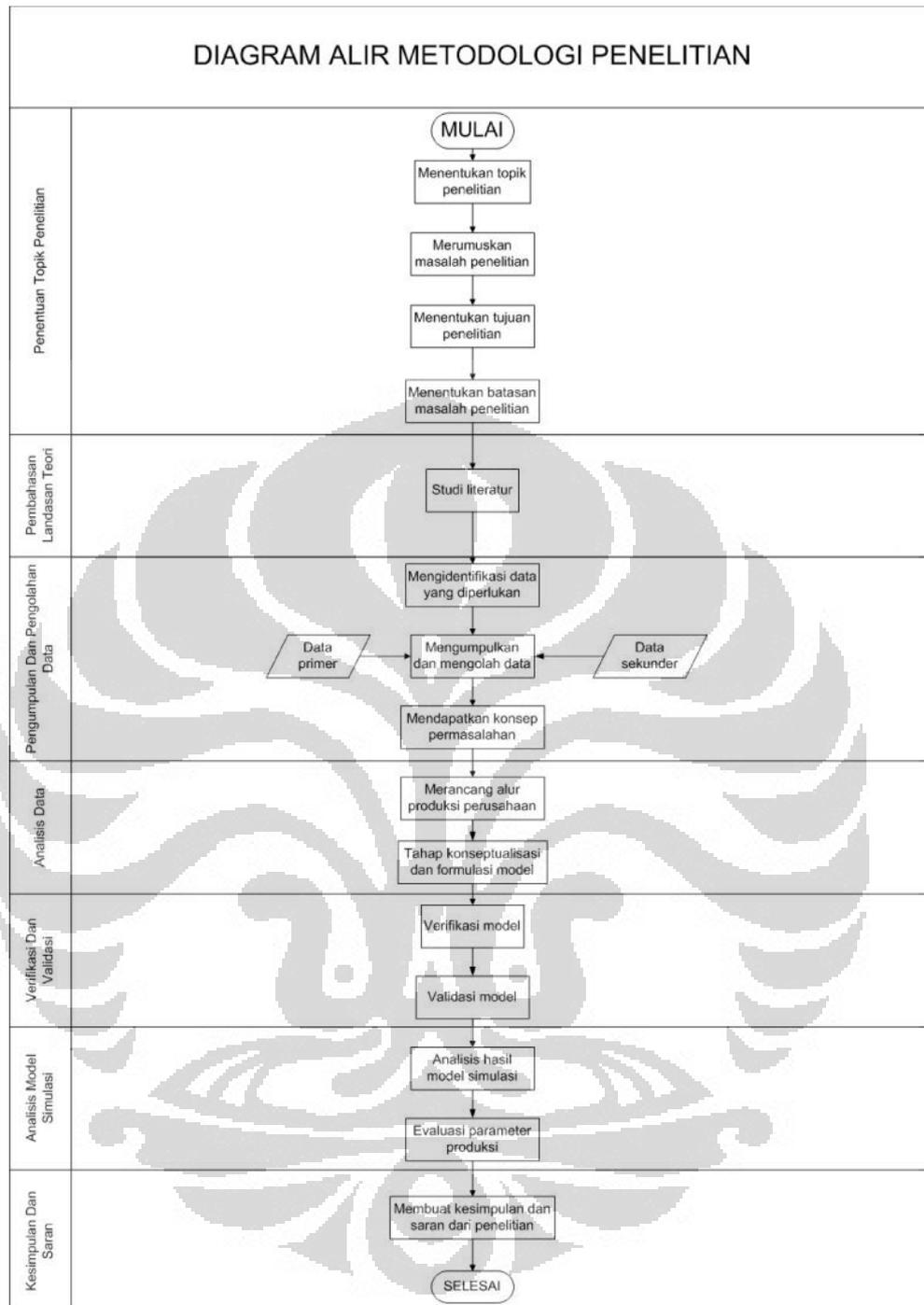
6. Analisis model simulasi

Menganalisis setiap hasil yang diperoleh dari model yang telah dijalankan mengenai kondisi produksi pabrik saat ini serta membuat skenario proses produksi pada sistem remanufaktur perusahaan. Pada tahap ini juga akan dilakukan evaluasi terhadap masalah yang terjadi saat simulasi berlangsung.

7. Kesimpulan dan saran

Dalam tahap ini akan dihasilkan kesimpulan mengenai keseluruhan penelitian yang telah dilakukan serta saran dan masukan terhadap perusahaan.

Berikut ini merupakan diagram alir metodologi dari penelitian yang akan dilakukan.



Gambar 1.5 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Penulisan laporan penelitian ini dibagi menjadi lima bagian yang dapat dipaparkan dalam bab-bab yang sistematis dan memudahkan dalam memahami penelitian ini.

Pada Bab 1, latar belakang penelitian dideskripsikan dengan menggunakan fakta-fakta yang ada. Diagram keterkaitan masalah disusun untuk menjelaskan masalah-masalah dengan lebih detail sehingga dapat dirumuskan untuk dicari penyelesaiannya. Selanjutnya, tujuan penelitian dan batasan masalah ditentukan dengan spesifik. Metodologi penelitian beserta diagram alir disusun untuk memudahkan langkah-langkah penyelesaiannya.

Landasan teori-teori yang berhubungan dan bermanfaat untuk menyelesaikan permasalahan penelitian dijelaskan pada Bab 2, untuk kemudian disusun dan dijadikan acuan dalam melakukan penelitian. Landasan teori didapatkan dari referensi buku maupun jurnal yang berkaitan dengan tema penelitian ini.

Setelah landasan teori sebagai acuan penelitian didapatkan, maka dalam Bab 3 data-data yang berguna bagi penelitian dikumpulkan baik yang berasal dari pengambilan data langsung di lapangan maupun sumber-sumber terpercaya seperti jurnal dan data perusahaan. Setelah itu, data diolah untuk mengetahui validitasnya dan mendapatkan data yang siap dianalisis.

Data-data yang diolah kemudian dianalisis dalam Bab 4 untuk mengetahui inti permasalahan penelitian. Data akan disusun dalam bentuk tabel dan grafik yang memudahkan untuk membandingkan keadaan aktual dan keadaan setelah perbaikan. Selain itu, data-data penelitian akan diformulasikan kedalam sebuah model simulasi.

Kesimpulan yang telah didapatkan dari hasil analisis bab sebelumnya akan dirangkum dalam Bab 5 untuk memberikan penjelasan hasil penelitian. Saran-saran agar penelitian selanjutnya dapat lebih baik diberikan agar hasil penelitian masa depan akan semakin baik.

BAB II

DASAR TEORI

2. Dasar Teori

Bab ini berisi mengenai dasar teori yang digunakan dalam penyusunan skripsi ini.

2.1 Remanufaktur (remanufacture)

Remanufaktur adalah sebuah proses industri dimana produk yang terpakai akan dikembalikan kondisinya seperti semula. Melalui beberapa tahapan proses industri dalam lingkungan pabrik, produk yang terpakai tersebut akan sepenuhnya dibongkar (*disassembled*). Komponen yang masih bisa digunakan akan dibersihkan, diproses ulang, dan akan ditempatkan dalam *inventory*. Kemudian, produk yang baru akan dihasilkan dari proses penggabungan kembali dari komponen yang lama. Performa produk remanufaktur tersebut akan sama bahkan terkadang lebih baik dari produk yang baru diproduksi (Lund, 1983).

Pemikiran tentang pengurangan *product disposal*, yang menjadi kerangka dalam konsep remanufaktur, telah ada dalam dunia industri sejak 60 tahun yang lalu dan memberikan peningkatan yang signifikan terhadap ekonomi negara, kondisi sosial, dan keuntungan bagi lingkungan. Keuntungan bagi segi lingkungan yang dilakukan oleh remanufaktur kebanyakan berasal dari energi dan pengurangan penggunaan material produksi yang didapatkan dari penggunaan kembali (*reusing*) komponen yang telah ada sehingga mempertahankan nilai yang telah ada dalam komponen tersebut selama proses manufaktur. Sebuah penelitian telah dilakukan terhadap proses remanufaktur yang menjelaskan bahwa proses remanufaktur mempertahankan sekitar 85% energi yang telah diberikan dalam pembuatan (manufaktur) produk tersebut (Henstock, 1988).

Pada saat ini, terdapat sekitar 46 kategori produk yang bisa dikembangkan menjadi proses remanufaktur (Lund, 1996), termasuk didalamnya otomotif, perlengkapan kereta api, perlengkapan eksplorasi minyak bumi, mesin potong rumput, perlengkapan medis dan sains, mesin penjual minuman, perlengkapan

angkatan laut, motor elektrik, perlengkapan elektronik, dan perlengkapan pembangkit daya listrik.

Produk yang diremanufaktur melalui beberapa proses industri, diantaranya *disassembly, cleaning, inspection, reassembly, dan testing*. Berbagai proses tersebut dilakukan untuk mempertahankan nilai dari suatu barang yang akan diremanufaktur tersebut atau yang biasa dalam remanufaktur disebut sebagai *core*.

Dalam proses remanufaktur, kekurangan dari material yang dipakai dalam produksi akan diisi oleh penggunaan kembali komponen yang terdapat dalam produk *core*. Komponen yang akan digunakan kembali tersebut tentunya telah melewati proses-proses yang telah dijelaskan sebelumnya.

Dalam industri remanufaktur, terkadang pengguna masih ambigu dalam membedakan proses remanufaktur (*remanufacture*) dengan proses yang lain, seperti *reuse, recycle, reconditioning, refurbishment, rebuilding, dan repair*. Berikut adalah perbedaan yang mendasar dari proses-proses tersebut (Parkinson and Thompson, 2003).

1. *Remanufacture*

Remanufacture adalah pemrosesan ulang dari sebuah produk yang terpakai dalam beberapa tahapan proses untuk mengembalikan kualitas produk tersebut menjadi setara bahkan lebih baik daripada produk yang baru dalam hal penampilan, reabilitas, dan performa produk.

2. *Reuse*

Reuse digunakan untuk utilisasi kembali (*reutilization*) terhadap semua material, produk, dan komponen (Low, 1996). *Reuse* dimaksudkan penggunaan secara kontinyu terhadap sebuah produk, daripada menghancurkan/mengubah bentuk benda tersebut (*recycle*). Apabila kita mengambil contoh dari mobil, mesin dan komponen elektronik yang masih berfungsi akan digunakan kembali tanpa melalui proses yang banyak (biasanya hanya *cleaning* dan inspeksi sekilas).

3. *Recycle*

Recycle dimaksudkan penggunaan bagian-bagian tertentu dalam sebuah komponen dengan mengubah bentuk dari bagian komponen tersebut. Perubahan bentuk dari komponen tersebut bisa digunakan kembali untuk produk yang sama maupun untuk keperluan yang lain. Namun, dalam proses *recycle*, energi dan nilai tambah dari suatu barang akan hilang karena bentuknya telah mengalami perubahan yang signifikan. Apabila kita mengambil contoh dari mobil, *chassis* dan *body* mobil biasanya di-*recycle*, dilelehkan dan dibentuk lagi menjadi *raw material*.

4. *Reconditioning*

Merupakan salah satu proses dalam *remanufacture* dimana komponen yang telah digunakan akan di-*restore* kembali menjadi seperti kondisi awalnya.

5. *Refurbishment*

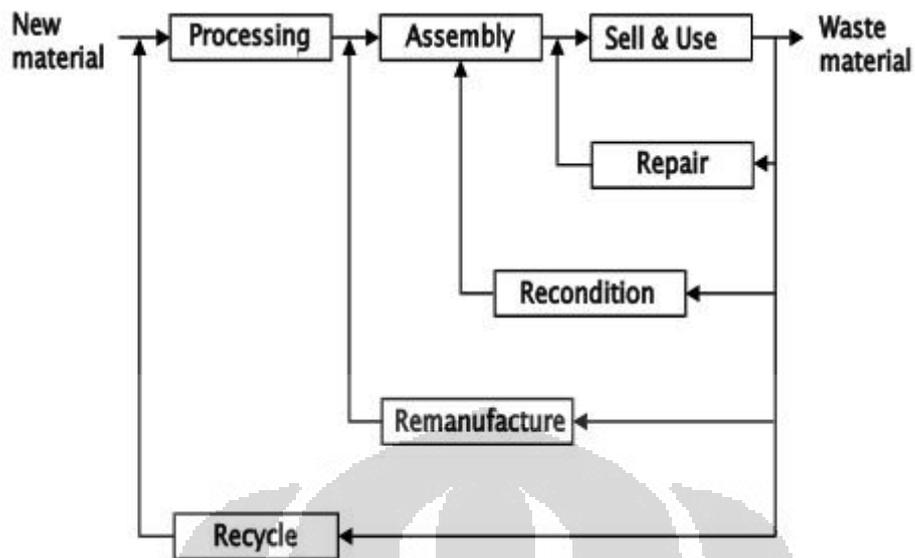
Pemrosesan ulang dari komponen yang terpakai dalam biaya yang minimum untuk memastikan performa produk tersebut telah mencapai batasan-batasan spesifikasi yang telah ditentukan oleh perusahaan.

6. *Rebuilding*

Rebuilding mengikuti proses yang sama dengan proses remanufaktur, tetapi lebih bermaksud kepada me-*restore* produk ke spesifikasi mekanis dan operasi original dari produk tersebut. Hanya komponen yang tidak sesuai standar yang akan diproses (diganti ataupun diservis) (Schwartz, 1995).

7. *Repair*

Repair dimaksudkan sebagai aktivitas-aktivitas yang dilakukan untuk mengembalikan fungsionalitas dari komponen melalui servis ataupun aktivitas lain dalam *end of life* dari sebuah komponen.



Gambar 2.1 Opsi Operasi Dalam *End-Of-Life* Produk Elektronik
(sumber: Chindi et. al, 2010)

2.2 Pengukuran waktu kerja

Pengukuran waktu kerja adalah suatu kegiatan yang dilakukan untuk menentukan jumlah waktu yang diperlukan oleh seorang pekerja dalam melakukan suatu pekerjaan tertentu pada suatu kondisi tertentu. Di dalam usaha untuk meningkatkan produktivitas banyak dilakukan perbaikan-perbaikan terhadap sistem kerja, untuk itu pengukuran kerja dapat diterapkan sebagai penunjang dan pelengkap dalam memilih alternatif sistem kerja yang lebih baik. Manfaat dari pengukuran kerja diantaranya:²

- Menentukan jadwal dan perencanaan pekerjaan,
- Menetapkan biaya standar sebagai dasar dalam mempersiapkan biaya (*budget*),
- Memberikan informasi sebagai dasar taksiran untuk menentukan harga jual,

² Ralph, M. Barnes, Motion And Time Study: Design And Measurement Of Work, 7th edition, (New York: Wiley, 1980), halaman 257

- Menetapkan standar penggunaan mesin dan efisiensinya sebagai bahan informasi dalam menyeimbangkan lini produksi dan pekerjaan diatas konveyor,
- Menetapkan standar waktu sebagai dasar untuk pembayaran upah terhadap buruh langsung maupun tak langsung, dan
- Menetapkan standar waktu untuk digunakan sebagai dasar dalam pengontrolan biaya buruh.

2.2.1 Metode pengukuran waktu kerja

Metode pengukuran waktu kerja dibagi menjadi dua, yaitu:

1. Metode pengukuran secara langsung, dan
2. Metode pengukuran secara tidak langsung

2.2.1.1 Metode pengukuran secara langsung

Pengukuran dilakukan secara langsung ditempat pekerjaan berlangsung, alat yang dipakai contohnya adalah *stopwatch* dan *sampling* pekerjaan (*work sampling*). Studi waktu dengan *stopwatch* dilakukan dengan cara mengamati dan menganalisa suatu kegiatan atau operasi dengan cara mencatat waktu yang diperlukan dari mulai sampai selesainya suatu operasi.

Pengukuran dengan *sampling* pekerjaan dilakukan dengan cara mengambil sampel dari suatu kelompok operator yang akan dihitung waktunya, pengamatan dilakukan secara acak dengan bantuan tabel *random*. Pada waktu pengamatan dicatat apakah operator sedang bekerja atau tidak. Dari hasil pengamatan dibuat presentase operator produktif. Waktu standar didapat dengan cara membagi waktu kerja produktif dengan jumlah produk yang dihasilkan.

2.2.1.2 Metode pengukuran secara tidak langsung

Pengukuran waktu standar dilakukan tanpa harus berada ditempat penelitian. Untuk menentukan waktu standar dari suatu operasi, kita harus membagi operasi menjadi elemen-elemen kegiatan misalnya, mengambil material

produksi, memotong, membersihkan, dan sebagainya. Pengukuran waktu dilakukan dengan melihat atau membaca tabel-tabel yang tersedia dari elemen-elemen gerakan.

2.2.2 Pengukuran waktu standar dengan metode studi waktu

Studi waktu dengan *stopwatch* dilakukan dengan mengukur, mencatat, dan menganalisa waktu dari elemen-elemen kegiatan suatu operasi. Peralatan yang biasa digunakan untuk melakukan studi waktu adalah:

1. *Stopwatch*,
2. Alat tulis,
3. Lembar data pengamatan,
4. Papan pengamatan, dan
5. Alat-alat penunjang lainnya.

Selain berguna untuk menentukan pembuatan waktu standar, studi waktu juga berguna untuk:

1. Menentukan jadwal dan rencana kerja,
2. Menentukan biaya standar dan membantu pembuatan anggaran biaya,
3. Memperkirakan ongkos dari produk sebelum diproduksi untuk menentukan harga jual,
4. Menentukan efektifitas penggunaan mesin, jumlah mesin yang dibutuhkan operator, dan membantu dalam penyeimbangan lintasan perakitan, dan
5. Menentukan waktu standar untuk digunakan sebagai referensi dalam pemberian gaji dan insentif bagi tenaga kerja langsung maupun tidak langsung.

2.2.3 Prosedur melakukan studi waktu

Untuk mendapatkan waktu baku yang wajar pada setiap operasi, maka harus diperhatikan kondisi kerja, operator, cara pengukuran, jumlah pengukuran, dan lain-lain. Prosedur pembuatan studi waktu yang harus dilakukan agar tujuan pengukuran tercapai adalah:

- a. Mengumpulkan dan mencatat informasi tentang operasi dan operator yang sedang dipelajari,
- b. Membagi operasi menjadi elemen-elemen yang lebih kecil dan mencatat deskripsi lengkap dari operasi,
- c. Mengamati dan mencatat waktu yang diperlukan operator untuk bekerja,
- d. Memeriksa kecukupan dan keseragaman data,
- e. Menentukan faktor penyesuaian,
- f. Menentukan kelonggaran-kelonggaran, dan
- g. Menentukan waktu standar operasi.

2.2.3.1 Pencatatan informasi

Sebelum pengamatan dilakukan, kita terlebih dahulu harus mencatat segala informasi mengenai operasi dan operator secara lengkap. Tujuannya adalah agar hasil penelitian dapat dijadikan sumber informasi pada waktu yang akan datang.

2.2.3.2 Pembagian operasi menjadi elemen-elemen kegiatan

Pembagian operasi menjadi elemen-elemen kerja penting dilakukan karena dapat memperjelas dan memberikan gambaran operasi. Selain itu, tahap ini dapat meningkatkan akurasi studi waktu sehingga waktu standar mudah diperiksa dan diperbaiki apabila terjadi kesalahan. Tingkatan kinerja dari setiap elemen kerja juga dapat dibedakan secara lebih mudah. Langkah ini penting dilakukan sebelum pencatatan studi waktu agar dapat menjadi standar elemen kerja yang sama apabila dilakukan studi waktu yang lain dan digunakan untuk menentukan waktu standar operasi.

2.2.3.3 Pengukuran dan pencatatan waktu elemen kerja

Pengukuran elemen kerja dilakukan dengan *stopwatch*. Metode ini merupakan metode yang bisa diaplikasikan pada pekerjaan yang berulang-ulang dalam waktu yang singkat. Hasil pengukuran yang dilakukan akan menghasilkan waktu standar yang dapat dijadikan sebagai standar bagi semua pekerja.

Pengukuran dapat dilakukan dengan tiga metode:

1. Cara kontinyu (*continuous timing*)

Pengukuran dilakukan dengan memulai gerakan jarum *stopwatch* pada permulaan pengerjaan elemen kerja yang pertama dan jarum jam tetap bergerak selagi pengamatan berjalan.

2. Cara berulang (*repetitive timing*)

Pengukuran dilakukan dengan menggerakkan jarum *stopwatch* pada saat elemen kerja pertama mulai dan dihentikan pada saat elemen kerja tersebut berhenti. Waktu dicatat dan jarum *stopwatch* dikembalikan lagi ke posisi awal untuk melakukan pengukuran selanjutnya.

3. Cara akumulatif (*accumulative timing*)

Pengukuran dilakukan dengan menggunakan dua buah *stopwatch* yang dipasang bersama didekat papan pengamatan dan dihubungkan sedemikian rupa sehingga ketika jarum *stopwatch* pertama bergerak, jarum *stopwatch* kedua akan berhenti, demikian pula sebaliknya.

2.2.3.4 Menentukan kecukupan dan keseragaman data

Sebelum melakukan pengukuran kecukupan dan keseragaman data, terlebih dahulu kita menghitung pengukuran pendahuluan untuk memudahkan pengukuran nantinya. Tujuan pertama³ dari pengujian adalah untuk mengetahui berapa kali pengukuran harus dilakukan untuk ketelitian dan tingkat keyakinan yang diinginkan. Pengukuran pendahuluan tahap pertama diawali dengan melakukan beberapa buah pengukuran yang banyaknya ditentukan oleh pengukur. Setelah itu, kita menghitung kecukupan pengukuran data. Apabila jumlah pengukuran belum mencukupi, dilanjutkan dengan pengukuran pendahuluan tahap kedua. Begitu selanjutnya sampai jumlah keseluruhan pengukuran mencukupi untuk tingkat ketelitian dan keyakinan yang dikehendaki. Langkah pertama dalam melakukan penghitungan kecukupan dan keseragaman data adalah dengan menghitung nilai rata-rata dan standar deviasi dari data tersebut.

³ Iftikar Z. Sतालaksana, Ruhan A, dan John HT, Teknik dan Tata Cara Kerja, Laboratorium Tata Kerja dan Ergonomi, Dept Teknik Industri, ITB, Bandung, 1970, Hal 139

Nilai rata-rata dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\bar{X} = \frac{X_1 + X_2 + \dots + X_n}{N} \dots\dots\dots(2.1)$$

Keterangan:

\bar{X} = Nilai rata-rata dari pengamatan.

X_n = Nilai data ke-n

N = Jumlah pengambilan data.

Sedangkan untuk standar deviasi dihitung dengan menggunakan rumus:

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum(X_n - \bar{X})^2}{N-1}} \dots\dots\dots(2.2)$$

Keterangan:

σ = Standar deviasi.

\bar{X} = Nilai rata-rata dari pengamatan.

X_n = Nilai data ke-n

N = Jumlah pengambilan data.

A. Pengujian kecukupan data

Untuk menguji kecukupan data yang telah diambil dengan studi waktu, dapat digunakan rumus berikut:

Untuk tingkat kepercayaan 95% dan ketelitian 5%:

$$N' = \left[\frac{40\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2 \dots\dots\dots(2.3)$$

Keterangan:

X = Nilai pengamatan.

N = Jumlah pengambilan data.

N' = Jumlah kecukupan data teoritis.

Dalam uji kecukupan data ini diambil nilai untuk tingkat kepercayaan sebesar 95% dan tingkat ketelitian sebesar 5% yang berarti sekurang-kurangnya 95 dari 100 data yang diukur untuk suatu operasi kerja akan memiliki penyimpangan tidak lebih dari 5% terhadap waktu sebenarnya.

Dari hasil perhitungan tersebut maka akan diperoleh hasil sebagai berikut:

- Untuk $N' = N$; menunjukkan bahwa banyaknya data pengukuran pendahuluan telah dianggap cukup.
- Untuk $N' > N$; menunjukkan bahwa banyaknya data pengukuran pendahuluan yang telah dilakukan belum cukup sehingga perlu diadakan pengukuran pendahuluan kembali untuk menambah jumlah data sehingga nantinya diperoleh $N' = N$ dengan cara perhitungan yang sama.

B. Pengujian keseragaman data

Pengujian ini berguna untuk mengetahui apakah hasil pengukuran yang dilakukan cukup seragam. Apabila hasil pengukuran yang dilakukan berada diluar batas kontrol tertentu, maka hasil pengukuran tersebut dikatakan tidak seragam.

