



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMASI TATA LETAK GUDANG BODY ASSY PART
DENGAN SIMULASI PROMODEL**

SKRIPSI

**NINDA DEA MONICA
0706201185**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
2009**



UNIVERSITAS INDONESIA

**OPTIMASI TATA LETAK GUDANG BODY ASSY PART
DENGAN SIMULASI PROMODEL**

SKRIPSI

**Diajukan sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar
Sarjana Teknik**

**NINDA DEA MONICA
0706201185**

**UNIVERSITAS INDONESIA
FAKULTAS TEKNIK
PROGRAM STUDI TEKNIK INDUSTRI
DEPOK
2009**

HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS

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

Nama : Ninda Dea Monica

NPM : 0706201185

Tanda Tangan :

Tanggal : 23 Desember 2009

HALAMAN PENGESAHAN

Skripsi ini diajukan oleh :
Nama : Ninda Dea Monica
NPM : 0706201185
Program Studi : Teknik Industri
Judul Skripsi : Optimasi Tata Letak Gudang Body Assy Part Dengan Simulasi Promodel

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. Boy Nurtjahyo M., MSIE

Penguji : Ir. Isti Surjandari, Ph.D

Penguji : Ir. Amar Rachman, MEIM

Penguji : Arian Dhini, ST, MT



(.....)
(.....)
(.....)
(.....)

Ditetapkan di : Salemba

Tanggal : 30 Desember 2009

KATA PENGANTAR

Puji syukur saya panjatkan kepada Tuhan Yang Maha Esa, karena atas berkat dan rahmat-Nya, saya dapat menyelesaikan skripsi ini. Penulisan skripsi ini dilakukan dalam rangka memenuhi salah satu syarat untuk mencapai gelar Sarjana Teknik Jurusan Teknik Industri pada Fakultas Teknik Universitas Indonesia. Saya menyadari bahwa, tanpa bantuan dan bimbingan dari berbagai pihak, sangatlah sulit bagi penulis untuk menyelesaikan skripsi ini. Oleh karena itu, saya mengucapkan terima kasih kepada:

1. Ir. Boy Nurtjahyo MSIE selaku dosen pembimbing yang telah menyediakan waktu, tenaga dan pikiran untuk mengarahkan saya dalam penyusunan skripsi;
2. Ibu Ir. Isti Surjandari, Ph.D, Bapak Ir. Amar Rachman, MEIM, Ibu Arian Dhini, ST, MT selaku dosen penguji skripsi;
3. Ibu saya yang telah memberikan dukungan baik moral dan material serta doanya yang tidak putus untuk anaknya Dea. Adik-adik saya, Dila dan Andin, terima kasih atas doa dan perhatiannya selama penyusunan skripsi ini;
4. Semua sahabat Program Ektensi Teknik Industri Salemba 2007, Haris, Fadil, Dwi, Vano, Roy, Ondo, Ulya, Feri, Jejen, Andi, Weny Abu, Zuan, Nana yang telah banyak memberikan dukungan, tempat berbagi, memberikan ide baik untuk skripsi dan kuliah selama 2,5 tahun ini. Tetap bersahabat sampai kakek nenek;
5. Teman-teman Program Ektensi Teknik Industri Salemba 2007 yang tidak bisa disebutkan satu per satu terima kasih atas kerja sama, canda tawa, semoga menjadi kenangan yang tak terlupakan selama 2,5 tahun kuliah.
6. Pa Ali, Pa Joko, Mas Arif, Pa Sigit, Netty, Wita, Adit, Diah yang telah membantu dalam pengumpulan data di kantor dalam penyusunan skripsi ini.

Akhir kata, saya berharap Tuhan Yang Maha Esa berkenan membalas segala kebaikan semua pihak yang telah membantu. Semoga skripsi ini membawa manfaat bagi pengembangan ilmu.

Salemba, Desember 2009

Penulis

HALAMAN PERNYATAAN PERSETUJUAN PUBLIKASI TUGAS AKHIR UNTUK KEPENTINGAN AKADEMIS

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

Nama : Ninda Dea Monica
NPM : 0706201185
Program Studi : 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:

Optimasi Tata Letak Gudang Body Part Dengan Simulasi Promodel.

beserta perangkat yang ada (jika diperlukan). Dengan Hak Bebas Royalti Noneksklusif ini Universitas Indonesia berhak menyimpan, mengalihmedia/formatkan, mengelola dalam bentuk pangkalan data (*database*), merawat, dan memublikasikan 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 : 30 Desember 2009

Yang menyatakan

(Ninda Dea Monica)