Untuk rumus perhitungannya adalah sebagai berikut (untuk tingkat kepercayaan sebesar 95%):

$$\text{BKA (Batas Kendali Atas) atau UCL (Upper Control Line)} = \bar{X} + 2\sigma \dots\dots\dots (2.4)$$

$$\text{BKB (Batas Kendali Bawah) atau LCL (Lower Control Line)} = \bar{X} - 2\sigma \dots\dots\dots (2.5)$$

Keterangan:

\bar{X} = Nilai rata-rata.

σ = Standar deviasi data.

2.2.3.5 Menentukan faktor penyesuaian

Selama pengukuran waktu berlangsung, operator yang diukur belum tentu bekerja normal dan sama dari pengukuran yang satu ke pengukuran yang berikutnya. Hal ini tidak diinginkan dalam perhitungan waktu standar yang dilakukan. Oleh karena itu, diperlukan penentuan faktor penyesuaian untuk mendapatkan waktu standar yang diinginkan dengan kondisi dan cara kerja yang telah ditentukan dengan cara normal.

Biasanya penyesuaian dilakukan dengan mengalikan waktu siklus rata-rata atau waktu elemen rata-rata dengan suatu nilai p yang disebut faktor penyesuaian. Besarnya nilai p ditentukan sedemikian rupa sehingga hasil perkalian yang diperoleh mencerminkan waktu yang sewajarnya atau normal berdasarkan pengamatan langsung dari pengukur. Bila pengukur berpendapat bahwa operator bekerja di atas normal (terlalu cepat), maka harga p akan lebih besar dari satu ($p > 1$); sebaliknya jika operator dipandang bekerja dibawah normal, maka harga p akan lebih kecil dari satu ($p < 1$). Akan tetapi, seandainya pengukur berpendapat bahwa operator bekerja dengan wajar dan normal, maka harga p akan sama dengan satu ($p = 1$).

Untuk menentukan faktor penyesuaian, terdapat dua metode, yaitu:

A. Cara *Schummard*

Cara ini memberikan patokan-patokan melalui kelas-kelas performa kerja dimana setiap kelas mempunyai nilai sendiri-sendiri. Disini pengukuran diberi patokan untuk menilai performa kerja operator menurut *Superfast*, *Fast +*, *Fast*, *Fast -*, *Excellent*, dan seterusnya. Berikut merupakan nilai setiap kelas performa kerja.

Tabel 2.1 Faktor Penyesuaian Menurut *Schummard*

Kelas	Penyesuaian
Superfast	100
Fast +	95
Fast	90
Fast -	85

Tabel 2.1 Faktor Penyesuaian Menurut *Schummard* (lanjutan)

Excellent	80
Good +	75
Good	70
Good -	65
Normal	60
Fair +	55
Fair	50
Fair -	45
Poor	40

B. Cara *Westinghouse*

Berbeda dengan cara *Schummard*, cara *Westinghouse* mengarahkan penilaian kepada empat faktor yang dianggap menentukan performa pekerja. Faktor-faktor tersebut adalah:

- Keahlian (*Skill*)

Keahlian adalah kemampuan operator melakukan pekerjaan dengan metode kerja yang telah ditentukan.

- Usaha (*Effort*)

Usaha adalah kesungguhan operator dalam melakukan pekerjaannya dan biasanya diukur melalui semangat kerja operator.

- Kondisi kerja (*Condition*)

Kondisi kerja merupakan penilaian terhadap fisik lingkungan tempat kerja yang mempengaruhi kerja operator.

- Konsistensi (*Consistency*)

Konsistensi merupakan penilaian kerja operator terhadap kesamaannya bekerja dalam satu siklus ke siklus lainnya.

Untuk pengamatan kerja yang wajar, besarnya faktor penyesuaian adalah 1 ($p = 1$, untuk tabel dibawah menunjukkan kelas *average*), sedangkan apabila terjadi penyimpangan dari keadaan wajar, maka besarnya penyesuaian

ditambahkan dengan jumlah dari keempat faktor tersebut. Besarnya angka-angka penyesuaian dapat dilihat pada tabel berikut.

Tabel 2.2 Faktor Penyesuaian Menurut Westinghouse

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Keterampilan	Superskill	A1	+ 0,15
		A2	+ 0,13
	Excellent	B1	+ 0,11
		B2	+ 0,08
	Good	C1	+ 0,06
		C2	+ 0,03
	Average	D	0,00
	Fair	E1	- 0,05
		E2	- 0,10
	Poor	F1	- 0,16
F2		- 0,22	
Usaha	Excessive	A1	+ 0,13
		A2	+ 0,12
	Excellent	B1	+ 0,10
		B2	+ 0,08
	Good	C1	+ 0,05
		C2	+ 0,02
	Average	D	0,00
	Fair	E1	- 0,04
		E2	- 0,08
	Poor	F1	- 0,12
F2		- 0,17	
Kondisi Kerja	Ideal	A	+ 0,06

Tabel 2.2 Faktor Penyesuaian Menurut Westinghouse (lanjutan)

	Excellently	B	+ 0,04
	Good	C	+ 0,02
	Average	D	0,00
	Fair	E	- 0,03
	Poor	F	- 0,07
Konsistensi	Perfect	A	+ 0,04
	Excellently	B	+ 0,03
	Good	C	+ 0,01
	Average	D	0,00
	Fair	E	- 0,02
	Poor	F	- 0,04

(sumber: Ralph, M. Barnes, *Motion And Time Study: Design And Measurement Of Work*, halaman 289)

2.2.3.6 Menentukan kelonggaran-kelonggaran

Untuk mendapatkan waktu standar operasi, maka perlu juga memasukkan faktor-faktor kelonggaran yang tidak dapat dihindari dalam bekerja. Hal ini penting dilakukan karena operator tidak mungkin bekerja secara terus menerus tanpa ada gangguan dalam melakukan pekerjaannya.

Kelonggaran ini dibagi menjadi tiga jenis:

1. Kelonggaran untuk kebutuhan pribadi

Kelonggaran ini diberikan kepada operator untuk melakukan kebutuhan pribadinya, seperti minum, ke kamar kecil, dan sebagainya. Besarnya kelonggaran yang diberikan untuk kebutuhan pribadi berbeda-beda dari satu pekerjaan ke pekerjaan lainnya karena setiap pekerjaan mempunyai karakteristik sendiri-sendiri dengan tuntutan yang berbeda-beda. Selain itu, kelonggaran ini berbeda untuk pria dan wanita. Kelonggaran ini ditunjukkan dalam presentase. Tabel 2.3 menunjukkan besarnya kelonggaran dalam berbagai kondisi kerja.

Tabel 2.3 Nilai Kelonggaran Berdasarkan Faktor Yang Berpengaruh

Faktor	Contoh Pekerjaan		Kelonggaran			
			Pria		Wanita	
A. Tenaga yang dikeluarkan	Ekuivalen bahan (kg)					
1. Dapat diabaikan	Bekerja di meja, duduk	Tanpa beban	0,00 - 6,00	-	0,00 - 6,00	-
2. Sangat ringan	Bekerja di meja, berdiri	0,00 - 2,25	0,00 - 6,00	-	0,00 - 6,00	-
3. Ringan	Menyekop, ringan	2,25 - 9,00	6,00 - 7,00	-	6,00 - 7,00	-
4. Sedang	Mencangkul	9,00 - 18,00	7,00 - 12,00	-	7,50 - 16,00	-
5. Berat	Mengayun palu berat	18,00 - 27,00	12,00 - 30,00	-	16,00 - 30,00	-
6. Sangat berat	Memanggul beban	27,00 - 50,00	30,00 - 50,00	-		
7. Luar biasa berat	Memanggul karung berat	Diatas 50 kg				
B. Sikap kerja						
1. Duduk	Bekerja duduk, ringan		0,00 - 1,00			
2. Berdiri diatas dua kaki	Badan tegak, ditumpu dua kaki		1,00 - 2,50			
3. Berdiri diatas satu kaki	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2,50 - 4,00			
4. Berbaring	Pada bagian sisi, belakang atau depan badan		2,50 - 4,00			
5. Membungkuk	Kaki		4,00 - 10,00			
C. Gerakan kerja						
1. Normal	Ayunan bebas dari palu		0			
2. Agak terbatas	Ayunan terbatas dari palu		0,00 - 5,00			

Tabel 2.3 Nilai Kelonggaran Berdasarkan Faktor Yang Berpengaruh (lanjutan)

3. Sulit	Membawa beban berat pada satu tangan	0,00 - 5,00	
4. Pada anggota-anggota badan terbatas	Bekerja dengan tangan diatas kepala	5,00 - 10,00	
5. Seluruh anggota badan terbatas	Bekerja di lorong-lorong pertambangan yang sempit	10,00 - 15,00	
D. Kelelahan mata		Pencahayaannya	
		Baik	Buruk
1. Pandangan anggota-anggota badan terbatas	Membaca alat ukur	0	1
2. Pandangan yang hampir terus menerus	Pekerjaan-pekerjaan yang teliti	2	2
3. Pandangan terus menerus dengan fokus berubah-ubah	Memeriksa cacat pada kain	2	3
4. Pandangan terus menerus dengan fokus tetap	Pemeriksaan yang teliti	4	4
E. Keadaan temperatur tempat kerja			
	Temperatur (°C)	Normal	Maksimal
1. Beku	Di bawah 0	Diatas 10	Diatas 12
2. Rendah	0 - 13	0,00 - 10,00	5,00 - 12,00
3. Sedang	13 - 22	0,00 - 5,00	0,00 - 8,00
4. Normal	22 - 28	0,00 - 5,00	0,00 - 8,00

Tabel 2.3 Nilai Kelonggaran Berdasarkan Faktor Yang Berpengaruh (lanjutan)

5. Tinggi	28 - 38	5,00 - 4,00	8,00 - 100,00
6. Sangat tinggi	Diatas 38	Diatas 40	Diatas 100
F. Keadaan atmosfer			
1. Baik	Ruangan yang berventilasi baik, udara segar	0	
2. Cukup	Ventilasi debu-debu beracun, atau tidak beracun tetapi banyak	0,00 - 5,00	
3. Kurang baik	Adanya debu-debu beracun, atau tidak beracun tetapi banyak	5,00 - 10,00	
4. Buruk	Adanya bau-bauan berbahaya yang mengharuskan menggunakan alat-alat pernapasan	10,00 - 20,00	
G. Keadaan lingkungan yang baik			
1. Bersih sehat, cerah dengan kebisingan rendah		0	
2. Siklus kerja berulang-ulang antara 5 - 10 detik		0,00 - 1,00	
3. Siklus kerja berulang-ulang antara 0 - 5 detik		1,00 - 3,00	
4. Sangat bising		0,00 - 5,00	
5. Jika faktor-faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas		0,00 - 5,00	
6. Terasa adanya getaran pada lantai		5,00 - 10,00	
7. Keadaan-keadaan yang luar biasa (bunyi, kebersihan, dll)		5,00 - 10,00	

(Sumber: Sutalaksana, Iftikar Z, ct. al., Teknik Tata Cara Kerja, hal. 160)

2. Kelonggaran untuk kelelahan

Kelonggaran yang diberikan kepada operator untuk menghindari kelelahan akibat bekerja secara terus menerus. Faktor-faktor yang berpengaruh dalam

menentukan besarnya kelonggaran ini seperti tenaga yang diperlukan, sikap kerja, dan sebagainya. Kelonggaran jenis ini juga dapat dilihat pada Tabel 2.3.

3. Kelonggaran untuk penundaan

Dalam melaksanakan pekerjaannya, pekerja tidak akan lepas dari berbagai hambatan. Ada hambatan yang dapat dihindarkan seperti mengobrol yang berlebihan dan menganggur dengan sengaja, ada pula hambatan yang tidak dapat dihindarkan karena berada diluar kemampuan pekerja. Beberapa contoh yang termasuk kedalam hambatan tak terhindarkan adalah:

- Menerima atau meminta petunjuk kepada pengawas,
- Mengasah peralatan potong,
- Mengambil alat-alat khusus atau bahan-bahan khusus dari gudang,
- Hambatan-hambatan karena kesalahan pemakaian alat maupun bahan, dan
- Mesin berhenti karena matinya aliran listrik atau karena rusak.

Besarnya hambatan untuk kejadian-kejadian diatas sangat bervariasi dari suatu pekerjaan ke pekerjaan lain bahkan dari satu stasiun kerja ke stasiun kerja lain karena banyaknya penyebab seperti mesin, kondisi mesin, prosedur kerja, ketelitian suplai alat dan sebagainya.

Langkah pertama adalah menentukan besarnya kelonggaran untuk ketiga hal diatas, yaitu untuk kebutuhan pribadi, menghilangkan rasa lelah, dan hambatan yang tak terhindarkan. Dua hal yang pertama antara lain dapat diperoleh dari Tabel 2.3, yaitu dengan memerhatikan kondisi-kondisi yang sesuai dengan pekerjaan yang bersangkutan berdasarkan pengamatan langsung di lapangan. Untuk yang ketiga dapat diperoleh melalui pengukuran khusus seperti *sampling* pekerjaan. Kesemuanya, yang biasanya masing-masing dinyatakan dalam presentase dijumlahkan dan kemudian mengalikan jumlah ini dengan waktu normal yang telah dihitung sebelumnya. Berikut adalah penjelasan rumusnya:

Rumus waktu normal:

$$\text{Waktu Normal (W}_n\text{)} = \text{Waktu Rata-Rata } (\bar{X}) \times \{1 + \text{Penyesuaian (p)}\} \dots\dots\dots (2.6)$$

Rumus waktu standar:

$$\text{Waktu Standar (W}_s\text{)} = W_n \times \frac{100\%}{100\% - \% \text{ kelonggaran}} \dots\dots\dots (2.7)$$

2.3 Keseimbangan Lintasan

2.3.1 Pengertian Lintasan Produksi

Lintasan produksi dapat diartikan sebagai pengaturan area-area kerja dimana fasilitas seperti mesin, alat, dan operasi-operasi manual diletakkan berdekatan secara berurutan satu dengan yang lainnya serta dimana material bergerak secara kontinyu sampai seluruh pekerjaan selesai.

Sejumlah persyaratan yang perlu diperhatikan untuk menunjang kelangsungan lintasan produksi yang baik adalah:

- Jumlah atau *volume* produksi harus dapat menutup biaya *set up* lintasan,
- Keseimbangan waktu kerja untuk masing-masing operasi (stasiun kerja), dan
- Kontinuitas aliran dari material produksi harus terjamin.

2.3.2 Keseimbangan Lintasan Produksi

Keseimbangan lintasan adalah suatu metode untuk mengatur/meng-*arrange* sejumlah elemen kerja dalam suatu proses produksi untuk dialokasikan kepada sejumlah *workstation* (stasiun kerja) yang tersedia sehingga waktu produksi yang dibutuhkan untuk setiap stasiun kerja mendekati waktu siklus lintasan produksi. Apabila semua elemen-elemen kerja dapat dikelompokkan agar waktu dari setiap stasiun kerja sama, maka akan diperoleh keseimbangan lintasan produksi yang baik. Namun, persoalan pada perancangan keseimbangan lintasan produksi ini adalah bagaimana mendistribusikan elemen-elemen kerja yang dibutuhkan pada stasiun kerja untuk mendapatkan optimasi lintasan. Optimasi disini bermaksud kepada memaksimalkan efisiensi lintasan dan meminimalkan

balance delay antar stasiun kerja. Apabila waktu dari setiap stasiun kerja tidak sama, maka stasiun yang mempunyai waktu proses yang paling lamalah yang menentukan *production rate* dari lintasan tersebut.

Untuk menunjang kegiatan perancangan lintasan produksi, perlu diketahui juga istilah-istilah yang digunakan, yaitu:

1. Elemen kerja

Elemen kerja merupakan penjelasan pekerjaan dalam setiap *workstation* produksi.

2. Stasiun kerja (*workstation*)

Stasiun kerja adalah lokasi pada lintasan produksi dimana pekerjaan diselesaikan baik secara manual maupun otomatis.

3. Total waktu pengerjaan

Jumlah dari seluruh waktu pengerjaan setiap elemen pekerjaan dalam satu lintasan.

4. Waktu proses/siklus stasiun kerja

Sejumlah elemen pekerjaan yang diselesaikan dalam suatu stasiun kerja yang terdiri dari satu elemen pekerjaan atau lebih. Waktu proses dalam stasiun kerja merupakan penjumlahan dari seluruh waktu pengerjaan dari setiap elemen kerja yang berada dalam stasiun kerja tersebut.

5. *Precedence constraints*

Dalam menyelesaikan suatu elemen pekerjaan seringkali terdapat urutan pengerjaan yang harus terpenuhi sebelumnya agar elemen itu dapat dijalankan. Beberapa tipe pembatas dalam penyeimbangan lintasan, yaitu:

- Pembatas proses pengerjaan

Pembatas proses pengerjaan adalah pengerjaan yang sudah ditentukan, misalnya suatu proses tidak mungkin dikerjakan bila proses sebelumnya belum

dikerjakan. Urutan proses dan ketergantungannya digambarkan dalam suatu *Precedence Diagram*.

- Pembatas fasilitas

Pembatas ini muncul akibat adanya fasilitas/mesin yang tidak dapat dipindahkan/dialokasikan ke stasiun kerja yang lain.

6. *Precedence diagram*

Precedence diagram merupakan suatu gambaran secara grafis dari suatu urutan pekerjaan yang memperlihatkan keseluruhan operasi pekerjaan dan ketergantungan masing-masing operasi pekerjaan tersebut. *Precedence diagram* memperlihatkan elemen pekerjaan tertentu tidak dapat dikerjakan sebelum elemen pekerjaan yang mendahuluinya dikerjakan terlebih dahulu.

2.3.3 Rumus Parameter-Parameter Lintasan Produksi

2.3.3.1 Waktu Siklus

Waktu siklus adalah lamanya waktu maksimum operasi pekerjaan pada lintasan produksi. Waktu siklus dirumuskan sebagai berikut:

$$C = \frac{H}{P} \dots\dots\dots (2.8)$$

Dimana:

C = Waktu siklus lintasan produksi per unit

H = Waktu produksi yang tersedia per satuan waktu

P = Jumlah produksi per satuan waktu

Panjang waktu siklus biasanya ditetapkan sesuai dengan tingkat efisiensi yang diinginkan. Walaupun begitu terdapat batasannya, yaitu waktu siklus tidak boleh lebih kecil dari waktu masing-masing elemen kerja yang ada, tetapi harus lebih kecil dari waktu proses total.

2.3.3.2 Jumlah Stasiun Kerja Minimum Yang Dibutuhkan

Jumlah stasiun kerja minimum dirumuskan sebagai berikut:

$$K_{min} = \frac{\text{total waktu siklus stasiun kerja}}{C} \dots\dots\dots (2.9)$$

Dimana:

K_{min} = Jumlah stasiun kerja minimum

C = Waktu siklus lintasan produksi

Jika perhitungan tersebut tidak bulat, maka hasilnya dibulatkan ke atas.

2.3.3.3 Balance Delay Dan Efficiency

Balance delay dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Balance Delay} = \frac{(n \times CT) - \sum_{i=1}^n t_i}{(n \times CT)} \times 100\% \dots\dots\dots (2.10)$$

Atau dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Balance Delay} = 100\% - \text{Efisiensi Lintasan} \dots\dots\dots (2.11)$$

Sedangkan, efisiensi lintasan produksi dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Efisiensi Lintasan} = \frac{\sum C_{WS}}{n_{WS} \times C} \times 100\% \dots\dots\dots (2.12)$$

Dimana:

$\sum C_{WS}$ = Total waktu siklus stasiun kerja

n_{WS} = Jumlah stasiun kerja

C = Waktu siklus lintasan produksi

2.3.3.4 Idle Time

Idle time adalah selisih antara waktu stasiun kerja dengan waktu siklus. *Idle time* menentukan seberapa besar waktu menganggur/menunggu antar stasiun

kerja. *Idle time* merupakan salah satu kriteria untuk mengatur kinerja guna menentukan keseimbangan dari suatu lintasan produksi, yang dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{Idle Time stasiun kerja ke } i = C - T_i \dots\dots\dots(2.13)$$

Dengan T_i adalah waktu kerja stasiun ke-i.

Keseimbangan sempurna adalah kondisi pada suatu lintasan produksi dimana terdapat *zero idle time*.

2.3.3.5 Smoothness Index

Smoothness Index (SI) adalah suatu indeks yang menunjukkan kelancaran relatif dari suatu keseimbangan lini perakitan. Suatu *Smoothness Index* dikatakan sempurna apabila nilainya sama dengan nol atau disebut juga *perfect balance*.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2} \dots\dots\dots(2.14)$$

Dimana:

n = Jumlah stasiun kerja.

C = Waktu siklus lintasan produksi.

C_{WS_i} = Waktu siklus stasiun kerja ke-i.

2.3.4 Metode Penyeimbangan Lintasan

Metode-metode yang sering digunakan dalam menyeimbangkan lintasan perakitan adalah:

1. Metode manual

Maksud dari metode manual adalah tidak menggunakan alat bantu seperti komputer. Metode ini menggunakan pendekatan heuristik dengan menggunakan aturan-aturan yang logis dalam memecahkan masalah daripada pembuktian secara

matematis. Metode ini memang tidak menjamin hasil yang optimal, akan tetapi dirancang untuk menghasilkan strategi yang relatif lebih baik dan mendekati hasil optimal. Beberapa metode umum heuristik yang dikenal antara lain:

- Metode pengurutan waktu terbesar (*largest candidate rule*),
- Metode pendekatan daerah (*region approach*), dan
- Metode bobot posisi peringkat (*ranked positional weight*).

2. Metode komputerisasi

Metode ini menggunakan bantuan komputer dalam menyeimbangkan lintasan peraktian. Salah satu metode komputer yang sering digunakan COMSOAL (*Computer Method of Sequencing Operation for Assembly Line*).

2.3.4.1 Metode Largest Candidate Rule

Menurut *Groover* (2001), dalam metode ini, elemen kerja diatur secara *descending* (dari nilai paling besar ke paling kecil) berdasarkan nilai C_{WS_i} . Metode ini terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut:

1. Buat *precedence diagram*,
2. Urutkan waktu operasi pada masing-masing elemen kerja dari yang terbesar ke yang terkecil secara urut,
3. Tentukan waktu siklus (C),
4. Tugaskan elemen kerja pada pekerja di stasiun kerja 1 dengan memulai dari daftar paling atas dan memilih elemen kerja pertama yang memenuhi persyaratan *precedence* dan tidak menyebabkan jumlah total C_{WS_i} pada stasiun kerja tersebut melebihi nilai C yang diizinkan. Ketika elemen kerja sudah dipilih untuk ditugaskan pada stasiun kerja, telusuri kembali dari daftar paling atas untuk penugasan selanjutnya,
5. Ketika tidak ada lagi elemen kerja yang dapat ditugaskan tanpa melebihi nilai C, lanjutkan ke stasiun kerja berikutnya,

6. Ulangi langkah 4 dan 5 untuk semua stasiun kerja sampai semua elemen kerja telah ditugaskan.

2.3.4.2 Metode Bobot Posisi Peringkat⁴

Metode yang dikenal sebagai *Ranked Positional Weight* ini merupakan metode line balancing yang paling umum digunakan karena lebih efisien, fleksibel, dan mudah untuk diimplementasikan (Hsiu-Hsueh Kao, 2011). Metode ini dikerjakan dengan menentukan posisi peringkat (*positional weight*) untuk setiap elemen pekerjaan dalam satu lintasan produksi. Kemudian dari *positional weight* tersebut akan diurutkan sesuai dengan *positional weight* yang paling tinggi ke paling rendah. Dari urutan tersebut akan dirancang sejumlah elemen pekerjaan dalam satu *workstation* dengan memperhatikan urutan proses dari elemen-elemen tersebut agar tidak mengganggu urutan produksi (urutan *precedence*) dari suatu barang. Berikut dibawah ini adalah langkah-langkah yang berhubungan dengan metode Helgesson-Birnie (*Ranked Positional Weight*):

1. Buatlah *precedence network* dengan cara normal,
2. Tentukan posisi peringkat (*positional weight*) untuk setiap elemen kerja (posisi peringkat merupakan urutan operasi yang berhubungan pada waktu alur terpanjang dari awal operasi hingga akhir jaringan),
3. Urutkan elemen-elemen kerja berdasarkan posisi peringkat pada langkah 2. Elemen kerja dengan posisi peringkat paling tinggi urutkan paling pertama,
4. Proses penempatan elemen-elemen kerja pada stasiun kerja, dimana elemen kerja dengan posisi peringkat dan urutan paling tinggi yang ditempatkan pertama,
5. Jika pada stasiun kerja ada sisa waktu setelah menempatkan sebuah operasi, tempatkan operasi dengan urutan selanjutnya pada stasiun kerja,

⁴ Elsayed A. Elsayed dan Thomas O. Boucher: Analysis And Control of Production Systems, 1994, hal. 360

sepanjang operasi tidak melanggar hubungan *precedence*, waktu stasiun kerja tidak melebihi waktu siklus,

6. Ulangi langkah 4 dan 5 sampai semua elemen kerja ditempatkan pada stasiun kerja.

2.3.4.3 Metode Pendekatan Wilayah (*Region Approach*)⁵

Metode yang dikembangkan oleh Bedworth ini tetap tidak akan menghasilkan solusi optimal, tetapi solusi yang dihasilkannya sudah cukup baik dan mendekati optimal. Pada prinsipnya, metode ini berusaha membebankan terlebih dahulu pada operasi yang memiliki tanggung jawab keterdahuluan yang besar. Langkah-langkah penyelesaian dengan metode pendekatan wilayah (*region approach*) adalah sebagai berikut:

1. Hitung waktu siklus yang diinginkan. Waktu siklus aktual adalah waktu siklus yang diinginkan atau waktu elemen kerja terbesar jika waktu elemen kerja terbesar itu lebih besar dari waktu siklus yang diinginkan,
2. Bagi jaringan kerja kedalam wilayah-wilayah dari kiri ke kanan. Gambar ulang jaringan kerja, tempatkan seluruh pekerjaan di daerah paling ujung sedapat-dapatnya,
3. Dalam tiap wilayah, urutkan pekerjaan mulai dari waktu elemen kerja terbesar sampai dengan waktu elemen kerja terkecil,
4. Bebankan pekerjaan dengan urutan sebagai berikut (perhatikan pula untuk menyesuaikan diri terhadap batas wilayah):
 - Daerah paling kiri terlebih dahulu.
 - Antar wilayah, bebaskan pekerjaan dengan waktu elemen kerja terbesar pertama.
5. Pada akhir tiap pembebanan stasiun kerja, tentukan apakah utilisasi waktu tersebut telah dapat diterima. Jika tidak, periksa seluruh pekerjaan yang

⁵ Arman Hakim Nasution, *Perencanaan dan Pengendalian Produksi*, 1999, hal. 150-153

memenuhi hubungan ketekaitan dengan elemen kerja yang telah dibebankan. Putuskan apakah pertukaran pekerjaan-pekerjaan tersebut akan meningkatkan utilisasi waktu stasiun kerja. Jika ya, lakukan perubahan tersebut. Penugasan pekerjaan selanjutnya menjadi lebih tetap.

2.4 Simulasi

2.4.1 Definisi Simulasi

Menurut Schriber (1987), simulasi adalah suatu aktivitas memodelkan suatu proses atau sistem sedemikian sehingga model yang dibuat memiliki respon yang menyerupai sistem aktual terhadap kejadian-kejadian yang terjadi seiring berjalannya waktu. Model yang akan digunakan pada penelitian ini menggunakan model komputer. Simulasi dengan komputer umumnya dibuat dengan menggunakan perangkat lunak simulasi komersial yang memiliki sistem konstruksi model yang dirancang secara spesifik untuk menangkap perilaku dari suatu sistem. Pada umumnya perangkat lunak simulasi modern mampu memberikan gambaran secara realistik mengenai perilaku sistem dengan memungkinkan adanya animasi grafis.

Ide awal dari simulasi adalah untuk meniru situasi dunia nyata secara matematis, kemudian mempelajari sifat dan karakteristiknya, dan pada akhirnya kesimpulan dapat ditarik dari hasil simulasi tersebut. Kesimpulan tersebut akan digunakan oleh *user* untuk alat bantu pengambilan keputusan untuk kedepannya. Dengan cara tersebut, sistem yang terdapat dalam dunia nyata tidak diubah hingga keputusan dari hasil simulasi tersebut muncul.

Selama jalannya simulasi, *user* dapat secara interaktif mengatur kecepatan simulasi yang dijalankan dan bahkan melakukan perubahan pada nilai parameter model sebagai kebutuhan untuk melakukan analisis, seperti analisis "*what-if*". Bagaimanapun, simulasi hanyalah sebuah *tool* untuk memudahkan *user* dalam mengubah parameter-parameter yang berhubungan. Oleh karena itu, optimasi ini tidak terjadi karena simulasi itu sendiri, melainkan karena adanya skenario-skenario yang memenuhi kendala-kendala kemungkinan yang ada sehingga model

dapat dijalankan secara otomatis dan dianalisa dengan menggunakan algoritma mencapai tujuan secara khusus.

2.4.2 Tujuan Simulasi

Simulasi menyediakan suatu cara untuk memvalidasi apakah suatu keputusan yang telah dibuat merupakan keputusan yang terbaik. Simulasi menghindarkan akan metode tradisional yang mahal, memakan waktu, dan menghabiskan banyak sumber daya. Dengan penekanan pada kondisi yang ada sekarang ini, metode pengambilan keputusan tradisional dengan cara *trial-and-error* sudah dianggap tidak sesuai lagi.

Kemampuan simulasi terletak pada fakta bahwa simulasi menyediakan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif, tetapi juga secara akurat mampu mengevaluasi kinerja dari suatu sistem, bahkan sistem yang paling kompleks sekalipun. Dengan kondisi persaingan pasar saat ini yang menuntut “*getting it right the first time*”, pentingnya simulasi menjadi semakin jelas agar tidak dilakukan permulaan yang keliru.

Simulasi dengan menggunakan komputer memungkinkan *user* untuk dapat menghindari kesalahan-kesalahan yang mungkin dapat terjadi selama proses implementasi *improvement*. Selain itu, *improvement* dari hasil simulasi dibandingkan dengan metode tradisional yang dapat memakan waktu berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dapat dicapai dengan cepat. Hal ini dimungkinkan karena simulasi berjalan dalam waktu yang dapat diatur oleh *user* sehingga proses simulasi dapat ditekan hingga mencapai hitungan jam, menit, bahkan detik.

Karakteristik dari suatu simulasi yang menyebabkan simulasi dianggap sebagai *tool* yang efektif untuk perencanaan dan pengambilan keputusan antara lain adalah sebagai berikut:

- Kemampuan menangkap saling ketergantungan didalam sistem,
- Kemampuan menggambarkan variasi didalam sistem,
- Kemampuan menunjukkan perilaku terhadap waktu,

- Memakan biaya dan waktu yang lebih rendah serta menggunakan sumber daya yang lebih efisien dibandingkan dengan metode tradisional yang melakukan eksperimen secara langsung pada sistem aktual,
- Kemampuan visual yang menarik dan memancing keingintahuan dari orang-orang,
- Kemampuan menyajikan hasil yang mudah dimengerti dan mudah dikomunikasikan, dan
- Kemampuan untuk mengkompresikan waktu.

Simulasi memberikan kebebasan bagi perencana sistem untuk mencoba berbagai macam ide yang berbeda untuk *improvement* dengan resiko yang nihil, yakni tidak menimbulkan biaya, tidak memakan waktu, dan tidak menimbulkan gangguan terhadap sistem aktual yang ada. Simulasi juga mampu menyajikan hasil secara visual dan kuantitatif dengan statistik yang tercatat secara otomatis dengan menggunakan bermacam-macam metrik pengukuran. Simulasi juga dapat dikerjakan dengan informasi yang tidak akurat (bisa dalam bentuk asumsi), tetapi simulasi tidak dapat dibuat dengan data yang tidak lengkap.

2.4.3 Penggunaan Simulasi

Simulasi hampir selalu dilaksanakan sebagai bagian dari proses dalam perancangan sistem atau perbaikan proses yang besar. Alternatif-alternatif solusi akan dihasilkan dan kemudian akan dievaluasi, setelah itu solusi yang terbaik akan dipilih dan diimplementasikan.

Simulasi pada dasarnya adalah sebuah *tool* yang digunakan untuk kegiatan eksperimentasi dimana model komputer dari sistem yang baru atau sistem yang sudah ada dibuat dengan tujuan untuk melakukan eksperimen. Model ini berperan sebagai pengganti sistem yang sebenarnya. Pengetahuan yang diperoleh dengan melakukan eksperimen pada model dapat ditransfer ke sistem yang sebenarnya.

2.4.4 Keuntungan dan kerugian dalam menggunakan simulasi⁶

Simulasi meniru apa yang terjadi dalam dunia nyata atau lebih lanjut lagi dapat memperkirakan apa yang akan terjadi pada sistem nyata. Data *output* dari sebuah simulasi dapat berhubungan langsung dengan *output* yang ditampilkan dalam dunia nyata. Disamping banyaknya keuntungan menggunakan simulasi, ada karakteristik utama yang *user* harus perhatikan, yaitu bahwa karakteristik model simulasi lebih kepada hanya *me-run problem* dibandingkan *me-solved problem*. Oleh karena itu, dibutuhkan pemikiran analitik yang bagus serta kemampuan desain model yang mendekati kondisi nyata dalam seorang pengembang model simulasi. Untuk lebih jauh, berikut akan dijelaskan beberapa keuntungan dan kerugian dalam menggunakan simulasi.

Keuntungan menggunakan simulasi:

1. Berbagai kebijakan, prosedur operasi, *information flow*, dan lain-lain dapat di kaji secara mendalam tanpa mengganggu operasi dari sistem nyata.
2. Waktu simulasi dapat dikompres maupun dijauhkan rentangnya untuk memungkinkan menambah dan mengurangi kecepatan sehingga pengkajian terhadap fenomena yang terjadi dapat dilakukan secara mendalam.
3. Simulasi dapat memberikan pengetahuan tentang bagaimana sebuah sistem seharusnya berjalan, bukan bagaimana berdasarkan pemikiran subyektif seseorang.

Sedangkan kerugian dalam menggunakan simulasi dijelaskan berikut ini:

1. Pengembangan model simulasi membutuhkan pelatihan yang intensif.
2. Kadangkala hasil dari simulasi sulit untuk dipahami
3. Model simulasi dan analisisnya dapat memakan waktu yang lama dan membutuhkan biaya yang cukup mahal.

⁶Banks, Jerry et. al., *Discrete-Event System Simulation*, 4th edition, (Prentice Hall International Series., 2005), halaman 5

2.4.5 Jenis-Jenis Simulasi

Cara simulasi bekerja didasarkan terutama pada jenis dari simulasi yang digunakan. Terdapat banyak pemahaman dalam mengkategorikan simulasi. Beberapa pemahaman yang umum adalah simulasi statis atau simulasi dinamis, simulasi stokastik atau simulasi deterministik, serta simulasi diskrit atau simulasi kontinyu.

A. *Static versus dynamic simulation*

Simulasi statis adalah simulasi yang tidak didasarkan atas waktu. Simulasi ini seringkali melibatkan *random sampling* untuk menghasilkan hasil statistik sehingga simulasi ini kerap kali disebut dengan simulasi *Monte Carlo*. Simulasi ini biasa digunakan dalam menghitung nilai portofolio.

Sebaliknya, simulasi dinamis mengikutsertakan didalamnya aliran waktu. Keadaan yang ada didalam sistem akan berubah seiring dengan jalannya waktu. Karena sifat ini, simulasi dinamis lebih tepat untuk digunakan untuk menganalisa sistem manufaktur yang kontinyu dan sistem jasa dibandingkan dengan simulasi statis.

B. *Stochastic versus deterministic simulation*

Simulasi dimana satu atau lebih variabel *input* didalamnya bersifat *random* disebut dengan simulasi stokastik atau probabilistik. Simulasi stokastik menghasilkan *output* yang juga bersifat *random* dan karenanya hanya memberikan satu *data point* mengenai bagaimana perilaku dari sistem.

Sementara itu, simulasi yang tidak mempunyai komponen *input* yang bersifat *random* dapat dikatakan sebagai simulasi deterministik. Model simulasi deterministik pada umumnya serupa dengan model stokastik, hanya saja model simulasi deterministik tidak memiliki *randomness*.

Simulasi deterministik memiliki *input* konstan dan menghasilkan *output* yang konstan pula. Sementara itu, simulasi stokastik memiliki *input* yang *random* dan menghasilkan *output* yang *random* pula.

Simulasi deterministik akan selalu mengeluarkan hasil yang sama tidak peduli berapa kali simulasi itu dijalankan. Dalam simulasi stokastik, beberapa replikasi harus dibuat untuk memperoleh perkiraan kinerja yang akurat karena setiap replikasi bervariasi antara satu dengan lainnya secara statistik. Estimasi kinerja dari simulasi stokastik diperoleh dengan menghitung nilai rata-rata dari metrik kinerja yang ada diantara replikasi-replikasi. Sebaliknya, simulasi deterministik hanya perlu dijalankan satu kali untuk memperoleh hasil yang akurat karena hasil yang diperoleh akan selalu sama.

C. *Open systems versus closed systems simulation*⁷

Simulasi yang berbasis “closed” berarti kondisi sistem tersebut berubah dipengaruhi hanya aktivitas di dalam sistem tersebut. Maksudnya adalah simulasi dalam sistem tersebut bekerja dalam keadaan yang “terisolasi”, *output* dari sistem tersebut mempengaruhi *input* awal. Sedangkan sistem yang berbasis “open” berarti kondisi sistem tersebut berubah dipengaruhi oleh aktivitas didalam dan diluar sistem tersebut. *Output* dari system “open” tidak mempengaruhi *input* awal sistem.

D. *Discrete-event versus continuous simulation*

Sebuah simulasi diskrit adalah simulasi dimana perubahan keadaan terjadi pada suatu titik waktu tertentu yang dipicu oleh sebuah kejadian. Misalkan perubahan dalam system terjadi akibat adanya kedatangan barang, kerusakan mesin, maupun penambahan fasilitas/mesin dan pekerja yang melakukan proses.

Sedangkan pada simulasi kontinyu keadaan berubah terus menerus sejalan dengan perubahan waktu. Misalnya suhu yang turun terus menerus pada malam hari dan suhu yang naik terus menerus pada siang hari.

E. *Flow based oriented simulation*

Simulasi *flow based oriented* adalah simulasi dimana langkah-langkah prosesnya berjalan satu demi satu dan keseluruhan obyeknya cenderung pasif. Ini

⁷Pooch, Udo W and Wall, James A, Discrete Event Simulation: A Practical Approach, (CRC Press Inc., 2000), halaman 4

artinya bahwa tidak terdapat komunikasi antara satu obyek dengan obyek lainnya. Simulasi jenis ini cocok untuk diterapkan kepada system produksi massal dan hanya berfokus kepada satu obyek dimana hanya memerlukan satu aliran proses.

F. Object oriented simulation

Sebuah simulasi yang berbasis obyek terdiri atas satu set obyek yang berinteraksi satu sama lain dari waktu ke waktu. Simulasi jenis ini mudah untuk melihat dunia nyata sebagai satu set obyek. Contohnya dalam sistem manufaktur: benda, material, mesin, pekerja, konveyor, jadwal, dan lain-lain. Simulasi berbasis obyek memungkinkan pemetaan satu-ke-satu antara obyek dalam system manufaktur yang dimodelkan dan abstraksi mereka dalam model simulasi (Narayanan et. al., 1998).

Permodelan berbasis obyek pada dasarnya dibangun terpisah pada empat abstraksi perangkat lunak yang mendasar, yaitu: material, lokasi, *controller*, dan rencana proses. Fungsi dari lokasi adalah tempat untuk memproses material. Rencana proses menentukan operasi yang dilakukan untuk upaya penurunan bagian-bagian tertentu. *Controller* adalah entitas-*event* yang merespon perubahan dalam domain mereka. Semua pendekatan kegiatan terpisah tersebut disadari untuk memberikan kebutuhan penilaian yang terkait dengan pengambilan keputusan dari kegiatan lain yang terkait dengan transformasi fisik atau pengolahan data. Selain itu, dibawah ini akan dijelaskan berbagai keuntungan dalam penggunaan simulasi berbasis obyek:

1. Kemampuan untuk mempertahankan dan menerapkan perubahan dalam program yang lebih cepat dan efisien,
2. Kemampuan untuk lebih efektif menciptakan sistem dengan menggunakan proses tim, yang memungkinkan spesialisasi pekerjaan dari sistem,
3. Kemampuan untuk menggunakan kembali program-program (*syntax*) yang telah digunakan sebelumnya ataupun yang berasal dari pihak ketiga,
4. Terintegrasi lebih baik dengan sistem komputasi terdistribusi,

5. Peningkatan integrasi dengan sistem operasi modern, dan
6. Kemampuan untuk membuat *user interface* yang lebih menarik dan mudah digunakan bagi *user*.

2.4.6 Verifikasi dan validasi

Sebelum menggunakan model hasil simulasi, diperlukan suatu tahapan yang disebut verifikasi dan validasi. Kedua tahapan ini berguna agar didapat suatu kepastian bahwa model simulasi yang telah kita buat sebelumnya dapat benar-benar menggambarkan situasi/keadaan dunia nyata sehingga informasi yang didapat dari model juga akurat.

A. Verifikasi

Verifikasi merupakan proses untuk menentukan apakah model hasil simulasi telah beroperasi sesuai dengan yang diinginkan. Beberapa cara untuk melakukan verifikasi model dijelaskan sebagai berikut:

- a. Melakukan pengecekan pada kode model,
- b. Memeriksa masuk akal nya *output*,
- c. Mengamati tingkah laku sistem dalam animasi *software*, dan
- d. Menggunakan fungsi *trace* dan *debug* pada *software* untuk mendapatkan keadaan model yang tidak dapat terlihat melalui animasi.

B. Validasi

Validasi merupakan proses untuk menentukan apakah model telah mencerminkan keadaan nyata secara akurat (Hoover dan Perry, 1990). Beberapa cara yang dilakukan dalam validasi model adalah:

- a. Melakukan pengamatan pada animasi untuk dibandingkan dengan keadaan dunia nyata,
- b. Membandingkan sistem aktual,
- c. Membandingkan dengan model lain yang telah valid,

- d. Melakukan uji degenerasi untuk melihat apakah sifat *output* dari model akan berubah ketika salah satu variabelnya mencapai titik tertentu,
- e. Menggunakan uji kondisi ekstrim seperti dengan menghalau kedatangan pada suatu sistem, dan
- f. Melakukan pengujian terhadap data historis.

2.4.7 Sistem

Sistem dapat didefinisikan sebagai keseluruhan interaksi antar elemen dari sebuah obyek dalam batas lingkungan tertentu yang bekerja untuk mencapai tujuan tertentu. Suatu sistem setidaknya mempunyai empat karakteristik utama, yaitu:

1. Adanya sekumpulan elemen,
2. Adanya interaksi diantara elemen tersebut,
3. Mempunyai tujuan yang dicapai atas interaksi tersebut, dan
4. Situasi dan kondisi yang kompleks.

Suatu sistem didefinisikan sebagai himpunan atau kombinasi dari bagian-bagian yang membentuk sebuah kesatuan yang kompleks. Namun, tidak semua kumpulan disebut sistem apabila tidak adanya kesatuan, interaksi, dan tujuan yang ingin dicapai.

Suatu sistem mempunyai karakteristik atau sifat-sifat tertentu, yaitu:

- a. Komponen-komponen

Merupakan elemen-elemen yang mempunyai karakteristik dan aktivitas yang spesifik.

- b. Batas sistem (*boundary*)

Merupakan daerah yang membatasi antara suatu sistem dengan lingkungan luarnya ataupun dengan sistem yang lain.

- c. Lingkungan luar sistem

Merupakan apapun yang berada diluar batas dari suatu sistem. Lingkungan luar ini mempunyai aktivitas yang dapat mempengaruhi sistem. Pengaruh tersebut bias pengaruh positif (membangun) dan pengaruh negatif (merusak) terhadap suatu sistem.

d. Penghubung

Merupakan media yang menghubungkan antar subsistem. Adanya penghubung ini, sumber daya dapat mengalir dari subsistem satu ke subsistem yang lain.

e. Masukkan

Merupakan energi yang dimasukkan kedalam sistem.

f. Keluaran

Merupakan hasil dari olahan energi dalam sistem dan diklasifikasikan menjadi keluaran yang berguna dan mungkin ada sisa pembuangan.

g. Pengolah

Merupakan suatu tempat didalam sistem dimana aktivitas pengolahan masukan terjadi.

h. Sasaran atau tujuan.

Merupakan hasil yang ingin dicapai oleh sistem tersebut. Suatu sistem dikatakan berhasil apabila mengenai sasaran atau tujuannya.

2.4.8 *Plant simulation*

Tecnomatix Plant Simulation atau yang lebih dikenal dengan nama *Plant Simulation* merupakan salah satu alat bantu yang berbasis *windows* yang dapat mensimulasikan kegiatan sistem produksi dalam suatu perusahaan. Pada pengembangannya, *Plant Simulation* digunakan sebagai alat bantu untuk mengoptimalkan *throughput*, mengurangi kemacetan, dan meningkatkan efisiensi kegiatan dalam proses. *Plant Simulation* juga mempertimbangkan faktor internal

dan eksternal rantai pasokan, sumber-sumber produksi, dan bisnis proses perusahaan, sehingga memungkinkan pengguna untuk mensimulasikan kegiatan dalam variasi yang berbeda-beda. Kesimpulannya, dengan *Plant Simulation* kita dapat membuat simulasi sistem produksi dan menganalisis kegiatan-kegiatan tersebut sehingga nantinya bisa melakukan optimasi dalam sistem tersebut.

Plant Simulation dirancang untuk memberikan kemudahan bagi pengguna, seperti *Engineer* dan *manager* untuk melakukan serangkaian uji coba terhadap sistem yang ada untuk melihat perubahan-perubahan yang mungkin akan terjadi. Dari perubahan-perubahan tersebut, pengguna bisa menganalisis perbaikan-perbaikan yang mungkin bisa diimplementasikan kedalam sistem yang ada. Salah satu perbedaan *Plant Simulation* dibandingkan dengan *software-software* lain, yang juga menjadi daya tarik dari *software* ini adalah mampu untuk membuat simulasi berbasis 3D sehingga mampu untuk menunjukkan presentasi yang lebih baik. Namun, untuk bisa mengoptimalkan penggunaan *software* ini, pengguna harus memiliki dasar untuk melakukan simulasi dengan baik, diantaranya kemampuan analisis, pengetahuan statistik, keahlian teknik, kemampuan menerjemahkan kondisi nyata kedalam model, dan kemampuan untuk mengkomunikasikan hasil simulasi.

Dibawah ini akan diberikan keunggulan-keunggulan lain dari *Plant Simulation*:

1. Mendeteksi dan menganalisis masalah yang hanya sedikit membutuhkan koreksi biaya dan memakan waktu selama produksi,
2. Mengoptimalkan kinerja sistem produksi yang ada dengan mengambil langkah-langkah yang telah diverifikasi dalam lingkungan simulasi sebelum diimplementasikan, dan
3. Dapat disajikan dalam bentuk 3D untuk menambah daya tarik pengguna.

2.5 PERT (*Program Evaluation and Review Technique*)⁸

Di tahun 1958, *Special Office* dari Navy and Booze, Allen, dan Hamilton Consulting mengembangkan konsep PERT untuk membuat jadwal pengerjaan proyek kepada lebih dari 3.300 kontraktor dari proyek Polaris Submarine dan untuk menghadapi ketidakpastian dalam estimasi waktu proyek.

PERT menggunakan tiga estimasi waktu untuk setiap aktivitas. Hal ini maksudnya setiap aktivitas yang dihitung bisa mempunyai jarak (*range*) dari waktu optimis sampai ke waktu pesimis, dan juga rata-ratanya. Karena aktivitas proyek biasanya merepresentasikan pekerjaan (*work*), dan juga karena pekerjaan tersebut cenderung untuk tertinggal dari waktu penyelesaian proyek apabila telah tertinggal sebelumnya, PERT menggunakan pendekatan dari *beta distribution* untuk merepresentasikan durasi dari proyek tersebut. Distribusi ini dikenal mempunyai karakteristik yang fleksibel dan dapat mengakomodir data empiris yang tidak mengikuti distribusi normal.