ABSTRAK

Nama : Ninda Dea Monica
Program Studi : Teknik Industri
Judul : Optimasi Tata Letak Gudang Body Assy Part Dengan Simulasi Promodel

Bertambahnya volume produksi pada PT. X menyebabkan banyaknya material yang dibutuhkan untuk memenuhi permintaan pasar. Gudang body assy part di PT. X merupakan gudang yang paling banyak menerima material dari vendor sehingga sering terjadi antrian truk dari vendor, sedangkan sumber daya dan peralatan dan fasilitas terbatas. Salah satu cara untuk mempercepat proses pengiriman barang adalah dengan tata letak gudang baik. Dengan penataan yang baik dan jarak tempuh yang pendek dan sesuai dengan ruang pergerakan material diharapkan dapat mempercepat waktu pelayanan.

Penelitian ini menggunakan metode simulasi untuk memperoleh gambaran mengenai kondisi gudang body assy part berkaitan dengan tata letak, jumlah material, kapasitas, tingkat kedatangan truk, jarak tempuh. Dari hasil simulasi akan terlihat berapa waktu tunggu, waktu pelayanan dan banyak antrian. Dari hasil tersebut kemudian dicari solusi alternatif layout untuk mengurangi waktu tunggu dan antrian truk.

Hasil dari penelitian ini adalah berkurangnya waktu tunggu, waktu pelayanan dan antrian truk.

Kata kunci:

Gudang, simulasi, waktu tunggu dan pelayanan, antrian.

ABSTRACT

Name : Ninda Dea Monica
Study Program : Industrial Engineering
Title : Optimization Layout of Body Assembling Part's Storage Using Promodel Simulation.

Increasing of motorcycle production in PT.X results more materials to meet the demand of market. Body assy part's storage in PT. X is one of the biggest receiving place of materials from supplier. This resulted the increasing amount of suppliers's truck in this area which results increasing of waiting time and queuing of truck to be served on the unloading material process. The Solution of this case is re-layout body assy part's storage, with short the distance, suitable space for movement of material flow which can reduce the service and waiting time, and queuing of truck.

This study used simulation methods to obtain a description of conditions in the body assy's storage related to layout, number of truck, capacity area, truck arrival rate. From the results of the simulation will be analyzed the waiting time and queuing truck. From the results, obtaining the layout solution to reduce the waiting time and the queuing of truck.

The result shows decreasing waiting time and queuing of truck.

Keywords:

Storage,service, simulation, waiting and service time, queuing.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PERNYATAAN ORISINALITAS.....	ii
HALAMAN PERSETUJUAN.....	iii
KATA PENGANTAR.....	iv
LEMBAR PERSETUJUAN PUBLIKASI KARYA ILMIAH.....	v
ABSTRAK.....	vi
DAFTAR ISI.....	viii
DAFTAR TABEL.....	xi
DAFTAR GAMBAR.....	xii
BAB 1 PENDAHULUAN.....	1
1.1 LATAR BELAKANG.....	1
1.2 DIAGRAM KETERKAITAN MASALAH.....	2
1.3 RUMUSAN PERMASALAHAN.....	3
1.4 TUJUAN PENELITIAN.....	3
1.5 RUANG LINGKUP PENELITIAN.....	3
1.6 METODOLOGI PENELITIAN.....	4
1.7 SISTEMATIKA PENULISAN.....	6
BAB 2 DASAR TEORI.....	7
2.1.1 DEFINISI TATA LETAK PABRIK.....	7
2.1.2 PROSES DASAR PERANCANGAN TATA LETAK PABRIK.....	8
2.1.3 TEKNIK ANALISA ALIRAN BAHAN.....	9
2.1.4 KETERKAITAN KEGIATAN.....	10
2.1.4.1 <i>ACTIVITY RELATION CHART</i>	10
2.1.5 CIRI-CIRI TATA LETAK YANG BAIK	11
2.2 PENGERTIAN DAN FUNGSI GUDANG	12
2.2.1 MANFAAT GUDANG.....	12
2.2.2 JENIS GUDANG.....	13
2.2.3 PENGAWASAN GUDANG.....	14
2.3 PERMODELAN SISTEM.....	17
2.3.1. SISTEM.....	17
2.3.1.1 ELEMEN-ELEMEN SISTEM.....	18
2.3.1.2 KOMPLEKSITAS SISTEM	19
2.3.1.3 MATRIKS PERFORMAS SISTEM.....	20
2.3.1.4 VARIABEL-VARIABEL SISTEM	22