Weighted average dari waktu aktivitas (t_e) dihitung sebagai berikut:

$$t_e = \frac{a+4m+b}{6} \dots\dots\dots(2.15)$$

Keterangan:

t_e = *Weighted average* dari waktu aktivitas

a = Waktu optimis (*optimistic time*)

b = Waktu pesimis (*pesimistic time*)

m = Waktu yang sering keluar (*most likely time*)

Standar deviasi dari waktu aktivitas bisa didapat melalui pendekatan dari dua persamaan dibawah ini. Persamaan yang pertama:

$$\sigma_{t_e} = \left(\frac{b-a}{6} \right) \dots\dots\dots(2.16)$$

⁸ Clifford F. Gray and Erik W. Larson, *Project Management: The Managerial Process*, 2000, hal. 160-162

Persamaan ini merupakan standar deviasi dari aktivitas. Sedangkan persamaan yang kedua:

$$\sigma_{T_E} = \sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2} \dots\dots\dots(2.17)$$

Persamaan ini merupakan standar deviasi dari proyek.

Selanjutnya durasi rata-rata dari proyek (T_E) adalah penjumlahan dari semua waktu aktivitas sepanjang *critical path*. Dari persamaan-persamaan diatas kita bisa menghitung nilai Z dengan memasukkan durasi rata-rata dari proyek (T_E). Nilai ini akan disesuaikan dengan *Z-statistical table* untuk mendapatkan presentase keberhasilan suatu proyek. Berikut ini adalah rumus dari Z :

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}} \dots\dots\dots(2.18)$$

Keterangan:

T_E = *Expected time* dari *critical path*

T_S = Waktu yang diinginkan untuk keberhasilan proyek

Z = Probabilitas keberhasilan proyek

BAB III

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3. Pengumpulan Dan Pengolahan Data

Bab ini berisi tentang tahap-tahap pengumpulan data dari data primer dan data sekunder. Selain itu, pada bab ini juga dijelaskan bagian pengolahan data dimana hasil dari data yang diolah untuk bisa digunakan menjadi masukkan bagi bab-bab selanjutnya.

3.1 Gambaran umum perusahaan

PT Universal Tekno Reksajaya (PT UTR) merupakan salah satu anak perusahaan dari PT United Tractor yang khusus melakukan bisnis remanufaktur terhadap produk yang terpakai. Perusahaan ini merupakan anak perusahaan yang 100% dimiliki oleh PT United Tractor. Perusahaan ini terletak di kawasan industri Bekasi dan terdapat dalam satu kompleks perusahaan PT United Tractor. Perusahaan ini berdiri pada bulan Februari 2007 dengan kapasitas produksi sekitar 25 komponen *Engine* per bulan dan 120 komponen *Non-Engine* per bulan.

Dalam perkembangannya, perusahaan ini tidak hanya berfokus pada Jakarta saja, tetapi terdapat juga di berbagai daerah di Indonesia, seperti:

1. Pekanbaru (untuk remanufaktur mesin yang lebih kecil)

Tahun berdiri: Mei 2006

Kapasitas produksi: 21 komponen per bulan (*Engine*), 48 komponen per bulan (*Non-Engine*)

2. Balikpapan (untuk truk, mesin berukuran sedang, dan *cylinder*)

Tahun berdiri: Agustus 2007

Kapasitas produksi: 25 komponen per bulan (*Engine*), 120 komponen per bulan (*Non-Engine*)

3. Sangatta (untuk mesin elektrik dan mesin bor)

Tahun berdiri: Maret 2010

Kapasitas produksi: 13 komponen per bulan (komponen elektrik), 13 komponen per bulan (komponen mekanik), dan

4. Timika (untuk mesin *hydraulic* dan *haulpak*)

Sedang proses berdiri.

Bisnis perusahaan ini merupakan salah satu bisnis yang berfokus kepada remanufaktur/*recondition* terhadap alat-alat berat, seperti Buldozer dan Excavator. Perusahaan ini memberikan solusi manajemen komponen alat berat agar komponen tersebut dapat teroptimalkan *lifetime*-nya. Fokus produksi remanufaktur pada perusahaan ini adalah barang-barang yang merupakan inti/*core* dari alat berat tersebut, contohnya adalah *Engine, Power Train, Turbocharger, Alternator, Hydraulic Pump*, dan lain-lain. Pelanggan utama perusahaan ini adalah PT Komatsu, Nissan, PT Pama Persada Nusantara, dan perusahaan-perusahaan lain yang menggunakan alat berat sebagai alat bantu produksinya.

Misi perusahaan ini adalah sebagai berikut:

- Membantu konsumen untuk mencapai *lifetime* dan produktivitas komponen yang optimal dengan memberikan solusi manajemen terhadap komponen peralatan.
- Memberikan kesempatan kepada karyawan perusahaan untuk meningkatkan status sosial dan kebutuhan mereka berdasarkan prestasi yang mereka capai.
- Membentuk keuntungan nilai tambah yang *sustainable* untuk semua *stakeholder*.

Sedangkan visi perusahaan ini adalah:

Menjadi perusahaan penyedia solusi manajemen komponen dalam industri alat berat di Asia Pasifik.

Fokus penelitian ini adalah pada produk *Engine*, dimana fungsinya adalah sebagai penggerak utama dalam Hydraulic pada Excavator. Produk ini merupakan komponen yang paling utama dalam alat berat tersebut sehingga produk ini memiliki nilai yang tinggi bagi perusahaan. Oleh karena itu, penulis memilih produk *Engine* sebagai batasan dan fokus penelitian.

Perusahaan ini memiliki total 39 karyawan yang tersebar dalam dua bagian perusahaan. Bagian tersebut adalah *workshop* dan *office*. Untuk bagian *workshop*, dipekerjakan 30 karyawan dan 9 karyawan untuk bagian *office*. Perusahaan ini menerapkan hanya satu *shift* kerja, yaitu selama 8 jam per hari dengan kondisi lembur hingga 3 jam per hari.

Kondisi remanufaktur yang mengalami ketidakpastian dalam hal kualitas dan kuantitas produksi menyebabkan proses produksi dalam PT UTR harus terus dijaga untuk dapat memenuhi permintaan konsumen. Oleh karena itu, perusahaan harus membuat langkah-langkah yang nyata untuk mengantisipasi hal ini. Pemilihan produk yang mempunyai prospek tinggi melalui perhitungan waktu standar dan penataan kembali proses produksi perusahaan akan memberikan perbaikan dalam peningkatan efisiensi dan produktivitas perusahaan dalam memenuhi setiap permintaan konsumen.

Perusahaan menetapkan dalam satu minggu terdapat lima hari jam kerja dengan delapan jam kerja setiap harinya dan hanya terdiri atas satu shift. Proses pembagian waktunya adalah sebagai berikut:

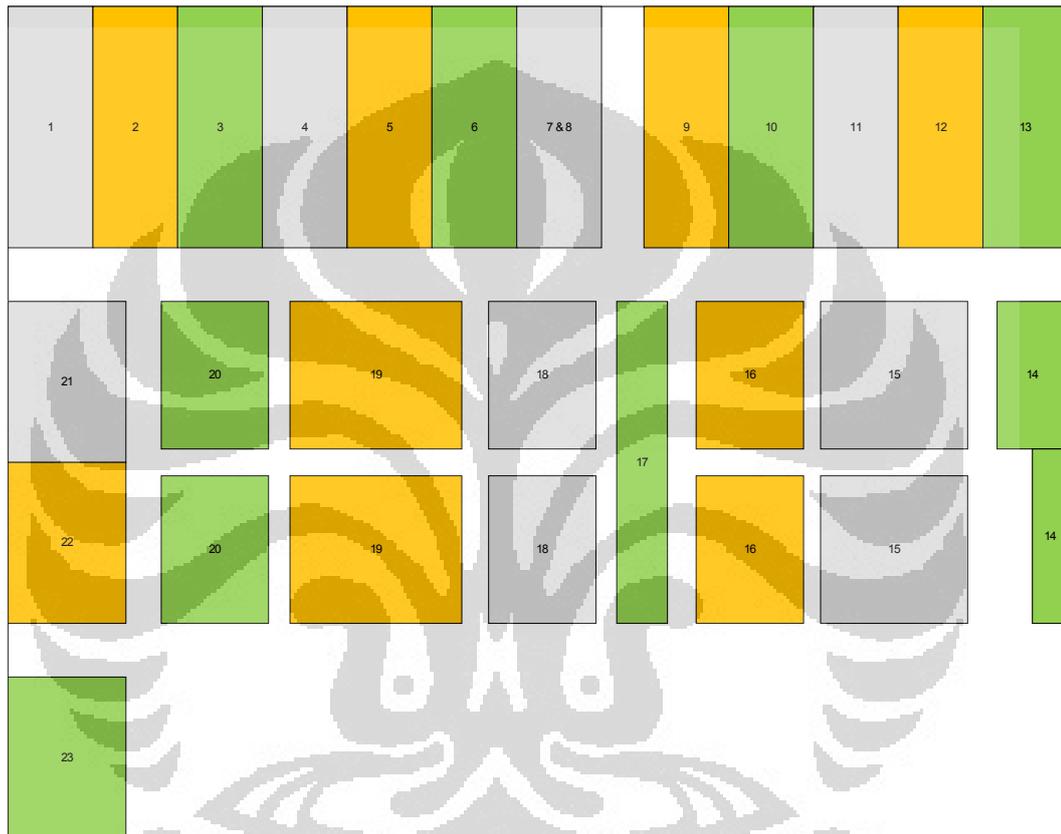
Tabel 3.1 Pembagian Jam Kerja PT UTR

	Senin-Kamis	Jumat
Masuk	Pk. 7.30	Pk.7.30
Istirahat	Pk. 12.00 – 13.00	Pk. 11.30 – 13.00
Keluar	Pk. 16.30	Pk. 17.00

3.2 Ruang lingkup produksi

A. Tata letak produksi

Tata letak produksi disusun menurut aliran proses dan menyesuaikan dengan area yang tersedia. Berikut adalah tata letak produksinya beserta penjelasannya.



Gambar 3.1 Tata Letak Produksi PT UTR

Keterangan:

- | | |
|--------------------------|---|
| 1. Receiving Area | 13. Dyno Room |
| 2. Washing Area | 14. F/Inspection & Completed |
| 3. Disassy Area | 15. <i>Engine</i> Assembly |
| 4. Welding Area | 16. Short Block Area |
| 5. PPM Room | 17. Area RFU |
| 6. WIP Room | 18. Power Train Final Inspection
& Completed |
| 7. Sub Assy I | 19. Power Train Assembly |
| 8. Sub Assy II | 20. Delivery Area |
| 9. Sub Assy III | 21. Warehouse |
| 10. Machining Area | 22. Tools Room |
| 11. FIP Room | 23. Painting Room |
| 12. Hydraulic Test Bench | |

B. Proses produksi tiap WS untuk produk Engine

Proses produk *Engine* tidak melewati semua *workstation* yang telah disebutkan diatas. Terdapat 11 area yang berfungsi sebagai *workstation* maupun sebagai tempat inventory dalam proses tersebut. Area *workstation* ditempatkan berdekatan untuk memudahkan proses produksi. Berikut ini adalah area kerja (*workstation*) untuk produk *Engine* dalam UTR Reman beserta penjelasan proses yang terjadi dalam *workstation* tersebut:

1. Washing area (nomor 2)

Dalam area ini mesin dari receiving area akan dibersihkan sebelum diproses ke tahap selanjutnya. Proses yang terjadi adalah pembersihan awal dengan menggunakan *water jet, air spray, rotary wire brush*

2. Disassembly area (nomor 3)

Dalam area ini, *Engine* akan dibongkar (*disassembly*) sebelum dikirim ke tahap selanjutnya.

3. Sub Assembly 1 (nomor 7)

Area ini akan dilaksanakan *disassembly* lanjutan terhadap beberapa komponen dari proses *disassembly* area. Komponen-komponen tersebut diantaranya *cylinder head, rocker arm, piston, nozzle, oil cooler, dan cam follower*.

4. Sub Assembly 2 (nomor 8)

Area ini juga akan dilaksanakan *disassembly* lanjutan terhadap beberapa komponen dari proses *disassembly* area. Komponen-komponen tersebut diantaranya *pulley, after cooler, water pump, all Engine drive, bracket oil filter*.

5. Sub Assembly 3 (nomor 9)

Area ini juga akan dilaksanakan *disassembly* lanjutan terhadap beberapa komponen dari proses *disassembly* area. Komponen-komponen tersebut diantaranya *starting motor, alternator, sensor, ribbon heater, dan turbo*.

6. Machining & Fabrication (nomor 10)

Dalam area ini, produk hasil *disassembly* akan dilakukan proses fabrikasi dan penghalusan. Pemotongan, pemboran, pengelasan, dll merupakan contoh dari proses yang dilaksanakan di area ini.

7. FIP Room (nomor 11)

Area ini digunakan sebagai proses produksi khusus komponen FIP dan injector. Penggantian part dan pengujian dilakukan di area ini.

8. Dynamometer Room (nomor 13)

Dalam area ini, pengujian akhir produk *Engine* dilakukan sebelum masuk ke proses *painting*.

9. Engine Assembly (nomor 15)

Proses penyatuan (*assembly*) part-part *Engine* yang sudah melalui berbagai proses penggantian dan pengujian dilakukan di area ini.

10. Short Block (nomor 16)

Merupakan area perakitan khusus *Engine Block*.

11. Painting Room (nomor 23)

Dalam area ini barang hasil remanufaktur yang telah melalui semua proses akan dicat ulang sebelum dikirim ke konsumen.

C. Alokasi pekerja dalam setiap workstation

Alokasi pekerja dalam setiap *workstation* proses *Engine* ditampilkan dalam tabel berikut.

Tabel 3.2 Alokasi Pekerja dalam Setiap *Workstation*

<i>Workstation</i>	Jumlah Pekerja
<i>Workstation 1 Washing</i>	2 orang
<i>Workstation 2 Disassembly</i>	3 orang
<i>Workstation 3 Sub Assy 1</i>	2 orang
<i>Workstation 4 Sub Assy 2</i>	2 orang
<i>Workstation 5 Sub Assy 3</i>	3 orang
<i>Workstation 6 Machining</i>	3 orang
<i>Workstation 7 FIP Room</i>	3 orang
<i>Workstation 8 Short Block</i>	1 orang
<i>Workstation 9 Main Assembly</i>	3 orang
<i>Workstation 10 Dyno Room</i>	3 orang
<i>Workstation 11 Painting</i>	1 orang
Total	26 orang

D. Bill of Material

Bill of Material merupakan daftar dari semua *material*, *parts*, dan *subassemblies*, serta kuantitas dari masing-masing komponen tersebut yang dibutuhkan untuk memproduksi satu unit produk atau *main assembly*. BOM juga menggambarkan cara komponen-komponen bergabung kedalam suatu

produk selama proses manufaktur. Berikut adalah daftar BOM dari produk *Engine*.

Tabel 3.3 Daftar komponen dalam BOM *Engine*

No	Komponen Utama	Deksripsi Part
1	Sub Assy 1	Seal,Valve
		Drive Shaft Ass'y
		Driven Gear Ass'y
		Spring
		Bushing
		Insert,Intake Valve
		Insert,Exhaust Valve
		Guide,Valve
		Valve,Intake
		Valve,Exhaust
		Cotter,Valve
		Limiter Ass'y,Fuel <i>Flow</i>
		Limiter Ass'y,Fuel Pressure
		Sensor Ass'y,Fuel Pressure
Picco Ring		
Injector Ass'y		
2	Sub Assy 2	Lock
		Shaft
		Spring
		Nipple
		Fitting,Grease
		Race,Inner

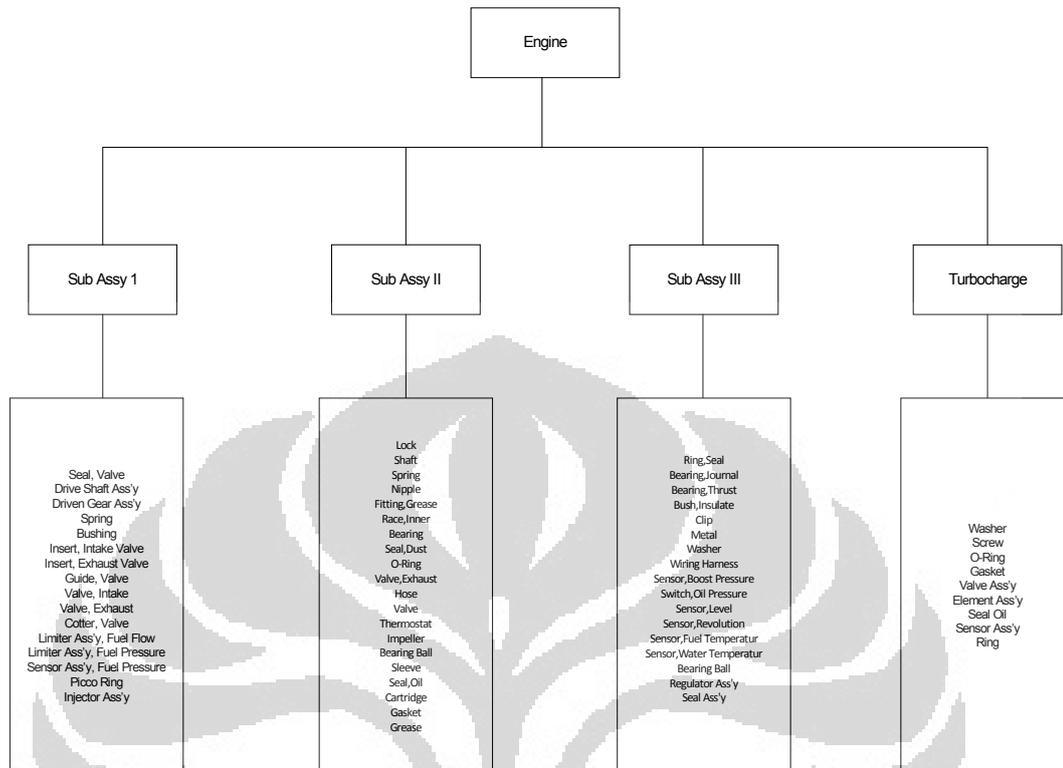
Tabel 3.3 Daftar komponen dalam BOM *Engine* (lanjutan)

		Bearing
		Seal,Dust
		O-Ring
		Valve,Exhaust
		Hose
		Valve
		Thermostat
		Impeller
		Bearing Ball
		Sleeve
		Seal,Oil
		Cartridge
		Gasket
		Grease
3	Sub Assy 3	Ring,Seal
		Bearing,Journal
		Bearing,Thrust
		Bush,Insulate
		Clip
		Metal
		Washer
		Wiring Harness
		Sensor,Boost Pressure
		Switch,Oil Pressure
		Sensor,Level
		Sensor,Revolution
		Sensor,Fuel Temperatur

Tabel 3.3 Daftar komponen dalam BOM *Engine* (lanjutan)

		Sensor, Water Temperatur
		Bearing Ball
		Regulator Ass'y
		Seal Ass'y
4	Turbocharge	Washer
		Screw
		O-Ring
		Gasket
		Valve Ass'y
		Element Ass'y
		Seal Oil
		Sensor Ass'y
		Ring

Berikut adalah gambar BOM yang tersusun dalam komponen *Engine*.



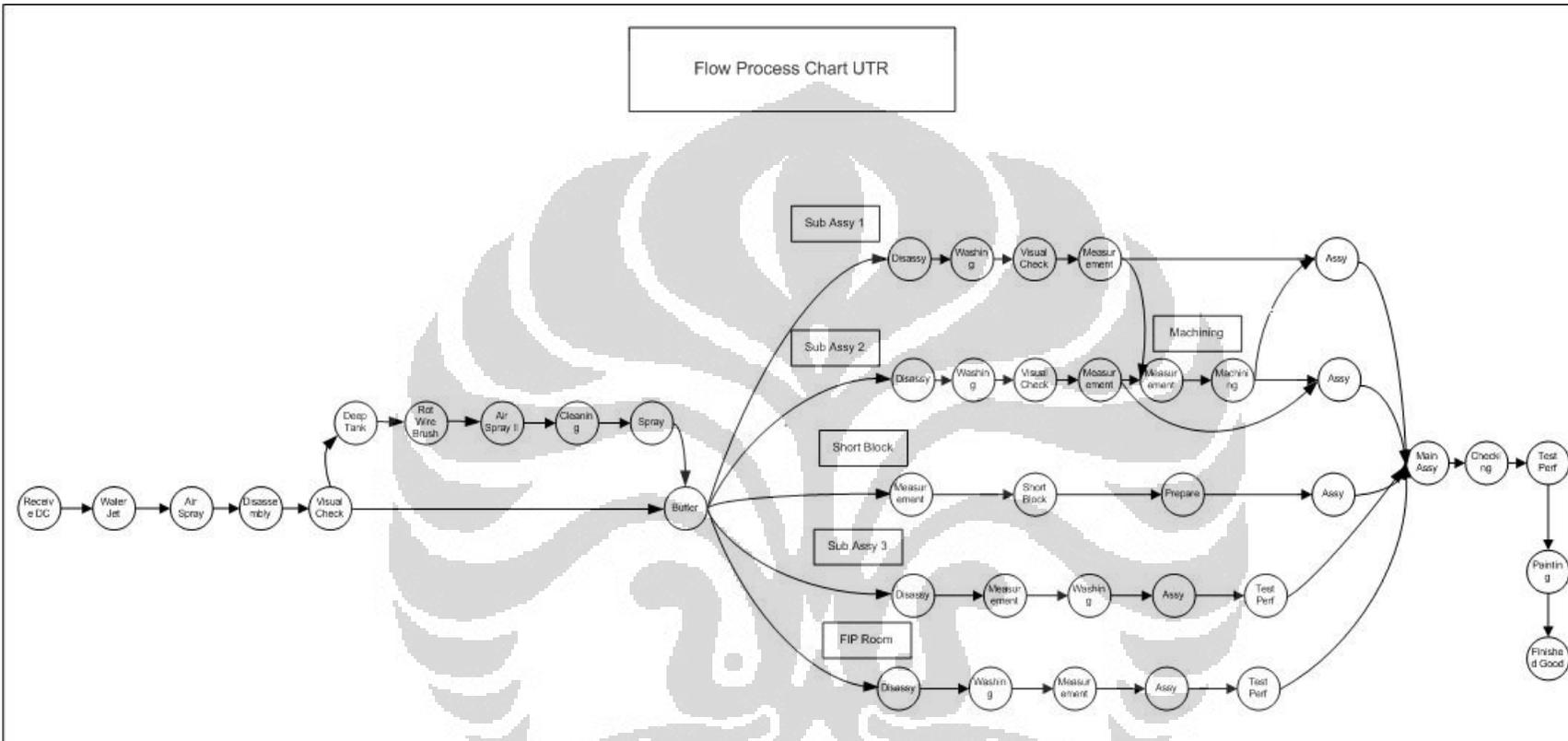
Gambar 3.2 *Bill of Material* Produk *Engine*

3.3 Data dalam menentukan waktu standar

Data yang dibutuhkan untuk menentukan waktu standar antara lain, yaitu jumlah stasiun kerja, elemen kerja, jumlah pengambilan data setiap elemen kerja, faktor penyesuaian, dan faktor kelonggaran operator.

3.3.1 Elemen-elemen pekerjaan dan *Flow Process Chart*

Elemen kerja yang dilakukan untuk memproses satu unit *Engine* saat ini berjumlah 39 buah elemen kerja yang terbagi dalam 11 buah stasiun kerja. Elemen-elemen kerja dalam stasiun ini merupakan pekerjaan manual dengan memakai peralatan dan menggunakan mesin. Untuk daftar elemen kerja dan stasiun kerjanya beserta waktu siklus minimum dan maksimum dapat dilihat dalam Lampiran 1. Sedangkan untuk *Flow Process Chart* proses *Engine* akan ditampilkan dibawah ini.



Gambar 3.3 Flow Process Chart Produk Engine

3.3.2 Pengambilan data pengamatan

Pengambilan data waktu siklus setiap elemen kerja dilakukan dengan metode *time study* langsung di lapangan. Dari *time study* tersebut didapatkan waktu minimum dan maksimum untuk setiap elemen kerja. Selanjutnya dari waktu minimum dan maksimum tersebut, akan dilakukan replikasi berdasarkan *random number* dari *add-in* Data Analysis di Microsoft Excel. Replikasi dibuat sebanyak 200 kali dengan distribusi data Uniform. Peneliti menggunakan replikasi dengan data random karena dari hasil pengamatan peneliti di lapangan tidak memungkinkan untuk mengambil banyak replikasi dari lapangan. Hal ini dikarenakan waktu setiap elemen kerja dalam satuan jam, bahkan dalam satuan hari.

3.3.3 Pengamatan faktor penyesuaian

Untuk menghitung waktu normal diperlukan faktor-faktor penyesuaian. Pemberian nilai dari faktor-faktor penyesuaian dilakukan berdasarkan pengamatan selama melakukan pengambilan data waktu kerja.

Pemberian nilai dari faktor-faktor penyesuaian dilakukan menurut cara *Westinghouse* dimana kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja dipengaruhi oleh empat faktor, yaitu keterampilan, usaha, kondisi kerja, dan konsistensi. Penilaian faktor penyesuaian pada semua operator diasumsikan sama, yaitu sebesar 0,05. Berikut adalah nilai faktor penyesuaian dalam proses *Engine*.

Tabel 3.4 Faktor Penyesuaian Operator

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Keterampilan	Good	C1	+0,06
Usaha	Good	C2	+0,02
Kondisi kerja	Fair	E	-0,03
Konsistensi	Average	D	0,00
Jumlah			+0,05

3.3.4 Pengamatan faktor kelonggaran

Faktor-faktor kelonggaran diperlukan untuk menghitung waktu standar. Pemberian nilai dari faktor-faktor kelonggaran dilakukan berdasarkan pengamatan. Kelonggaran diberikan untuk tiga hal, yaitu untuk keperluan pribadi, menghilangkan rasa lelah, dan hambatan yang tidak dapat dihindarkan. Faktor kelonggaran berdasarkan pengamatan di lapangan adalah sebesar 16,5%. Faktor ini diasumsikan sama untuk setiap operator. Tabel kelonggaran dapat dilihat berikut ini.

Tabel 3.5 Faktor Kelonggaran

Faktor	Pekerjaan	Kelonggaran
Tenaga yang dikeluarkan	Ringan	6,5
Sikap kerja	Berdiri diatas dua kaki	2
Gerakan kerja	Ayunan bebas	0
Kelelahan mata	Pekerjaan yang teliti	2
Keadaan temperatur	Tinggi	5
Keadaan atmosfir	Cukup	1
Keadaan lingkungan	Bersih, sehat	0
Jumlah		16,5

3.4 Data penyeimbangan lintasan proses *Engine*

3.4.1 Elemen-elemen pekerjaan

Elemen-elemen pekerjaan untuk proses *Engine* dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.4.2 Waktu siklus elemen-elemen pekerjaan

Hasil pengukuran waktu siklus elemen-elemen kerja pada proses *Engine* dapat dilihat pada Lampiran 1.

3.4.3 Waktu normal dan waktu standar

Waktu normal dan waktu standar dari setiap *workstation* akan ditampilkan pada Lampiran 2 sampai 12. Berikut akan diberikan contoh penghitungan elemen kerja Water Jet pada *Workstation 1*.

Waktu Rata-rata

$$\sum X = 544.058.64 \text{ detik}$$

$N = 200$; maka

$$\bar{X} = \frac{\sum X}{N} = \frac{544.058.64}{200} = 2.720,29 \text{ detik}$$

Waktu Normal

$$\begin{aligned} \text{Waktu Normal (W}_n) &= \text{Waktu Rata-Rata } (\bar{X}) \times \{1 + \text{Penyesuaian (p)}\} \\ &= 2.720,29 \times \{1 + (0,05)\} \\ &= 2.856,30 \text{ detik} \end{aligned}$$

Waktu Standar

$$\begin{aligned} \text{Waktu Standar (W}_s) &= W_n \times \frac{100\%}{100\% - \% \text{ kelonggaran}} \\ &= 2.856,30 \times \frac{100\%}{100\% - 16,5\%} \\ &= 3.420,72 \text{ detik} \end{aligned}$$

Standar Deviasi

$$\sigma = \sqrt{\frac{\sum (X - \bar{X})^2}{N - 1}}$$

$$\sigma = \sqrt{\frac{(3432,39 - 2.705,21)^2 + (2.762,48 - 2.705,21)^2 + \dots + (3.593,90 - 2.705,21)^2}{200 - 1}}$$

$$\sigma = 265,72$$

3.4.4 Uji Kecukupan Dan Keseragaman Data

Uji kecukupan dan keseragaman data dilakukan untuk melihat apakah data yang telah dikumpulkan oleh peneliti jumlahnya cukup serta tidak melebihi batas kontrol data. Uji ini dilakukan pada standar waktu elemen kerja semua *workstation*. Sebagai contohnya, berikut akan diberikan contoh penghitungan uji kecukupan dan keseragaman data pada elemen kerja Water Jet Workstation 1 Washing. Untuk lebih lengkapnya tentang penghitungan kecukupan dan keseragaman data semua elemen kerja ditampilkan pada Lampiran 2 sampai 12.

A. Kecukupan data

$$N' = \left[\frac{40\sqrt{N \sum X^2 - (\sum X)^2}}{\sum X} \right]^2$$

$$N' = \left[\frac{40\sqrt{(200)(1.494.050.771,54) - (544.058,63)^2}}{544.058,63} \right]^2$$

$$N' = 15,19$$

B. Keseragaman data

$$\begin{aligned} \text{Batas kendali atas (Upper Control Limit)} &= \bar{X} + 2\sigma \\ &= 2.720,29 + 3(265,72) \\ &= 3.517,48 \text{ detik} \end{aligned}$$

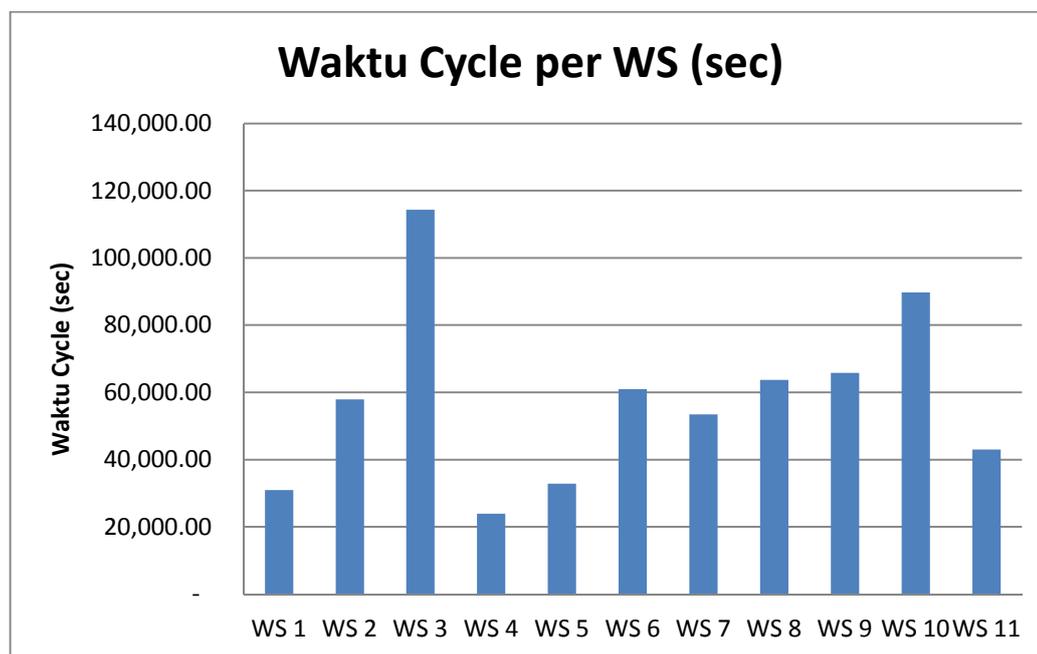
$$\begin{aligned} \text{Batas kendali bawah (Lower Control Limit)} &= \bar{X} - 2\sigma \\ &= 2.720,29 - 3(265,72) \\ &= 1.923,10 \text{ detik} \end{aligned}$$

3.4.5 Rekapitulasi waktu proses *Engine*

Lintasan proses *Engine* saat ini terdapat 11 stasiun kerja dengan jumlah elemen kerja sebesar 39 buah. Dengan menggunakan hasil penghitungan waktu standar pada Lampiran 2 sampai 12, maka total waktu untuk 39 elemen kerja adalah 636.710,27 detik atau sekitar 22 hari. Untuk uji kecukupan dan keseragaman data diatas (Water Jet) dapat dilihat bahwa data yang telah digenerate telah melebihi batas minimum kecukupan data, yaitu sebesar 15,19 buah. Sedangkan untuk uji keseragaman data, dapat disimpulkan bahwa data yang digenerate seragam, artinya tidak melebihi atau kurang dari batas kendali atas (3.517,48 detik) dan bawah (1.923,10 detik).

3.4.6 Keseimbangan lintasan proses *Engine*

Waktu siklus dari masing-masing stasiun kerja dalam lintasan proses *Engine* dapat dilihat pada diagram berikut:



Gambar 3.4 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap *Workstation*

Berdasarkan diagram diatas, dapat dilihat bahwa waktu siklus setiap stasiun kerja tidak seimbang dengan waktu siklus terbesar dimiliki oleh Workstation 3 Sub Assy 1.

3.4.7 Takt time produksi

Takt time dihitung untuk melihat waktu siklus lintasan minimum untuk memenuhi *demand* produksi dalam satuan waktu pada lintasan tersebut. Penghitungan *takt time* menggunakan rumus dibawah ini.

$$Takt\ Time = \frac{\text{waktu produksi yang tersedia}}{\text{demand produksi}} \dots\dots\dots (3.1)$$

Asumsi satu bulan terdiri dari 20 hari kerja (8 jam kerja), dengan *demand* 72 unit per tahun (proyeksi tahun 2012), maka

$$Takt\ Time = \frac{20 \times 12 \times 8 \times 3600}{72}$$

$$Takt\ Time = 96.000\ \text{detik}$$

3.4.8 Efisiensi Lintasan Produksi Engine

Berdasarkan data yang diperoleh pada kondisi awal lintasan proses *Engine*, maka waktu siklus lintasan produksi ditentukan oleh waktu siklus terbesar diantara *workstation*. Untuk itu, kita tentukan bahwa waktu siklus lintasan produksi *Engine* sebesar 114.450,02 detik. Dengan demikian dapat dihitung efisiensi lintasan sebagai berikut:

$$Efisiensi\ Lintasan = \frac{\text{total waktu siklus WS produksi}}{\text{jumlah WS} \times \text{waktu siklus lini produksi}} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan = \frac{636.710,27}{11 \times 114.450,02} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan = 50,57\%$$

$$Balance\ Delay\ Lintasan = 100\% - 50,57\% = 49,43\%$$

Selanjutnya kita akan menghitung *smoothness index* yang menunjukkan kelancaran relatif dari suatu keseimbangan lintasan perakitan. Untuk memudahkan perhitungan *smoothness index* ini, satuan waktu akan dijadikan jam. Berikut adalah perhitungannya.

$$SI = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$SI = \sqrt{(31,79 - 8,63)^2 + (31,79 - 15,84)^2 + \dots}$$

$$SI = 57,13$$

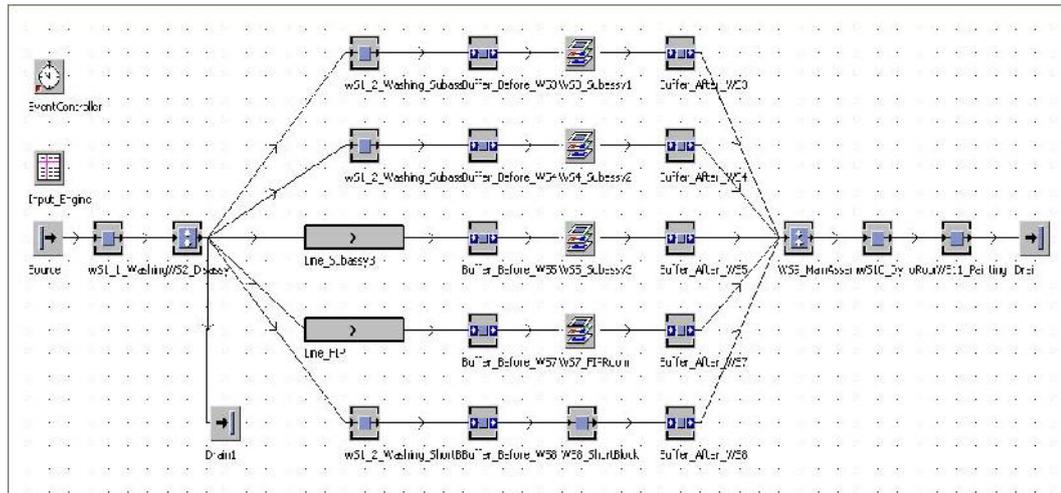
3.5 Pembuatan model simulasi

Hal yang dilakukan pertama kali untuk membuat model simulasi berbasis obyek adalah pembuatan bahasa permodelan dengan menggunakan *Unified Modeling Language* (UML). Hal ini dilakukan dengancara membuat kelas-kelas yang dibutuhkan pada setiap sistem yang ada seperti entitas, proses, dan sebagainya.

Water Pump Big
ID= WPBig
Material hasil pembongkaran main disassembly

Gambar 3.5 Contoh Bahasa Permodelan UML

Kemudian, setelah menentukan kelas-kelas yang akan dibuat, selanjutnya adalah memetakan kelas-kelas tersebut ke dalam *software* simulasi. Semua obyek yang merupakan bagian dari proses remanufaktur *Engine* dan yang telah dilakukan penghitungan *time study* dimasukkan pada waktu proses masing-masing obyek. Jenis waktu yang dipergunakan adalah dengan menggunakan distribusi data Uniform (nilai batas atas dan batas bawah).

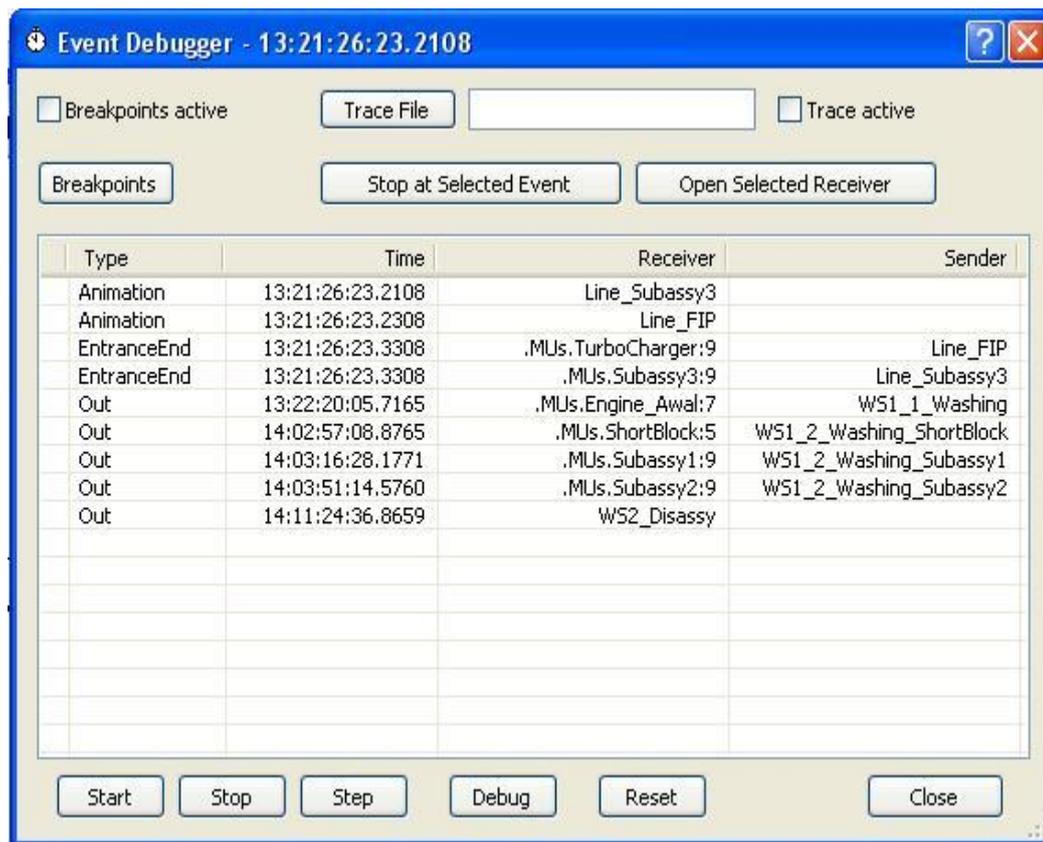


Gambar 3.6 Model Kondisi Awal Sistem Remanufaktur *Engine*

3.5.1 Verifikasi model

Verifikasi model merupakan metode untuk memastikan model simulasi telah dibuat dengan benar dan sesuai dengan kondisi yang diinginkan. Verifikasi dilakukan dengan memeriksa semua kode yang terdapat pada obyek dan proses simulasi. Selain itu, juga dilakukan dengan mengamati jalannya operasi model. Model dikatakan *verified* apabila tidak muncul debug pada jalannya operasi.

Pada *Plant Simulation*, jika terjadi kesalahan kode yang mengakibatkan tidak berjalannya simulasi, maka secara otomatis akan muncul pemberitahuan. Sedangkan untuk melihat debug yang tidak terdeteksi secara langsung dapat dilihat dengan menggunakan *Event Debugger* yang terdapat pada *Event Controller*.



Gambar 3.7 Event Debugger Pada Model Simulasi Engine

Dapat dilihat bahwa untuk model simulasi *Engine* telah terverifikasi. Hal ini ditandai dengan tidak munculnya *debug* pada proses jalannya simulasi dan tidak terdapatnya *debug* pada *Event Debugger*.

3.5.2 Validasi model

Validasi model merupakan metode untuk memastikan formulasi model yang dibuat telah sesuai dengan kondisi yang terjadi di lapangan. Dalam hal ini, validasi dilakukan dengan membandingkan hasil output keadaan nyata dengan hasil *output* model. Validasi dilakukan dengan menjalankan simulasi selama satu tahun penuh. Dari validasi yang dilakukan dapat dilihat bahwa hasil *output* model mendekati hasil *output* keadaan nyata.

Tabel 3.6 Perbandingan Hasil *Output* Model Dan Keadaan Nyata

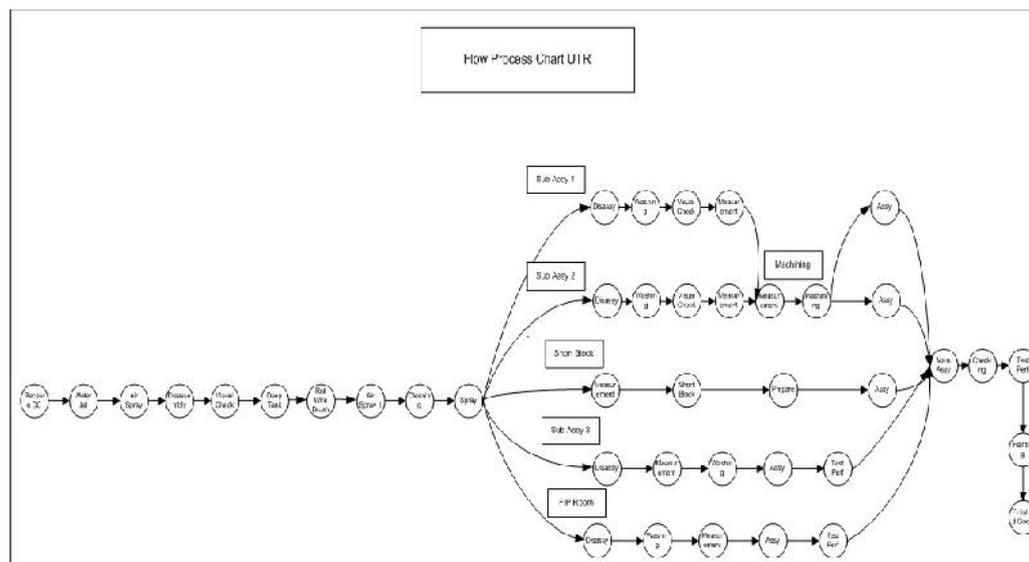
Keadaan Nyata	Model
43	46

3.6 Pembagian *flow* produksi

Pada bagian ini, dari *Flow Process Chart* pada kondisi awal akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *Flow A*, *Flow B*, dan *Flow C*. Selanjutnya, pada bagian ini juga akan dibagi tipe-tipe *Engine* yang merepresentasikan keadaan masing-masing *flow*. Penjelasan masing-masing *flow* akan diberikan dibawah ini:

1. *Flow A*

Flow A menunjukkan bahwa proses remanufaktur *Engine* melewati semua aliran proses produksi. Jadi bisa dikatakan bahwa *Flow A* sama dengan *Flow Process Chart* pada kondisi awal sistem yang telah dijelaskan diatas. *Flow* ini merepresentasikan proses remanufaktur tipe *Engine 1* dan *2*. Untuk *Flow Process Chart Flow A* bisa dilihat dibawah ini.



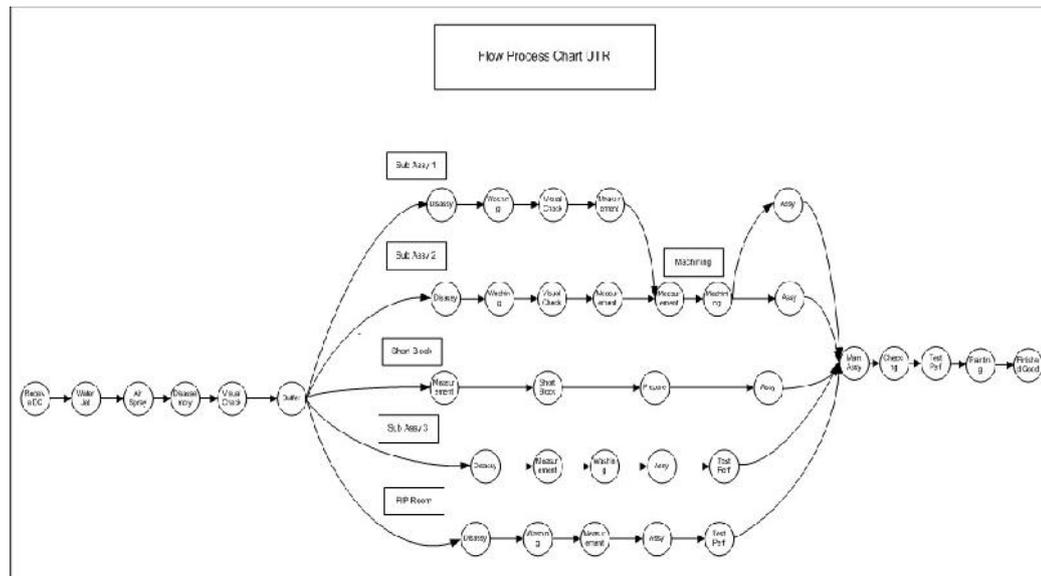
Gambar 3.8 *Flow Process Chart Flow A*

Tabel 3.7 Daftar Elemen Kerja *Flow A*

No	Elemen Kerja
1	Water Jet
2	Air Spray
3	Deep Tank
4	Rotary wire brush
5	Air Spray II
6	Cleaning (Solar)
7	Spray
8	Disassembly_WS2
9	Visual Check_WS2
10	Disassembly_WS3
11	Washing_WS3
12	Visual Check_WS3
13	Measurement_WS3
14	Assembly_WS3
15	Disassembly_WS4
16	Washing_WS4
17	Visual Check_WS4
18	Measurement_WS4
19	Assembly_WS4
20	Disassembly_WS5
21	Measurement_WS5
22	Washing_WS5
23	Assembly_WS5
24	Test Performance_WS5
25	Measurement_WS6
26	Machining_WS6
27	Disassembly_WS7
28	Washing_WS7
29	Measurement_WS7
30	Assembly_WS7
31	Test Performance_WS7
32	Measurement_WS8
33	Short Block_WS8
34	Prepare_WS8
35	Assembly_WS8
36	Assembly
37	Checking
38	Test Performance_WS10
39	Painting

2. Flow B

Flow B menunjukkan bahwa proses remanufaktur *Engine* melewati proses Machining tetapi tidak melewati proses Deep Tank, yaitu yang ditunjukkan elemen kerja 3 sampai 7. Flow ini merepresentasikan proses remanufaktur tipe *Engine 3, 4, dan 5*.