2.3.15. OPTIMASI SISTEM.....	23
2.3.2 MODEL	24
2.3.3 SIMULASI.....	25
2.3.3.1 JENIS-JENIS SIMULASI	28
2.3.3.2 <i>SOFTWARE</i> SIMULASI.....	30
2.3.3.3 LANGKAH-LANGKAH DALAM SIMULASI	31
2.4 SISTEM ANTRIAN.....	36
2.4.1 DEFINISI ANTRIAN.....	36
2.4.2 KOMPONEN-KOMPONEN DASAR ANTRIAN.....	37
2.4.3 DISIPLIN ANTRIAN.....	38
2.4.4 STRUKTUR ANTRIAN.....	39
2.4.5 MEKANISME PELAYANAN.....	40
2.4.6 MODEL-MODEL ANTRIAN.....	41
2.5. STATISTIK.....	42
2.5.1 DATA.....	42
2.5.1.1 <i>SAMPLING</i>	43
2.5.1.2 UJI KECUKUPAN DATA.....	44
2.5.2 PROBABILITAS.....	45
2.5.2.1 DISRIBUSI PROBABILITAS.....	46
2.5.2.2 DISTRIBUSI NORMAL.....	46
2.5.2.3 DISTRIBUSI UNIFORM.....	47
2.5.2.4 DISTRIBUSI TRIANGULAR.....	47
2.5.2.5 DISTRIBUSI BINOMIAL.....	47
2.5.2.6 DISTRIBUSI POISSON.....	48
2.5.2.7 DISTRIBUSI EKSPONENSIAL.....	48
2.6 PENGUKURAN WAKTU KERJA.....	49
2.6.1 PERHITUNGAN STANDAR WAKTU KERJA.....	50
2.6.2 FAKTOR PENYESUAIAN.....	50
2.6.3 FAKTOR KELONGGARAN.....	53
BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA.....	55
3.1 DATA STRUKTURAL.....	55
3.1.1 JENIS MATERIAL.....	55
3.1.2 <i>LAYOUT</i> GUDANG <i>BODY ASSY PART</i>	56
3.1.3 FASILITAS.....	57
3.1.4 JUMLAH KARYAWAN.....	57
3.1.5 KAPASITAS AREA PENEMPATAN.....	57
3.2 DATA OPERASIONAL.....	59
3.2.1 ALIRAN PROSES MATERIAL.....	59
3.2.2. KEDATANGAN TRUK.....	60

3.3 DATA NUMERIK.....	61
3.3.1 JUMLAH MATERIAL PER KEDATANGAN TRUK.....	61
3.3.2 WAKTU PROSES.....	62
3.3.3 JARAK TEMPUH.....	64
3.3.4 STANDAR WAKTU TEMPUH.....	65
BAB 4 MODEL DAN ANALISA.....	66
4.1 ANALISA TATA LETAK.....	66
4.1.1 <i>LAYOUT</i> ALTERNATIF A.....	67
4.1.2 <i>LAYOUT</i> ALTERNATIF B.....	68
4.1.3 KAPASITAS.....	70
4.1.4 JARAK TEMPUH.....	73
4.2 FORMULASI MODEL.....	74
4.2.1 ELEMEN STRUKTURAL.....	75
4.2.1.1 LAYOUT MODEL.....	75
4.2.1.2 ENTITAS.....	75
4.2.1.3 LOKASI.....	76
4.2.1.4 SUMBER DAYA.....	77
4.2.2. ELEMEN OPERASIONAL.....	77
4.2.2.1 KEDATANGAN.....	77
4.2.2.2 <i>LOGIC</i> MODEL.....	78
4.2.3 <i>OUTPUT</i> MODEL.....	79
4.3 VERIFIKASI MODEL DAN VALIDASI MODEL.....	80
4.4 ANALISA OUTPUT.....	80
4.4.1 ANALISA SIMULASI LAYOUT AKTUAL.....	81
4.4.2 ANALISA SIMULASI LAYOUT ALTERNATIF A.....	82
4.4.3 ANALISA SIMULASI LAYOUT ALTERNATIF B.....	83
4.5 KOMPARASI HASIL.....	84
BAB 5 KESIMPULAN DAN SARAN.....	85
DAFTAR REFERENSI.....	86

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1. Simbol Peta Keterkaitan Kegiatan.....	11
Tabel 2.2 Contoh Variabilitas Sistem	20
Tabel 2.3. <i>Performance Rating Westinghouse</i>	52
Tabel 2.4 Besarnya <i>Allowance</i> Berdasarkan Faktor-Faktor yang Berpengaruh.....	54
Tabel 3.1. <i>Jenis Material Body Assy Part</i>	55
Tabel 3.2. Kapasitas dan Ukuran Aktual Area <i>Gudang Body Assy Part</i>	57
Tabel 3.3. Kedatangan Truk.....	60
Tabel 3.4. Jumlah Material per Kedatangan Truk.....	61
Tabel 3.5. Waktu Proses.....	62
Tabel 3.6. Tabel <i>Allowance</i>	63
Tabel 3.7 Tabel <i>Rating factor</i>	63
Tabel 3.8 Jarak Tempuh.....	64
Tabel 3.9 <i>Time Study</i> Waktu Tempuh Operator Sejauh 4 Meter.....	65
Tabel 4.1 Ukuran, Kapasitas Area Gudang <i>Body Assy Part Layout</i> Alternatif A....	70
Tabel 4.2 Ukuran, Kapasitas Area Gudang <i>Body Assy Part Layout</i> Alternatif B....	71
Tabel 4.3 Jarak Tempuh layout Alternatif A.....	73
Tabel 4.4 Jarak Tempuh layout Alternatif B.....	74
Tabel 4.5 Kedatangan Truk Pada <i>Promodel</i>	78
Tabel 4.6 Komparasi Hasil.....	84

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah.....	3
Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian.....	5
Gambar 2.1.Langkah Utama dalam Mendisain Pabrik	8
Gambar 2.2.Elemen-Element Sistem.....	18
Gambar 2.3. Contoh Simulasi (a) Deterministik dan (b) Stokastik.....	29
Gambar 2.4. Perbandingan Simulasi Diskrit dan Kontinyu.....	29
Gambar 2.5. Langkah-Langkah Dalam Simulasi	32
Gambar 2.6. Struktur Antrian <i>Single Channel – Single Phase</i>	39
Gambar 2.7. Struktur Antrian <i>Single Channel – Multi Phase</i>	39
Gambar 2.8. Struktur Antrian <i>Multi Channel – Single Phase</i>	39
Gambar 2.9. Struktur Antrian <i>Multi Channel – Multi Phase</i>	40
Gambar 2.10. Prosedur Urutan Pengukuran Waktu Kerja.....	50
Gambar 3.1. Layout Area Gudang <i>Body Assy Part</i>	56
Gambar 3.2. Aliran Material.....	59
Gambar 4.1 <i>Activity Relationship Chart (ARC)</i>	66
Gambar 4.2. Layout Alternatif A.....	67
Gambar 4.3. Layout Alternatif B.....	69
Gambar 4.4. Entitis Pada <i>Promodel</i>	75
Gambar 4.5. Lokasi Pada <i>Promodel</i>	76
Gambar 4.6 Sumber Daya Pada <i>Promodel</i>	77
Gambar 4.7 <i>Stat Fit</i>	78

Gambar 4.8. *Logic Model* Pada *Promodel*..... 79

Gambar 4.9 Grafik Jumlah Antrian Truk Layout Aktual *Promodel*..... 81

Gambar 4.10 Grafik Jumlah Antrian Truk Layout Alternatif A *Promodel*..... 82

Gambar 4.11.Grafik Jumlah Antrian Truk Layout Alternatif B *promodel*..... 83



BAB 1 PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

“Ride fast or you will fall” pernyataan ini merupakan gambaran bisnis yang kompetitif pada saat ini. Pada umumnya setiap industri yang bergerak dalam bidang produksi akan berusaha untuk melakukan produksi seoptimal mungkin sehingga dapat memaksimalkan produk yang berkualitas dan biaya yang seminimal mungkin dan dapat memenuhi permintaan pasar, memastikan produk yang dihasilkan secara cepat sehingga tercapainya kepuasan pelanggan dimana salah satu diantaranya adalah dengan merencanakan susunan tata letak pabrik. Tata letak pabrik merupakan komponen yang penting pada proses produksi.