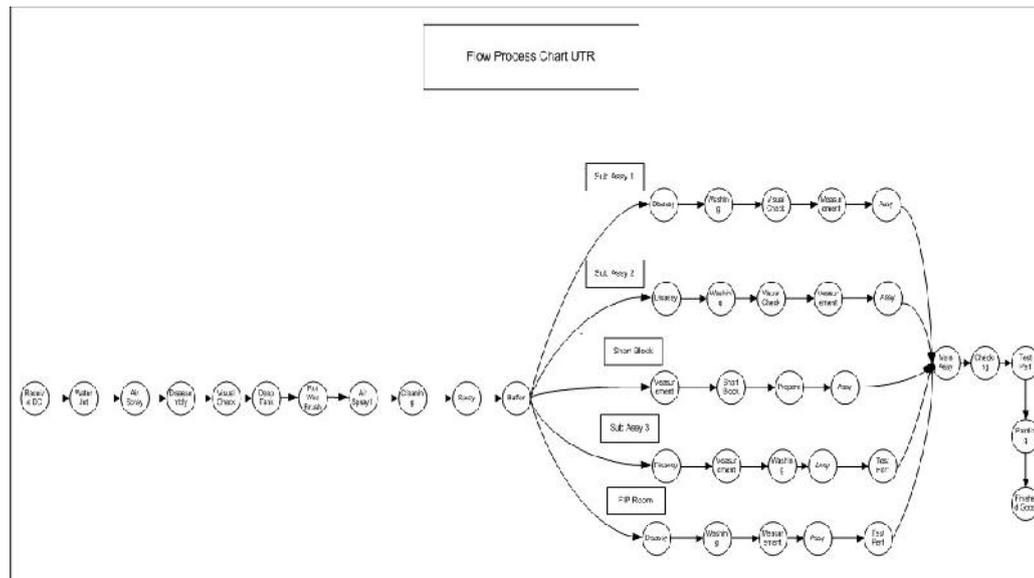
Gambar 3.9 Flow Process Chart Flow B

Tabel 3.8 Daftar Elemen Kerja *Flow B*

No	Elemen Kerja
1	Water Jet
2	Air Spray
8	Disassembly_WS2
9	Visual Check_WS2
10	Disassembly_WS3
11	Washing_WS3
12	Visual Check_WS3
13	Measurement_WS3
14	Assembly_WS3
15	Disassembly_WS4
16	Washing_WS4
17	Visual Check_WS4
18	Measurement_WS4
19	Assembly_WS4
20	Disassembly_WS5
21	Measurement_WS5
22	Washing_WS5
23	Assembly_WS5
24	Test Performance_WS5
25	Measurement_WS6
26	Machining_WS6
27	Disassembly_WS7
28	Washing_WS7
29	Measurement_WS7
30	Assembly_WS7
31	Test Performance_WS7
32	Measurement_WS8
33	Short Block_WS8
34	Prepare_WS8
35	Assembly_WS8
36	Assembly
37	Checking
38	Test Performance_WS10
39	Painting

3. Flow C

Flow C menunjukkan bahwa proses remanufaktur *Engine* melewati proses Deep Tank, yaitu yang ditunjukkan elemen kerja 3 sampai 7 tetapi tidak melewati proses Machining. *Flow* ini merepresentasikan proses remanufaktur tipe *Engine* 6 dan 7.



Gambar 3.10 *Flow Process Chart Flow C*

Tabel 3.9 Daftar Elemen Kerja *Flow C*

No	Elemen Kerja
1	Water Jet
2	Air Spray
3	Deep Tank
4	Rotary wire brush
5	Air Spray II
6	Cleaning (Solar)
7	Spray
8	Disassembly_WS2
9	Visual Check_WS2
10	Disassembly_WS3
11	Washing_WS3
12	Visual Check_WS3
13	Measurement_WS3
14	Assembly_WS3
15	Disassembly_WS4
16	Washing_WS4
17	Visual Check_WS4
18	Measurement_WS4
19	Assembly_WS4
20	Disassembly_WS5
21	Measurement_WS5
22	Washing_WS5
23	Assembly_WS5
24	Test Performance_WS5
27	Disassembly_WS7
28	Washing_WS7
29	Measurement_WS7
30	Assembly_WS7
31	Test Performance_WS7
32	Measurement_WS8
33	Short Block_WS8
34	Prepare_WS8
35	Assembly_WS8
36	Assembly
37	Checking
38	Test Performance_WS10
39	Painting

3.7 Keseimbangan lintasan *flow* produksi

Berdasarkan pembagian *Flow Process Chart* diatas, akan dihitung juga keseimbangan lintasan produksi untuk masing-masing *flow* sebagai penghitungan kondisi awal *flow*. Berikut adalah penghitungan keseimbangan lintasan produksi untuk masing-masing *flow*.

1. *Flow A*

Waktu siklus dari masing-masing stasiun kerja dalam lintasan produksi *Flow A* dapat dilihat pada diagram berikut. Perlu dicatat bahwa kondisi awal keseimbangan lintasan produksi pada *Flow A* sama dengan kondisi awal sistem yang telah dijelaskan diatas.

Sedangkan untuk efisiensi lintasan produksi remanufaktur *Engine* pada *Flow A* juga sama dengan efisiensi kondisi awal sistem.

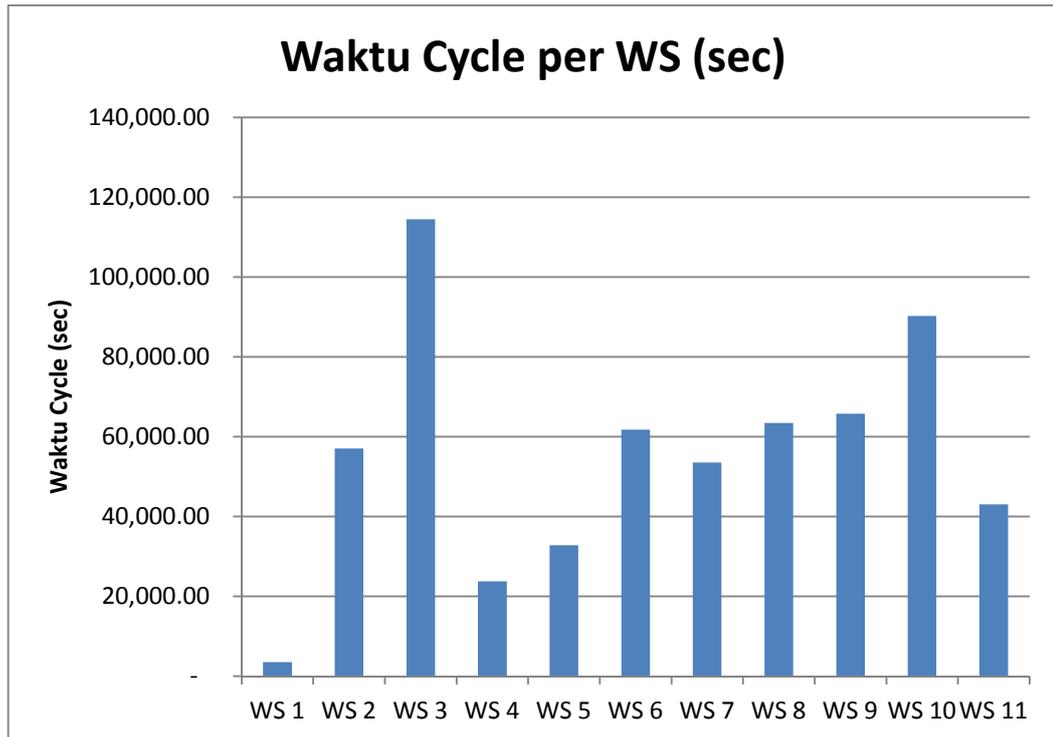
$$\text{Efisiensi Lintasan A} = 50,57\%$$

$$\text{Balance Delay Lintasan A} = 49,43\%$$

$$\text{Smoothness Index} = 57,13$$

2. *Flow B*

Waktu siklus dari masing-masing stasiun kerja dalam lintasan produksi *Flow B* dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 3.11 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap *Workstation* (*Flow B*)

Berdasarkan diagram diatas, dapat dilihat bahwa waktu siklus setiap stasiun kerja tidak seimbang dengan waktu siklus terbesar dimiliki oleh Workstation 3 Sub Assy 1.

Sedangkan untuk efisiensi lintasan produksi remanufaktur *Engine* pada *Flow B* dihitung menggunakan rumus berikut:

Efisiensi Lintasan B

$$= \frac{\text{total waktu siklus WS produksi B}}{\text{jumlah WS} \times \text{waktu siklus lintasan produksi B}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan B} = \frac{609.104,14}{11 \times 114.450,02} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan B} = 48,38\%$$

$$\text{Balance Delay Lintasan B} = 100\% - 48,38\% = 51,62\%$$

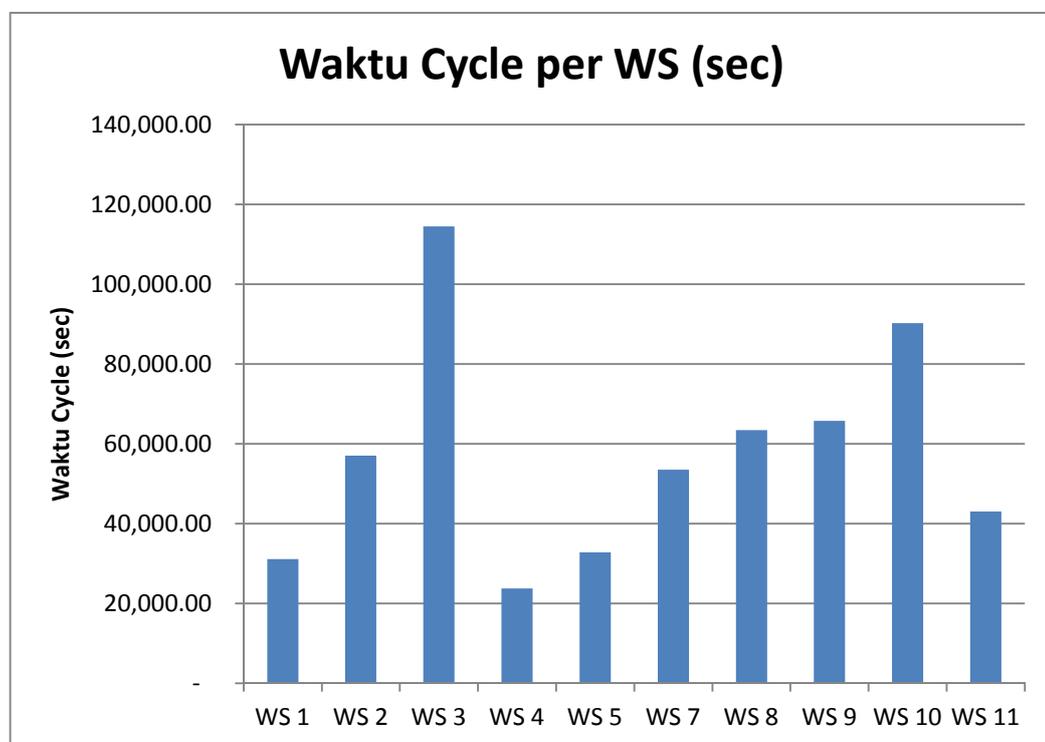
$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{(31,79 - 0,96)^2 + (31,79 - 15,84)^2 + \dots}$$

$$\text{Smoothness Index} = 60,65$$

3. Flow C

Waktu siklus dari masing-masing stasiun kerja dalam lintasan produksi *Flow C* dapat dilihat pada diagram berikut.



Gambar 3.12 Diagram Waktu Siklus Untuk Setiap *Workstation (Flow C)*

Berdasarkan diagram diatas, dapat dilihat bahwa waktu siklus setiap stasiun kerja tidak seimbang dengan waktu siklus terbesar dimiliki oleh Workstation 3 Sub Assy 1.

Sedangkan untuk efisiensi lintasan produksi remanufaktur *Engine* pada *Flow C* dihitung menggunakan rumus berikut:

Efisiensi Lintasan C

$$= \frac{\text{total waktu siklus WS produksi C}}{\text{jumlah WS} \times \text{waktu siklus lintasan produksi C}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan C} = \frac{574.951,94}{10 \times 114.450,02} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan C} = 50,23\%$$

$$\text{Balance Delay Lintasan C} = 100\% - 50,23\% = 49,77\%$$

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{(31,79 - 8,63)^2 + (31,79 - 15,84)^2 + \dots}$$

$$\text{Smoothness Index} = 55,23$$

BAB IV

ANALISA DATA

4. Analisa Data

Pada bab ini dijelaskan mengenai cara pengolahan data yang dilakukan dan analisis hasil pengolahan data yang didapatkan.

4.1 Perancangan lintasan produksi

Berdasarkan keadaan lintasan produksi saat ini yang tidak seimbang, maka diperlukan pengoptimalan lintasan dengan menggunakan *Line Balancing*. Metode yang dipakai dalam *Line Balancing* ini adalah metode *Ranked Positional Weight*. Berdasarkan data yang diolah dari Bab 3, kita dapat menyimpulkan bahwa *takt time* acuan untuk kapasitas produksi sebesar 72 unit per tahun adalah 96.000 detik.

4.1.1 Penghitungan stasiun kerja minimum

Penghitungan stasiun kerja minimum diperlukan untuk mengetahui jumlah stasiun kerja efektif untuk melakukan produksi. Penghitungan stasiun kerja dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *Flow A*, *Flow B*, dan *Flow C*. Penghitungan masing-masing *flow* akan dijelaskan dibawah ini.

1. *Flow A*

Berdasarkan hasil penghitungan *takt time* yang sebesar 96.000 detik dan total seluruh waktu siklus proses produksi yang sebesar 636.710,27 detik, maka jumlah stasiun kerja minimum dirumuskan dengan:

$$K_{min} = \frac{\text{total waktu siklus stasiun kerja}}{C}$$

$$K_{min} = \frac{636.710,27}{96.000}$$

$$K_{min} = 6,63 \approx 7 \text{ stasiun kerja}$$

2. *Flow B*

Berdasarkan hasil penghitungan *takt time* yang sebesar 96.000 detik dan total seluruh waktu siklus proses produksi yang sebesar 609.104,14 detik, maka jumlah stasiun kerja minimum dirumuskan dengan:

$$K_{min} = \frac{\text{total waktu siklus stasiun kerja}}{C}$$

$$K_{min} = \frac{609.104,14}{96.000}$$

$$K_{min} = 6,34 \approx 7 \text{ stasiun kerja}$$

3. Flow C

Berdasarkan hasil penghitungan *takt time* yang sebesar 96.000 detik dan total seluruh waktu siklus proses produksi yang sebesar 574.951,94 detik, maka jumlah stasiun kerja minimum dirumuskan dengan:

$$K_{min} = \frac{\text{total waktu siklus stasiun kerja}}{C}$$

$$K_{min} = \frac{574.951,94}{96.000}$$

$$K_{min} = 5,99 \approx 6 \text{ stasiun kerja}$$

4.1.2 Penghitungan *ranked position*

Penghitungan *ranked position* bertujuan untuk memudahkan penempatan elemen kerja pada seluruh stasiun kerja minimum yang telah dijelaskan sebelumnya. Namun, perlu dicatat bahwa penempatan elemen kerja pada stasiun kerja tidak boleh menyalahi aturan alur proses yang telah digambarkan pada *Flow Process Chart*. Penempatan elemen kerja yang tidak sesuai dengan apa yang telah digambarkan dalam *Flow Process Chart* akan menyebabkan rancangan alur menjadi tidak valid. Penghitungan *ranked position* pada elemen kerja juga akan dibagi menjadi tiga bagian, yaitu *Flow A*, *Flow B*, dan *Flow C*. Pada penghitungan *ranked position* ini, elemen kerja dalam satuan detik akan diubah menjadi satuan menit untuk memudahkan penempatan elemen kerja nantinya.

1. *Flow A*

Untuk menghitung *ranked position*, pertama kita harus menentukan posisi peringkat untuk operasi. Penghitungan dilakukan dengan menentukan seberapa jauh (dalam satuan waktu). Berikut adalah tabel posisi peringkat untuk *Flow A*.

Tabel 4.1 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow A*

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
1	Water Jet	-	6771
2	Air Spray	1	6714
3	Deep Tank	9	6698
4	Rotary wire brush	3	6358
5	Air Spray II	4	6300
6	Cleaning (Solar)	5	6285
7	Spray	6	6268
8	Disassembly_WS2	2	7648
9	Visual Check_WS2	8	6754
10	Disassembly_WS3	7,9	6253
11	Washing_WS3	10	5726
12	Visual Check_WS3	11	5195
13	Measurement_WS3	12	5138
14	Assembly_WS3	26	2938
15	Disassembly_WS4	7,9	4741
16	Washing_WS4	15	4627
17	Visual Check_WS4	16	4571
18	Measurement_WS4	17	4514
19	Assembly_WS4	26	3428
20	Disassembly_WS5	7,9	3863
21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
23	Assembly_WS5	22	3504
24	Test Performance_WS5	23	3372
25	Measurement_WS6	13,18,32	5290
26	Machining_WS6	25	5176
27	Disassembly_WS7	7,9	4207
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
30	Assembly_WS7	29	3791
31	Test Performance_WS7	30	3448
32	Measurement_WS8	7,9	4373
33	Short Block_WS8	26	4260

Tabel 4.1 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow A* (lanjutan)

34	Prepare_WS8	33	3808
35	Assembly_WS8	34	3696
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220
39	Painting	38	717

Selanjutnya, dari tabel posisi peringkat tersebut akan diurutkan berdasarkan nilai posisi peringkat yang tertinggi. Berikut adalah tabel urutan operasinya.

Tabel 4.2 Urutan Operasi *Flow A* Berdasarkan Bobot Posisi

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
8	Disassembly_WS2	2	7648
1	Water Jet	-	6771
9	Visual Check_WS2	8	6754
2	Air Spray	1	6714
3	Deep Tank	9	6698
4	Rotary wire brush	3	6358
5	Air Spray II	4	6300
6	Cleaning (Solar)	5	6285
7	Spray	6	6268
10	Disassembly_WS3	7,9	6253
11	Washing_WS3	10	5726
25	Measurement_WS6	13,18,32	5290
12	Visual Check_WS3	11	5195
26	Machining_WS6	25	5176
13	Measurement_WS3	12	5138
15	Disassembly_WS4	7,9	4741
16	Washing_WS4	15	4627
17	Visual Check_WS4	16	4571
18	Measurement_WS4	17	4514
32	Measurement_WS8	7,9	4373
33	Short Block_WS8	26	4260
27	Disassembly_WS7	7,9	4207
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
20	Disassembly_WS5	7,9	3863
34	Prepare_WS8	33	3808
30	Assembly_WS7	29	3791
35	Assembly_WS8	34	3696

Tabel 4.2 Urutan Operasi *Flow A* Berdasarkan Bobot Posisi (lanjutan)

21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
23	Assembly_WS5	22	3504
31	Test Performance_WS7	30	3448
19	Assembly_WS4	26	3428
24	Test Performance_WS5	23	3372
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
14	Assembly_WS3	26	2938
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220
39	Painting	38	717

Langkah selanjutnya adalah menempatkan elemen kerja pada stasiun kerja minimum berdasarkan peringkat bobot posisi dan tidak menyalahi aturan alur proses pada *Flow Process Chart Flow A*. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa elemen kerja yang ditempatkan pada stasiun kerja diusahakan tidak melebihi *takt time* produksi, yaitu sebesar 96.000 detik atau 1.600 menit. Berikut akan diberikan hasil penempatan elemen kerja pada seluruh stasiun kerja minimum untuk *Flow A*.

Tabel 4.3 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja *Flow A*

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Jumlah Waktu Siklus (menit)
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1468
2	10,15,32,11,16,12,17	1456
3	13,18,25,26	1349
4	14,19,33,34	1206
5	20,27,21,28,22,29,23,30,24,31	1439
6	35,36,37	1476
7	38	1503
8	39	717
TOTAL		10614

Kita bisa lihat bahwa stasiun kerja pada *Flow A* melebihi jumlah minimum stasiun kerja yang disarankan. Hal ini disebabkan pada elemen kerja 39, yaitu proses *Painting*, merupakan elemen kerja yang harus terletak diluar pabrik, sehingga tidak ditempatkan dengan elemen kerja yang lain.

2. Flow B

Untuk penempatan posisi pada *Flow B* berbeda dengan *Flow A* dikarenakan elemen kerja *Flow B* yang tidak sama dengan *Flow A*. Berikut adalah tabel posisi peringkat untuk *Flow B*.

Tabel 4.4 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow B*

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
1	Water Jet	-	6771
2	Air Spray	1	6714
8	Disassembly_WS2	2	7648
9	Visual Check_WS2	8	6754
10	Disassembly_WS3	9	6253
11	Washing_WS3	10	5726
12	Visual Check_WS3	11	5195
13	Measurement_WS3	12	5138
14	Assembly_WS3	26	2938
15	Disassembly_WS4	9	4741
16	Washing_WS4	15	4627
17	Visual Check_WS4	16	4571
18	Measurement_WS4	17	4514
19	Assembly_WS4	26	3428
20	Disassembly_WS5	9	3863
21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
23	Assembly_WS5	22	3504
24	Test Performance_WS5	23	3372
25	Measurement_WS6	13,18,32	5290
26	Machining_WS6	25	5176
27	Disassembly_WS7	9	4207
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
30	Assembly_WS7	29	3791
31	Test Performance_WS7	30	3448
32	Measurement_WS8	9	4373
33	Short Block_WS8	26	4260
34	Prepare_WS8	33	3808
35	Assembly_WS8	34	3696
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220

Tabel 4.4 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow B* (lanjutan)

39	Painting	38	717
----	----------	----	-----

Selanjutnya, dari tabel posisi peringkat tersebut akan diurutkan berdasarkan nilai posisi peringkat yang tertinggi. Berikut adalah tabel urutan operasinya.

Tabel 4.5 Urutan Operasi *Flow B* Berdasarkan Bobot Posisi

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
8	Disassembly_WS2	2	7648
1	Water Jet	-	6771
9	Visual Check_WS2	8	6754
2	Air Spray	1	6714
10	Disassembly_WS3	9	6253
11	Washing_WS3	10	5726
25	Measurement_WS6	13,18,32	5290
12	Visual Check_WS3	11	5195
26	Machining_WS6	25	5176
13	Measurement_WS3	12	5138
15	Disassembly_WS4	9	4741
16	Washing_WS4	15	4627
17	Visual Check_WS4	16	4571
18	Measurement_WS4	17	4514
32	Measurement_WS8	9	4373
33	Short Block_WS8	26	4260
27	Disassembly_WS7	9	4207
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
20	Disassembly_WS5	9	3863
34	Prepare_WS8	33	3808
30	Assembly_WS7	29	3791
35	Assembly_WS8	34	3696
21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
23	Assembly_WS5	22	3504
31	Test Performance_WS7	30	3448
19	Assembly_WS4	26	3428
24	Test Performance_WS5	23	3372
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
14	Assembly_WS3	26	2938
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220

Tabel 4.5 Urutan Operasi *Flow* B Berdasarkan Bobot Posisi (lanjutan)

39	Painting	38	717
----	----------	----	-----

Langkah selanjutnya adalah menempatkan elemen kerja pada stasiun kerja minimum berdasarkan peringkat bobot posisi dan tidak menyalahi aturan alur proses pada *flow process chart Flow* B. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa elemen kerja yang ditempatkan pada stasiun kerja diusahakan tidak melebihi *takt time* produksi, yaitu sebesar 96.000 detik atau 1.600 menit. Berikut akan diberikan hasil penempatan elemen kerja pada seluruh stasiun kerja minimum untuk *Flow* B.

Tabel 4.6 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja *Flow* B

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Jumlah Waktu Siklus (menit)
1	1,2,8,9,10	1550
2	15,11,16,12,17,13,18,32,20,21,22	1607
3	25,26,14	1558
4	33,19,27,28,29,23,30,24,34	1626
5	31,35,36,37	1608
6	38	1503
7	39	717
TOTAL		10169

Kita juga bisa lihat pada tabel diatas bahwa stasiun kerja 7 hanya memiliki elemen kerja 39 dengan jumlah waktu siklus 717. Hal ini juga dikarenakan elemen kerja 39 tidak boleh ditempatkan dengan elemen kerja yang lain.

3. *Flow* C

Untuk penempatan posisi pada *Flow* C juga berbeda dengan *Flow* A dan *Flow* B dikarenakan elemen kerja *Flow* C yang tidak sama dengan kedua *flow* tersebut. Berikut adalah tabel posisi peringkat untuk *Flow* C.

Tabel 4.7 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow* C

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
1	Water Jet	-	6676
2	Air Spray	1	6635
3	Deep Tank	9	5669

Tabel 4.7 Posisi Peringkat Untuk Operasi *Flow C* (lanjutan)

4	Rotary wire brush	3	5328
5	Air Spray II	4	5271
6	Cleaning (Solar)	5	5255
7	Spray	6	5239
8	Disassembly_WS2	2	6619
9	Visual Check_WS2	8	5725
10	Disassembly_WS3	7,9	5223
11	Washing_WS3	10	4697
12	Visual Check_WS3	11	4165
13	Measurement_WS3	12	4108
14	Assembly_WS3	13	3845
15	Disassembly_WS4	7,9	3712
16	Washing_WS4	15	3598
17	Visual Check_WS4	16	3541
18	Measurement_WS4	17	3484
19	Assembly_WS4	18	3428
20	Disassembly_WS5	7,9	3863
21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
23	Assembly_WS5	22	2598
24	Test Performance_WS5	23	3372
27	Disassembly_WS7	7,9	4207
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
30	Assembly_WS7	29	3791
31	Test Performance_WS7	30	3448
32	Measurement_WS8	7,9	4373
33	Short Block_WS8	32	4260
34	Prepare_WS8	33	3808
35	Assembly_WS8	34	3696
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220
39	Painting	38	717

Selanjutnya, dari tabel posisi peringkat tersebut akan diurutkan berdasarkan nilai posisi peringkat yang tertinggi. Berikut adalah tabel urutan operasinya.

Tabel 4.8 Urutan Operasi *Flow C* Berdasarkan Bobot Posisi

Operation	Elemen Kerja	Precedence	Posisi Peringkat
1	Water Jet	-	6676
2	Air Spray	1	6635
8	Disassembly_WS2	2	6619
9	Visual Check_WS2	8	5725
3	Deep Tank	9	5669
4	Rotary wire brush	3	5328
5	Air Spray II	4	5271
6	Cleaning (Solar)	5	5255
7	Spray	6	5239
10	Disassembly_WS3	7,9	5223
11	Washing_WS3	10	4697
32	Measurement_WS8	7,9	4373
33	Short Block_WS8	32	4260
27	Disassembly_WS7	7,9	4207
12	Visual Check_WS3	11	4165
13	Measurement_WS3	12	4108
28	Washing_WS7	27	4018
29	Measurement_WS7	28	3904
20	Disassembly_WS5	7,9	3863
14	Assembly_WS3	13	3845
34	Prepare_WS8	33	3808
30	Assembly_WS7	29	3791
15	Disassembly_WS4	7,9	3712
35	Assembly_WS8	34	3696
21	Measurement_WS5	20	3675
22	Washing_WS5	21	3618
16	Washing_WS4	15	3598
17	Visual Check_WS4	16	3541
18	Measurement_WS4	17	3484
31	Test Performance_WS7	30	3448
19	Assembly_WS4	18	3428
24	Test Performance_WS5	23	3372
36	Assembly	14,19,24,31,35	3316
23	Assembly_WS5	22	2598
37	Checking	36	2409
38	Test Performance_WS10	37	2220
39	Painting	38	717

Langkah selanjutnya adalah menempatkan elemen kerja pada stasiun kerja minimum berdasarkan peringkat bobot posisi dan tidak menyalahi aturan alur proses pada *Flow Process Chart Flow C*. Selain itu, perlu diperhatikan bahwa

elemen kerja yang ditempatkan pada stasiun kerja diusahakan tidak melebihi *takt time* produksi, yaitu sebesar 96.000 detik atau 1.600 menit. Berikut akan diberikan hasil penempatan elemen kerja pada seluruh stasiun kerja minimum untuk *Flow C*.

Tabel 4.9 Penempatan Elemen Kerja Pada Stasiun Kerja *Flow C*

Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Jumlah Waktu Siklus (menit)
1	1,2,3,4,5,6,7,8,9	1468
2	10,15,32,20,27,16,21,28,17,22	1529
3	11,12,13,14,18	1437
4	19,33,34,12,30,24,31,29	1455
5	35,36,37	1476
6	38	1503
7	39	717
TOTAL		9585

Kita juga bisa lihat pada tabel diatas bahwa stasiun kerja pada *Flow C* melebihi jumlah minimum stasiun kerja yang disarankan. Hal ini disebabkan pada elemen kerja 39, yaitu proses *Painting*, merupakan elemen kerja yang harus terletak diluar pabrik, sehingga tidak ditempatkan dengan elemen kerja yang lain.

4.1.3 Penghitungan efisiensi

Apabila kita sudah menempatkan elemen kerja pada seluruh stasiun kerja, langkah selanjutnya adalah menghitung efisiensi lintasan dan *balance delay* untuk masing-masing *flow*. Berikut adalah penghitungannya.

1. *Flow A*

Rumus efisiensi lintasan:

$$Efisiensi\ Lintasan = \frac{total\ waktu\ siklus\ WS\ produksi}{jumlah\ WS \times waktu\ siklus\ lini\ produksi} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan\ A = \frac{10.614}{8 \times 1.503} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan\ A = 88,27\%$$

Rumus *Balance Delay*:

$$\text{Balance Delay Lintasan} = 100\% - \text{Efisiensi}$$

$$\text{Balance Delay Lintasan A} = 100\% - 88,27\% = 11,73\%$$

Rumus *Smoothness Index*:

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{(25,05 - 24,47)^2 + (25,05 - 24,27)^2 + \dots}$$

$$\text{Smoothness Index} = 14,32$$

2. Flow B

Rumus efisiensi lintasan:

$$\text{Efisiensi Lintasan} = \frac{\text{total waktu siklus WS produksi}}{\text{jumlah WS} \times \text{waktu siklus lini produksi}} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan B} = \frac{10.169}{7 \times 1.626} \times 100\%$$

$$\text{Efisiensi Lintasan B} = 89,34\%$$

Rumus *Balance Delay*:

$$\text{Balance Delay Lintasan} = 100\% - \text{Efisiensi}$$

$$\text{Balance Delay Lintasan B} = 100\% - 89,34\% = 10,66\%$$

Rumus *Smoothness Index*:

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$\text{Smoothness Index} = \sqrt{(27,10 - 25,83)^2 + (27,10 - 26,78)^2 + \dots}$$

Smoothness Index = 15,39

3. *Flow C*

Rumus efisiensi lintasan:

$$Efisiensi\ Lintasan = \frac{total\ waktu\ siklus\ WS\ produksi}{jumlah\ WS \times waktu\ siklus\ lini\ produksi} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan\ C = \frac{9.585}{7 \times 1.529} \times 100\%$$

$$Efisiensi\ Lintasan\ C = 89,55\%$$

Rumus *Balance Delay*:

$$Balance\ Delay\ Lintasan = 100\% - Efisiensi$$

$$Balance\ Delay\ Lintasan\ C = 100\% - 89,55\% = 10,45\%$$

Rumus *Smoothness Index*:

$$Smoothness\ Index = \sqrt{\sum_{i=1}^n (C - C_{WS_i})^2}$$

$$Smoothness\ Index = \sqrt{(25,48 - 24,47)^2 + (25,48 - 25,48)^2 + \dots}$$

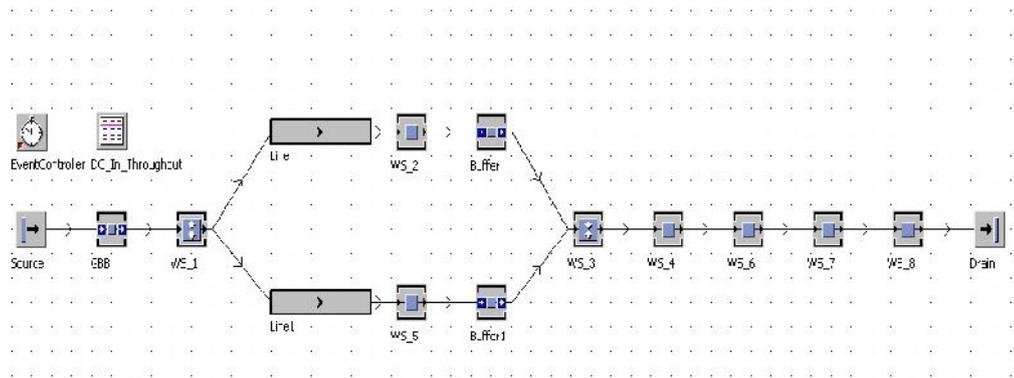
$$Smoothness\ Index = 13,75$$

4.2 Pembuatan model hasil optimasi

Setelah melakukan optimasi dan menghitung efisiensi dari masing-masing *flow*, langkah selanjutnya adalah dengan membuat model simulasi. Pembuatan model simulasi hasil optimasi bertujuan untuk mengetahui hasil parameter yang terjadi setelah proses optimasi. Parameter yang diamati adalah *throughput time* produksi dari masing-masing *flow*. Simulasi dijalankan selama 1920 jam kerja.

Berikut adalah model simulasi dan hasil dari throughput time produksinya untuk masing-masing *flow*.

1. *Flow A*



Gambar 4.1 Model Simulasi Hasil Optimasi *Flow A*

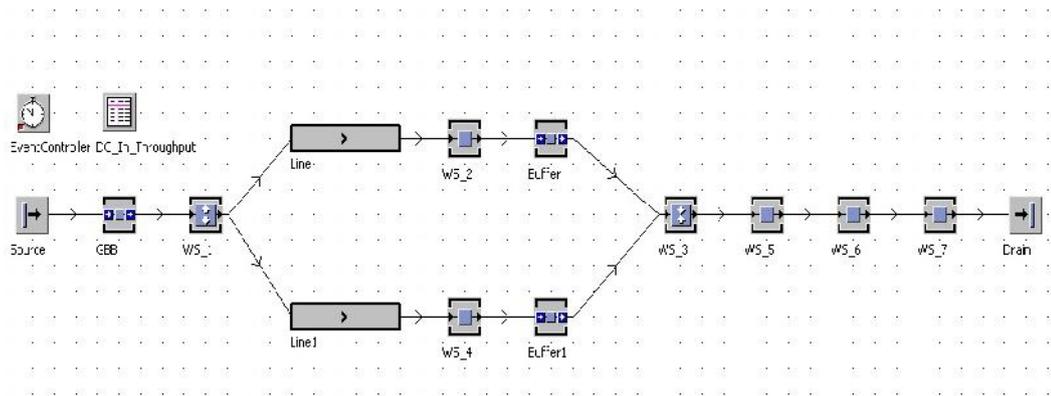
Dari hasil simulasi, kita mengetahui bahwa throughput produk untuk *flow A* adalah 68 unit, dengan satuan waktu yang digunakan adalah jam. Dari data tersebut, kita dapat mengetahui throughput time per produk dengan menggunakan rumus:

$$\text{Throughput time} = \frac{\text{satuan waktu}}{\text{throughput produk}} \dots\dots\dots (4.1)$$

$$\text{Throughput time} = \frac{1920 \text{ jam}}{68 \text{ unit}}$$

$$\text{Throughput time} = 28,2353 \text{ jam/unit} \approx 29 \text{ jam/unit}$$

2. *Flow B*



Gambar 4.2 Model Simulasi Hasil Optimasi *Flow B*

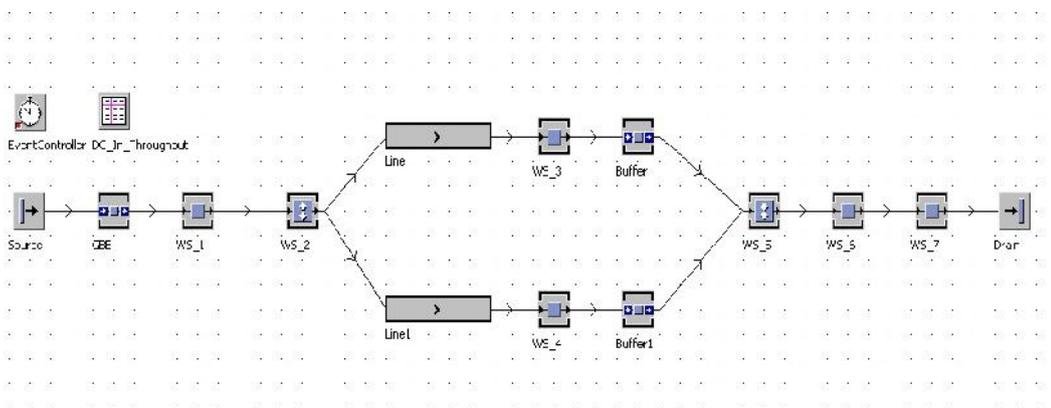
Dari hasil simulasi, kita mengetahui bahwa troughput produk untuk *flow A* adalah 69 unit, dengan satuan waktu yang digunakan adalah jam. Dari data tersebut, kita dapat mengetahui troughput time per produk dengan menggunakan rumus:

$$\text{Throughput time} = \frac{\text{satuan waktu}}{\text{throughput produk}}$$

$$\text{Throughput time} = \frac{1920 \text{ jam}}{69 \text{ unit}}$$

$$\text{Throughput time} = 27,8261 \text{ jam/unit} \approx 28 \text{ jam/unit}$$

3. *Flow C*



Gambar 4.3 Model Simulasi Hasil Optimasi *Flow C*

Dari hasil simulasi, kita mengetahui bahwa throughput produk untuk *flow* A adalah 68 unit, dengan satuan waktu yang digunakan adalah jam. Dari data tersebut, kita dapat mengetahui throughput time per produk dengan menggunakan rumus:

$$\text{Throughput time} = \frac{\text{satuan waktu}}{\text{throughput produk}}$$

$$\text{Throughput time} = \frac{1920 \text{ jam}}{68 \text{ unit}}$$

$$\text{Throughput time} = 28,2353 \text{ jam/unit} \approx 29 \text{ jam/unit}$$

4.3 Penghitungan estimasi durasi produksi

Setelah kita mendapatkan *throughput time*-nya untuk setiap *flow*, langkah selanjutnya adalah menghitung estimasi durasi produksi setiap *flow* tersebut dengan memasukkan variabel standar deviasi waktu untuk masing-masing aktivitas. Metode yang digunakan adalah PERT (*Program Evaluation and Review Technique*). Metode ini akan membantu kita untuk menghitung durasi proyek dalam kondisi ketidakpastian. Durasi proyek/aktivitas diasumsikan berhasil apabila presentase pengerjaan proyek/aktivitas melebihi atau sama dengan 90%. Untuk memudahkan penghitungan, waktu setiap aktivitas diubah dalam satuan jam. Berikut adalah penghitungannya untuk masing-masing *flow*.

1. *Flow* A

Langkah pertama dalam menghitung durasi aktivitas adalah dengan menghitung standar deviasi proyek. Dibawah ini merupakan rumus dari standar deviasi tersebut.

$$\sigma_{t_e} = \left(\frac{b - a}{6} \right)$$

$$\sigma_{T_E} = \sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}$$

Keterangan:

σ_{t_e} = Standar deviasi aktivitas

σ_{T_E} = Standar deviasi proyek

Untuk contoh penghitungan standar deviasi aktivitas, kita ambil contoh aktivitas Water Jet.

$$\sigma_{t_e} = \left(\frac{b - a}{6} \right)$$

$$\sigma_{t_e} = \left(\frac{0,875 - 0,625}{6} \right) = 0,0416$$

Setelah kita menghitung standar deviasi untuk setiap aktivitas, selanjutnya adalah menghitung standar deviasi proyek keseluruhan dengan menggunakan rumus.

$$\sigma_{T_E} = \sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}$$

$$\sigma_{T_E} = \sqrt{(0,0416)^2 + (0,0138)^2 + \dots} = 1,182$$

Langkah selanjutnya adalah dengan menghitung durasi proyek untuk keberhasilan 90% ($Z = 1,3$). Berikut adalah rumusnya.

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}}$$

$$1,3 = \frac{T_S - 29}{1,182}$$

$$T_S = 31 \text{ jam}$$

2. Flow B

Untuk *Flow B*, langkah yang dilaksanakan sama dengan *Flow A*. Berikut adalah penghitungan durasi proyek dengan presentase keberhasilan proyek 90%.

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}}$$

$$1,3 = \frac{T_S - 28}{1,176}$$

$$T_S = 30 \text{ jam}$$

3. Flow C

Untuk *Flow C*, langkah yang dilaksanakan sama dengan *Flow A* dan *Flow B*. Berikut adalah penghitungan durasi proyek dengan presentase keberhasilan proyek 90%.

$$Z = \frac{T_S - T_E}{\sqrt{\sum \sigma_{t_e}^2}}$$

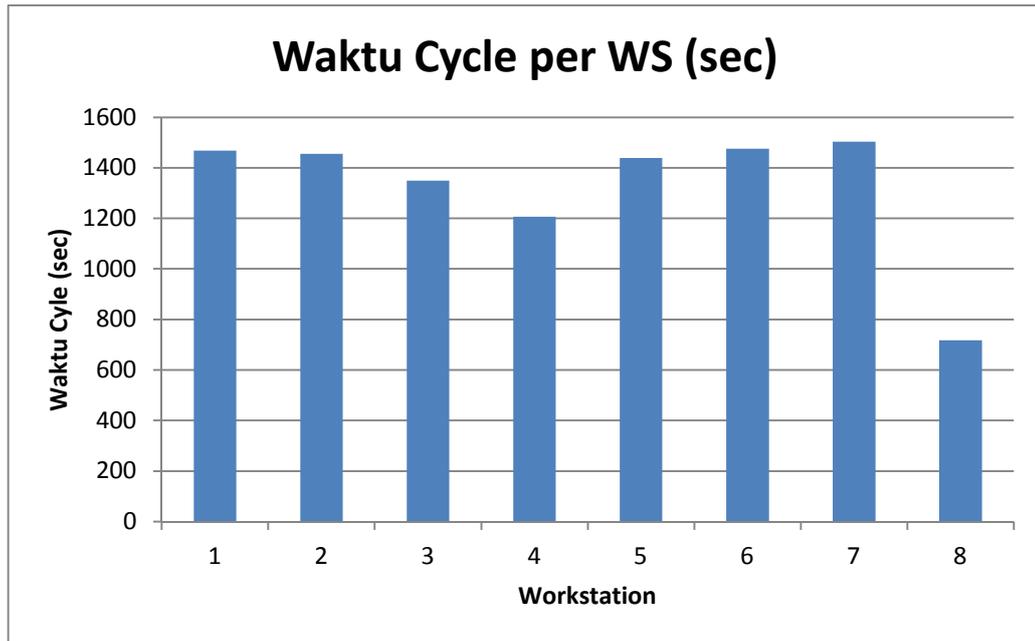
$$1,3 = \frac{T_S - 29}{1,070}$$

$$T_S = 31 \text{ jam}$$

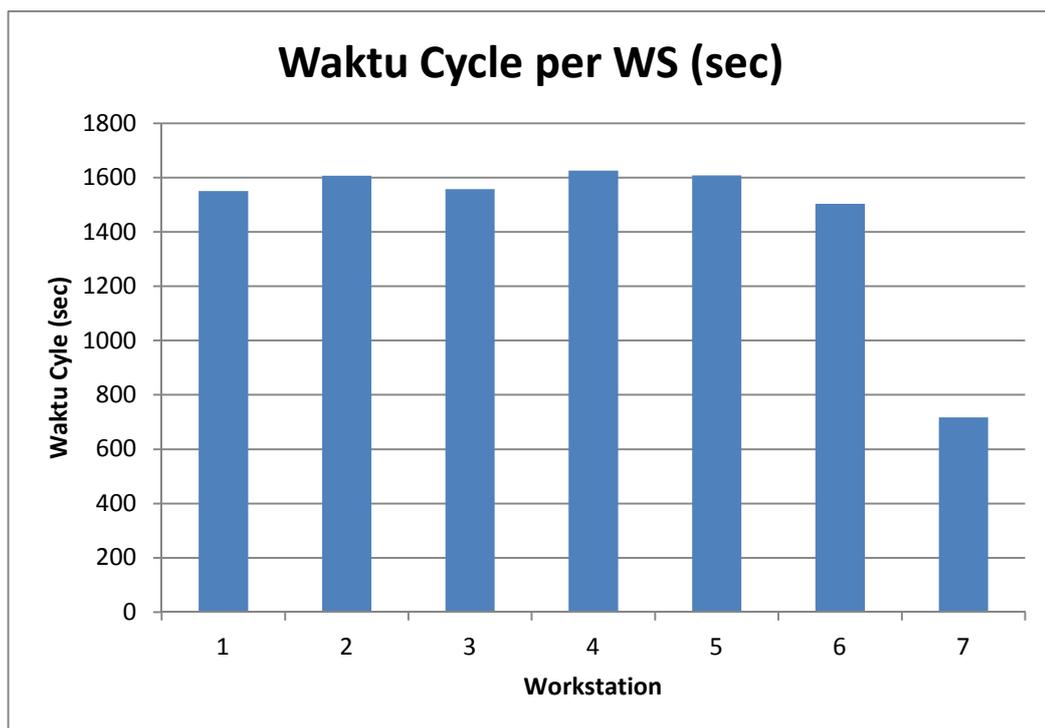
4.5 Analisis hasil untuk masing-masing *flow*

4.5.1 Perbandingan keseimbangan lintasan

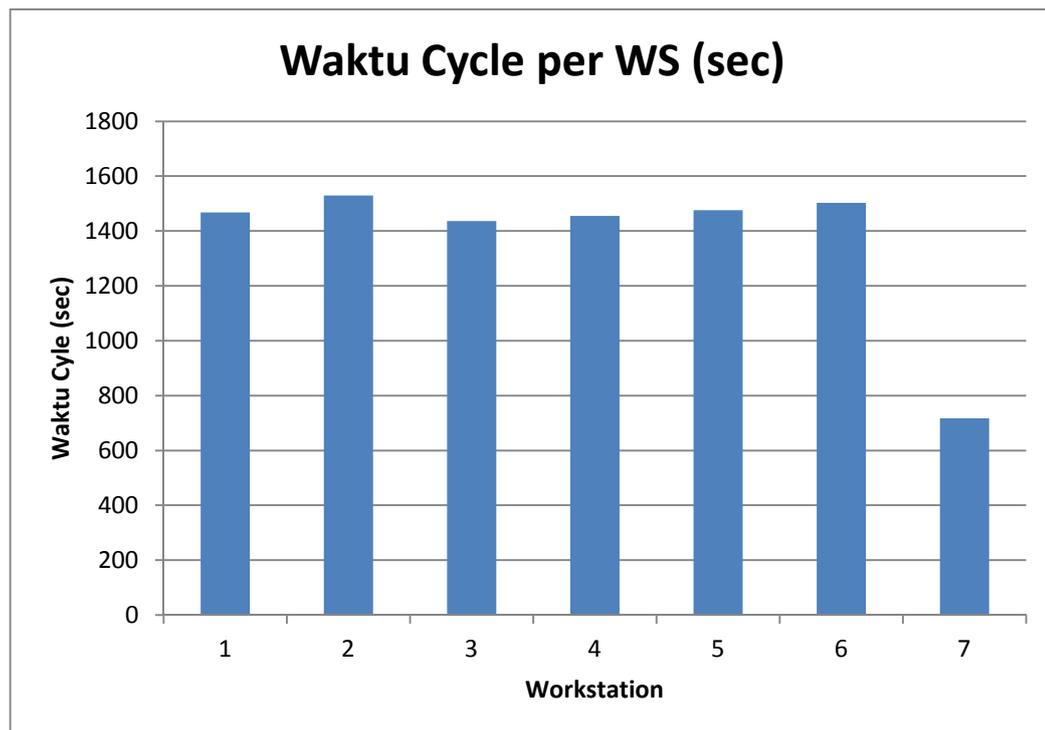
Berdasarkan penghitungan yang ditunjukkan oleh Subbab 4.1.2, kita dapat melihat perbandingan waktu siklus untuk setiap stasiun kerja adalah sebagai berikut.



Gambar 4.4 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (*Flow A*)



Gambar 4.5 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (*Flow B*)



Gambar 4.6 Diagram Waktu Siklus Setelah Optimasi (*Flow C*)

Dari grafik diatas dapat dilihat bahwa waktu siklus untuk masing-masing stasiun kerja lebih merata dibandingkan dengan waktu siklus sebelumnya. Namun, apabila kita melihat lebih jelas, untuk stasiun kerja terakhir menunjukkan perbedaan yang cukup jauh dibandingkan dengan stasiun-stasiun kerja yang lain. Hal ini disebabkan stasiun kerja yang terakhir, yaitu proses *Painting* merupakan elemen kerja yang harus dipisahkan/tidak boleh digabungkan dengan stasiun kerja yang lain karena proses pengerjaannya harus diluar pabrik.

Efisiensi lintasan setelah menggunakan metode *Line Balancing* juga menunjukkan peningkatan yang cukup signifikan untuk masing-masing *flow*. Hal ini ditandai dengan peningkatan efisiensi dari 50,57% menjadi 88,27% untuk *flow A*, dari 48,38% menjadi 89,34% untuk *flow B*, dan dari 50,23% menjadi 89,55% untuk *flow C*. Berikut adalah perbandingannya.

Tabel 4.10 Perbandingan Kondisi Lintasan Sebelum Dan Sesudah Optimasi

	<i>Flow A</i>		<i>Flow B</i>		<i>Flow C</i>	
	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah	Sebelum	Sesudah
Efisiensi	50,57%	88,27%	48,38%	89,34%	50,23%	89,55%
<i>Balance Delay</i>	49,43%	11,73%	51,62%	10,66%	48,77%	10,45%
Perbedaan	37,70%		40,96%		39,32%	
<i>Smoothness Index</i>	57,13	14,32	60,65	15,39	55,23	13,75

4.5.2 Perbandingan durasi waktu aktivitas

Berdasarkan hasil penghitungan dari Subbab 4.3, kita dapat mengetahui perbandingan durasi waktu aktivitas untuk masing-masing *flow*. Perbandingan ini dihitung berdasarkan presentase keberhasilan 90%. Berikut adalah perbandingannya.

Tabel 4.11 Durasi Pengerjaan *Flow* Berdasarkan Keberhasilan 90%

	<i>Flow A</i>	<i>Flow B</i>	<i>Flow C</i>
Durasi	31 jam	30 jam	31 jam

Dapat kita lihat dalam tabel diatas bahwa durasi pengerjaan *Flow B* merupakan pengerjaan yang paling cepat dibandingkan dengan dua *flow* lainnya, yaitu *Flow A* dan *Flow C*. Durasi yang lebih cepat ini diharapkan akan memberikan keuntungan yang juga lebih besar bagi perusahaan karena waktu produksinya akan lebih singkat dibandingkan dengan yang lain.

BAB V

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Kesimpulan yang dapat diambil dari penelitian ini adalah:

- Setelah dilakukannya *line balancing* pada lintasan produksi *Engine*, efisiensi lintasan produksi pada simulasi untuk *Flow A*, *Flow B*, dan *Flow C* terjadi peningkatan yang sangat signifikan dari yang sebelumnya masing-masing 50,57%, 48,38%, dan 50,23% menjadi 88,27%, 89,34%, dan 89,55%,.
- *Delay* (waktu menunggu) untuk setiap *flow* mengalami penurunan seiring dengan efisiensi yang semakin meningkat.
- Berdasarkan hasil penghitungan, durasi produksi untuk *Flow B* paling cepat dibandingkan dengan *flow-flow* yang lain, yaitu dengan durasi sekitar 30 jam dengan tingkat keberhasilan yang cukup tinggi, yaitu sebesar 90%. Sedangkan untuk *Flow A* dan *Flow C* dengan tingkat keberhasilan yang sama yaitu 90%, memerlukan durasi lebih lama yaitu masing-masing 31 jam.
- Karena durasi produksi untuk *Flow B* lebih cepat dibandingkan dengan *flow* yang lain, maka produk yang terdapat dalam *Flow B*, yaitu *Engine* tipe 3, 4, dan 5, perlu mendapat prioritas utama dalam proses remanufaktur *Engine* tipe besar.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penghitungan dan beberapa rekomendasi perbaikan yang dilakukan, diharapkan hasil penelitian dapat dipertimbangkan sebagai acuan kinerja remanufaktur untuk *Engine* tipe besar. Selain itu, diharapkan perusahaan tidak hanya menerapkan hasil penelitian ini di lapangan, tetapi juga mempertimbangkan pengurangan *Waste* (pemborosan), *Non-Added Value*, dan *disposal* produk industri. Hal ini dimaksudkan agar perusahaan tetap menjaga dan

meningkatkan kualitas sistem produksinya dengan tidak mengesampingkan aspek lingkungan yang menjadi ciri utama dalam perusahaan remanufaktur.

Untuk penelitian kedepannya diharapkan agar produk remanufaktur lain, seperti *Power Train, Engine* tipe kecil dan lain-lan, dapat ditingkatkan kualitas produksinya dan juga dapat diprioritaskan proses remanufacturnya. Hal ini dilakukan agar perusahaan bisa lebih selektif dalam pemilihan produk yang diremanufaktur untuk produk lain.

DAFTAR REFERENSI

- Banks, Jerry et. al., *Discrete-Event System Simulation, 4th edition*, (Prentice Hall International Series., 2005), halaman 5
- Clifford F. Gray and Erik W. Larson. *Project Management: The Managerial Process*, 2000, hal. 160-162
- Demirel, et al. 2008. *A Mixed Integer Programming Model for Remanufacturing in Reverse Logistics Environment*. International Journal Adv Manufacturing Technology (2008) 39:1197–1206.
- Falkenauer, E. 2005. *Line Balancing in the Real World*. Proceedings of the International Conference on Product Lifecycle Management PLM'05, 360 – 370.
- Guide Jr., V.D.R.. 2000. *Production Planning and Control for Remanufacturing: Industry Practice and Research Needs*. Journal of Operations Management 18 2000 467–483
- Hsiu-Hsueh Kao. 2011. *Resource Constrained Assembly Line Balancing Problem Solved with Ranked Positional Weight Rule*. Tamkang University.
- Lund, R. T. 1996. *The Remanufacturing Industry: Hidden Giant*. Boston University.
- Nasr, N., Hughson, C., Varel, E., Bauer, R., 1998. *State-of-the-Art Assessment of Remanufacturing Technology — Raft Document*. Rochester Institute of Technology.
- Parkinson and Thompson. 2003. *Analysis And Taxonomy of Remanufacturing Industry Practice*. Proc. Instn Mech. Engrs Vol. 217 Part E: J. Process Mechanical Engineering
- Ralph, M. Barnes, *Motion And Time Study: Design And Measurement of Work, 7th edition*, (New York: Wiley, 1980), halaman 257

LAMPIRAN

Lampiran 1. Tabel Daftar Stasiun Kerja Dan Elemen Kerja

No	Stasiun Kerja	Elemen Kerja	Cycle Time (sec)	
			Min	Max
1	Workstation 1 Washing	Water Jet	2250	3150
		Air Spray	600	900
		Deep Tank	15300	17100
		Rotary wire brush	1800	3600
		Air Spray II	600	900
		Cleaning (Solar)	600	900
		Spray	600	900
2	Workstation 2 Disassembly	Disassembly	37800	48600
		Visual Check	2250	3150
3	Workstation 3 Sub Assy 1	Disassembly	24300	26100
		Washing	4500	6300
		Visual Check	4950	5850
		Measurement	21600	28800
		Assembly	1800	3600
4	Workstation 4 Sub Assy 2	Disassembly	2250	3150
		Washing	2250	3150
		Visual Check	12150	13050
		Measurement	2250	3150
		Assembly	4950	5850
5	Workstation 5 Sub Assy 3	Disassembly	37800	48600
		Measurement	5400	7200
		Washing	4500	6300
		Assembly	19800	23400
		Test Performance	4500	6300
6	Workstation 6 Machining	Measurement	8100	9900
		Machining	8100	9900

7	Workstation 7 FIP Room	Disassembly	2250	3150
		Washing	4500	6300
		Measurement	4500	6300
		Assembly	4950	5850
		Test Performance	5400	7200
8	Workstation 8 Short Block	Measurement	14400	18000
		Short Block	2250	3150
		Prepare	5850	6750
		Assembly	16200	19800
9	Workstation 9 Main Assembly	Assembly	37800	48600
		Checking	7200	10800
10	Workstation 10 Dyno Room	Test Performance	64800	79200
11	Workstation 11 Painting	Painting	32400	36000

Lampiran 2. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 1
Washing

WS 1 Washing	Water Jet	Air Spray	Deep Tank	Rotary Wire Brush	Air Spray II	Cleaning	Spray
Jumlah	544058.6	148872.9	3247682	548288.7	148676.4	153540	150616
Waktu Rata-rata	2720.293	744.3646	16238.41	2741.443	743.3818	767.6998	753.0802
Standar Deviasi	265.7289	84.34312	516.3237	516.3148	89.8393	86.67403	84.12503
Batas Kontrol Atas	3251.751	913.0509	17271.06	3774.073	923.0604	941.0479	921.3303
Batas Kontrol Bawah	2188.835	575.6784	15205.76	1708.814	563.7032	594.3517	584.8301
Kecukupan Data	15.1911	20.43953	1.609534	56.46947	23.25155	20.29263	19.86603
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	2856.308	781.5829	17050.33	2878.516	780.5509	806.0848	790.7342

Lampiran 2. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 1
Washing (lanjutan)

Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	3420.728	936.0274	20419.56	3447.324	934.7915	965.371	946.9871

Lampiran 3. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 2
Disassembly

WS 2 Disassembly	Disassembly	Visual Check
Jumlah	8532104	538746.2
Waktu Rata-rata	42660.52	2693.731
Standar Deviasi	2998.233	255.4714
Batas Kontrol Atas	48656.98	3204.674
Batas Kontrol Bawah	36664.05	2182.788
Kecukupan Data	7.8636	14.31921
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05
Waktu Normal	44793.55	2828.418
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165
Waktu Standar	53644.96	3387.326

Lampiran 4. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 3
Subassy 1

WS 3 Sub Assy 1	Disassembly	Washing	Visual Check	Measurement	Assembly
Jumlah	5027375	5069956	542785.1	2517922	5044964
Waktu Rata-rata	25136.88	25349.78	2713.926	12589.61	25224.82

Lampiran 4. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 3
Subassy 1 (lanjutan)

Standar Deviasi	527.8219	2100.654	254.6396	272.6676	517.339
Batas Kontrol Atas	26192.52	29551.09	3223.205	13134.95	26259.5
Batas Kontrol Bawah	24081.23	21148.47	2204.647	12044.28	24190.14
Kecukupan Data	0.701932	10.9321	14.01519	0.746768	0.669634
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	26393.72	26617.27	2849.622	13219.09	26486.06
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	31609.25	31876.97	3412.721	15831.25	31719.84

Lampiran 5. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 4
Subassy 2

WS 4 Sub Assy 2	Disassembl y	Washin g	Visual Check	Measureme nt	Assembl y
Jumlah	1084789	539840.1	544357.2	535653.8	1071824
Waktu Rata-rata	5423.944	2699.2	2721.786	2678.269	5359.12
Standar Deviasi	511.4514	531.7325	258.6769	254.6746	521.0647

Lampiran 5. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 4
Subassy 2 (lanjutan)

Batas Kontrol Atas	6446.847	3762.66 5	3239.14	3187.618	6401.25
Batas Kontrol Bawah	4401.041	1635.73 6	2204.432	2168.92	4316.99 1
Kecukupan Data	14.15538	61.7816	14.37972	14.39482	15.0501
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	5695.141	2834.16	2857.875	2812.182	5627.07 6
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	6820.528	3394.20 4	3422.605	3367.883	6739.01 4

Lampiran 6. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 5
Subassy 3

WS 5 Sub Assy 3	Disassembly	Measurement	Washing	Assembly	Test Performance
Jumlah	1794284	541684.4	1081659	1267694	531591
Waktu Rata-rata	8971.42	2708.422	5408.297	6338.472	2657.955
Standar Deviasi	532.0237	258.0684	522.0291	522.1761	250.6758
Batas Kontrol Atas	10035.47	3224.559	6452.355	7382.824	3159.307
Batas Kontrol Bawah	7907.372	2192.285	4364.238	5294.12	2156.603

Lampiran 6. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 5
Subassy 3 (lanjutan)

Kecukupan Data	5.598641	14.45374	14.8324	10.80458	14.1603
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	9419.991	2843.843	5678.711	6655.396	2790.853
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	11281.43	3405.8	6800.852	7970.534	3342.339

Lampiran 7. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 6
Machining

WS 6 Machining	Measurement	Machining
Jumlah	1081040	8741475
Waktu Rata-rata	5405.202	43707.38
Standar Deviasi	240.5719	3111.342
Batas Kontrol Atas	5886.346	49930.06
Batas Kontrol Bawah	4924.059	37484.69
Kecukupan Data	3.153616	8.067318
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05
Waktu Normal	5675.463	45892.75
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165
Waktu Standar	6796.961	54961.37

Lampiran 8. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 7 FIP
Room

WS 7 FIP Room	Disassembly	Washing	Measurement	Assembly	Test Performance
Jumlah	1802195	1087981	1084415	3268982	1260710
Waktu Rata-rata	9010.976	5439.903	5422.077	16344.91	6303.552
Standar Deviasi	521.369	498.097	263.9587	978.0371	258.0323
Batas Kontrol Atas	10053.71	6436.097	5949.994	18300.98	6819.617
Batas Kontrol Bawah	7968.238	4443.709	4894.16	14388.84	5787.487
Kecukupan Data	5.329541	13.34715	3.772972	5.70018	2.667599
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	9461.525	5711.898	5693.181	17162.16	6618.73
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	11331.17	6840.597	6818.181	20553.48	7926.622

Lampiran 9. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 8 Short Block

WS 8 Short Block	Measurement	Short Block	Prepare	Assembly
Jumlah	1075407	4319013	1066880	3627230
Waktu Rata-rata	5377.037	21595.07	5334.398	18136.15
Standar Deviasi	259.8389	1020.921	520.706	1018.434
Batas Kontrol Atas	5896.714	23636.91	6375.81	20173.02
Batas Kontrol Bawah	4857.359	19553.22	4292.986	16099.28
Kecukupan Data	3.717623	3.558102	15.16902	5.020175
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05	0.05	0.05
Waktu Normal	5645.888	22674.82	5601.117	19042.96
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165	0.165	0.165
Waktu Standar	6761.543	27155.47	6707.925	22805.94

Lampiran 10. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 9 Main Assembly

WS 9 Main Assembly	Assembly	Checking
Jumlah	8652901	1806038
Waktu Rata-rata	43264.51	9030.192
Standar Deviasi	3235.147	1056.411
Batas Kontrol Atas	49734.8	11143.02
Batas Kontrol Bawah	36794.21	6917.37
Kecukupan Data	8.901589	21.78789
Faktor Penyesuaian	0.05	0.05
Waktu Normal	45427.73	9481.702
Faktor Kelonggaran	0.165	0.165
Waktu Standar	54404.47	11355.33

Lampiran 11. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 10
Dyno Room

WS 10 Dyno Room	Test Performance
Jumlah	14344158
Waktu Rata-rata	71720.79
Standar Deviasi	4560.811
Batas Kontrol Atas	80842.41
Batas Kontrol Bawah	62599.17
Kecukupan Data	6.437795
Faktor Penyesuaian	0.05
Waktu Normal	75306.83
Faktor Kelonggaran	0.165
Waktu Standar	90187.82

Lampiran 12. Tabel Data Waktu Normal Dan Waktu Standar Workstation 11
Painting

WS 11 Painting	Painting
Jumlah	6839862
Waktu Rata-rata	34199.31
Standar Deviasi	1080.791
Batas Kontrol Atas	36360.89
Batas Kontrol Bawah	32037.73
Kecukupan Data	1.589979
Faktor Penyesuaian	0.05
Waktu Normal	35909.27
Faktor Kelonggaran	0.165
Waktu Standar	43005.12

Lampiran 13. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk Flow A

No	Elemen Kerja	Opt	Pes	Opt	Pes	te	te ²
1	Water Jet	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
2	Air Spray	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
3	Deep Tank	15300	17100	4.25	4.75	0.0833	0.0069
4	Rotary wire brush	1800	3600	0.5	1	0.0833	0.0069
5	Air Spray II	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
6	Cleaning (Solar)	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
7	Spray	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
8	Disassembly_WS2	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
9	Visual Check_WS2	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
10	Disassembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
11	Washing_WS3	21600	28800	6	8	0.3333	0.1111
12	Visual Check_WS3	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
13	Measurement_WS3	12150	13050	3.375	3.625	0.0417	0.0017
14	Assembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
25	Measurement_WS6	4950	5850	1.375	1.625	0.0417	0.0017
26	Machining_WS6	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
36	Assembly	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
37	Checking	7200	10800	2	3	0.1667	0.0278
38	Test Performance_WS10	64800	79200	18	22	0.6667	0.4444
39	Painting	32400	36000	9	10	0.1667	0.0278
Total							1.3983
TE							1.1825

Lampiran 14. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk Flow B

No	Elemen Kerja	Opt	Pes	Opt	Pes	te	te ²
1	Water Jet	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
2	Air Spray	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
8	Disassembly_WS2	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
9	Visual Check_WS2	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
10	Disassembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
11	Washing_WS3	21600	28800	6	8	0.3333	0.1111
12	Visual Check_WS3	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
13	Measurement_WS3	12150	13050	3.375	3.625	0.0417	0.0017
14	Assembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
25	Measurement_WS6	4950	5850	1.375	1.625	0.0417	0.0017
26	Machining_WS6	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
36	Assembly	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
37	Checking	7200	10800	2	3	0.1667	0.0278
38	Test Performance_WS10	64800	79200	18	22	0.6667	0.4444
39	Painting	32400	36000	9	10	0.1667	0.0278
Total							1.3839
TE							1.1764

Lampiran 15. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk Flow C

No	Elemen Kerja	Opt	Pes	Opt	Pes	te	te ²
1	Water Jet	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
2	Air Spray	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
3	Deep Tank	15300	17100	4.25	4.75	0.0833	0.0069

Lampiran 15. Tabel Penghitungan Standar Deviasi Proyek Untuk Flow C
(lanjutan)

4	Rotary wire brush	1800	3600	0.5	1	0.0833	0.0069
5	Air Spray II	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
6	Cleaning (Solar)	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
7	Spray	600	900	0.166667	0.25	0.0139	0.0002
8	Disassembly_WS2	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
9	Visual Check_WS2	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
10	Disassembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
11	Washing_WS3	21600	28800	6	8	0.3333	0.1111
12	Visual Check_WS3	2250	3150	0.625	0.875	0.0417	0.0017
13	Measurement_WS3	12150	13050	3.375	3.625	0.0417	0.0017
14	Assembly_WS3	24300	26100	6.75	7.25	0.0833	0.0069
36	Assembly	37800	48600	10.5	13.5	0.5000	0.2500
37	Checking	7200	10800	2	3	0.1667	0.0278
38	Test Performance_WS10	64800	79200	18	22	0.6667	0.4444
39	Painting	32400	36000	9	10	0.1667	0.0278
Total							1.1466
TE							1.0708

Lampiran 16. Precedence Table Engine

No	Elemen Kerja	Precedence
1	Water Jet	-
2	Air Spray	1
3	Deep Tank	9
4	Rotary wire brush	3
5	Air Spray II	4
6	Cleaning (Solar)	5
7	Spray	6
8	Disassembly	2
9	Visual Check	8
10	Disassembly_SA1	7,9
11	Washing_SA1	10
12	Visual Check_SA1	11
13	Measurement_SA1	12
14	Assembly_SA1	13
15	Disassembly_SA2	7,9
16	Washing_SA2	15
17	Visual Check_SA2	16
18	Measurement_SA2	17
19	Assembly_SA2	18
20	Disassembly_SA3	7,9
21	Measurement_SA3	20
22	Washing_SA3	21
23	Assembly_SA3	22
24	Test Performance_SA3	23
25	Measurement_mach	13,18,32
26	Machining	25
27	Disassembly_FIP	7,9
28	Washing_FIP	27
29	Measurement_FIP	28
30	Assembly_FIP	29
31	Test Performance_FIP	30
32	Measurement_SB	7,9
33	Short Block_SB	32
34	Prepare_SB	33
35	Assembly_SB	34
36	Assembly	14,19,24,31,35
37	Checking	36
38	Test Performance	37
39	Painting	38

Engine
ID= Engine_Awal
Material awal proses remanufaktur

Lampiran 17. Unified Modeling Language Engine (Damage Core)

Sub Assembly 1
ID= Subassy_1
Material hasil pembongkaran disassembly

Lampiran 18. Unified Modeling Language Sub Assembly 1

Part 1 Sub Assy 1
ID= SubPart1_SA1
Material hasil pembongkaran Sub Assy 1

Lampiran 19. Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 1

Part 2 Sub Assy 1
ID= SubPart2_SA1
Material hasil pembongkaran Sub Assy 1

Lampiran 20. *Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 1*

Part 3 Sub Assy 1
ID= SubPart3_SA1
Material hasil pembongkaran Sub Assy 1

Lampiran 21. *Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 1*

Sub Assembly 2
ID= Subassy_2
Material hasil pembongkaran disassembly

Lampiran 22. *Unified Modeling Language Sub Assembly 2*

Part 1 Sub Assy 2
ID= SubPart1_SA2
Material hasil pembongkaran Sub Assy 2

Lampiran 23. *Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 2*

Part 2 Sub Assy 2
ID= SubPart2_SA2
Material hasil pembongkaran Sub Assy 2

Lampiran 24. *Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 2*

Part 3 Sub Assy 2
ID= SubPart3_SA2
Material hasil pembongkaran Sub Assy 2

Lampiran 25. *Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 2*

Sub Assembly 3
ID= Subassy_3
Material hasil pembongkaran disassembly

Lampiran 26. *Unified Modeling Language Sub Assembly 3*

Part 1 Sub Assy 3
ID= SubPart1_SA3
Material hasil pembongkaran Sub Assy 3

Lampiran 27. *Unified Modeling Language Part 1 Sub Assembly 3*

Part 2 Sub Assy 3
ID= SubPart2_SA3
Material hasil pembongkaran Sub Assy 3

Lampiran 28. *Unified Modeling Language Part 2 Sub Assembly 3*

Part 3 Sub Assy 3
ID= SubPart3_SA3
Material hasil pembongkaran Sub Assy 3

Lampiran 29. *Unified Modeling Language Part 3 Sub Assembly 3*

Turbo Charger
ID= TurboCharger
Material hasil pembongkaran main disassembly

Lampiran 30. *Unified Modeling Language Turbo Charger*

Part 1 Turbo Charger
ID= SubPart1_FIP
Material hasil pembongkaran FIP Room

Lampiran 31. *Unified Modeling Language Part 1 Turbo Charger*

Part 2 Turbo Charger
ID= SubPart2_FIP
Material hasil pembongkaran FIP Room

Lampiran 32. *Unified Modeling Language Part 2 Turbo Charger*

Washing 1 Engine
ID= WS1_1_Washing
1 Membersihkan dengan water jet
2 Mengeringkan dengan air spray

Lampiran 33. *Unified Modeling Language WS 1 Engine 1*

Main Disassembly
ID= WS2_Disassy
Membongkar Engine

Lampiran 34. *Unified Modeling Language WS 2 Disassembly*

Washing 2 WS 4
ID= WS1_2_Washing_Subassy1
Melakukan proses deep tank

Lampiran 35. *Unified Modeling Language Washing 2 WS 4*

Washing 2 WS 5
ID= WS1_2_Washing_Subassy2
Melakukan proses deep tank

Lampiran 36. *Unified Modeling Language Washing 2 WS 5*

Washing 2 Short Block
ID= WS1_2_Washing_ShortBlock
Melakukan proses deep tank

Lampiran 37. *Unified Modeling Language Washing 2 Short Block*

WS 3 Subassy 1
ID= WS3_Subassy1
1 Melakukan pengecekan
2 Melakukan machining
3 Melakukan penggantian part

Lampiran 38. *Unified Modeling Language WS 3*

WS 4 Subassy 2
ID= WS4_Subassy2
1 Melakukan pengecekan
2 Melakukan machining
3 Melakukan penggantian part

Lampiran 39. *Unified Modeling Language WS 4*

WS 5 Subassy 3
ID= WS5_Subassy3
1 Melakukan pengecekan
2 Melakukan machining
3 Melakukan penggantian part

Lampiran 40. *Unified Modeling Language WS 5*

WS 7 FIP Room
ID= WS7_FIPRoom
1 Melakukan pengecekan
2 Melakukan penggantian part

Lampiran 41. *Unified Modeling Language WS 7*

WS 8 Short Block
ID= WS8_ShortBlock
1 Melakukan pengecekan
2 Melakukan penggantian part

Lampiran 42. *Unified Modeling Language WS 8*

WS 9 Main Assembly
ID= WS9_MainAssembly
Melakukan assembly Engine

Lampiran 43. *Unified Modeling Language WS 9*

WS 10 Dyno Room
ID= WS10_DynoRoom
Melakukan pengetesan Engine

Lampiran 44. *Unified Modeling Language WS 10*

WS 11 Painting
ID= WS11_Painting
Melakukan proses pengecatan

Lampiran 45. *Unified Modeling Language WS 11*