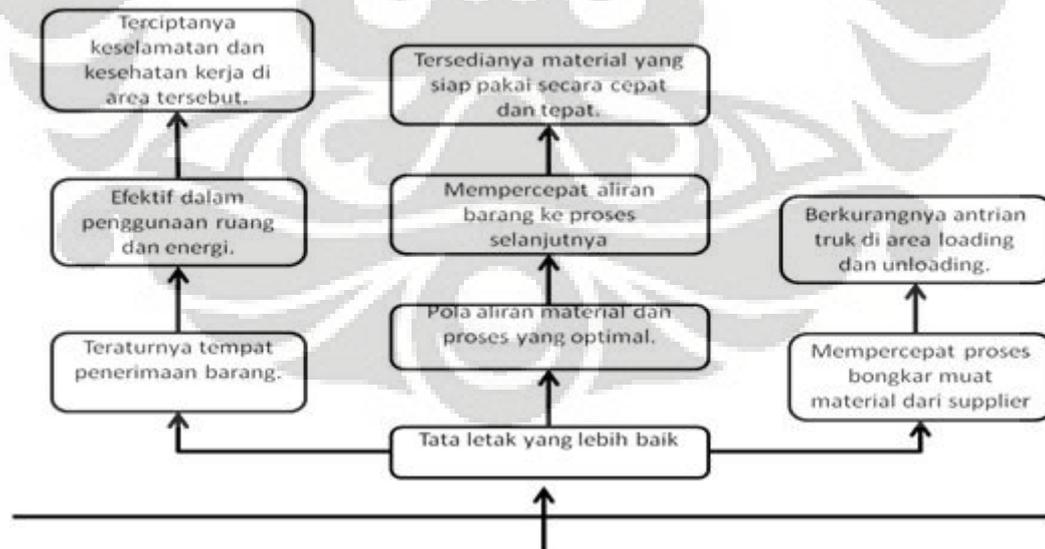
Perancangan tata letak pabrik dapat didefinisikan sebagai perencanaan dan pengintegrasian lintasan dan aliran komponen produk untuk memperoleh kombinasi yang efektif dan ekonomis (apple, 1990). Dalam perkembangannya, perencanaan tata letak pabrik adalah pengaturan dari fasilitas, seperti gedung, tenaga kerja, mesin, peralatan, dan pergerakan bahan baku yang dilakukan bersama-sama dari saat penerimaan melalui tahap pengolahan menuju pengiriman produk jadi. Dengan tata letak yang baik, sebuah pabrik dapat menghasilkan produksi yang maksimal dengan kondisi aktivitas produksi yang optimal.

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang pembuatan sepeda motor. Jumlah motor yang dihasilkan perharinya mencapai kurang lebih 6000 unit. Dalam operasional pabriknya terdapat area yang diperuntukan sebagai area unloading (bongkar muat barang dari supplier) dan juga sebagai area loading (pengembalian box kepada supplier). Pada saat ini PT. X memiliki lebih dari 100 supplier dimana supplier-supplier tersebut setiap harinya mengirimkan barang kepada PT. X dengan menggunakan truk masing-masing. Kini Jumlah kedatangan truk mencapai lebih dari 100 truk setiap harinya pada perusahaan ini. Di area loading dan unloading ini juga terdapat area pengecekan barang, area penerimaan dokumen, area box kosong.

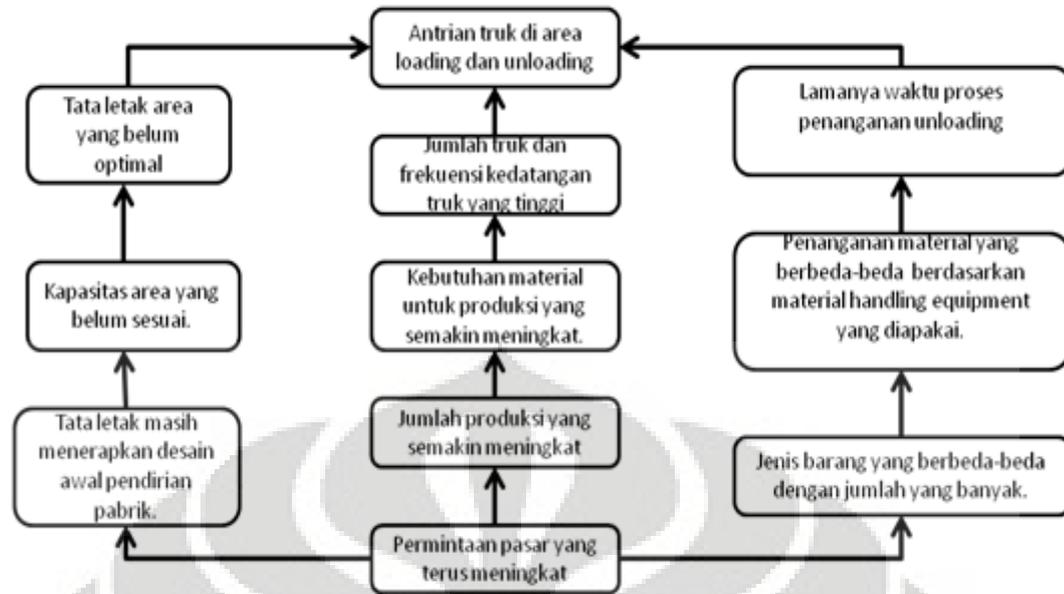
Di area loading dan unloading terutama area unloading *body assy part* ini sering terjadi *bottle neck* sehingga mengakibatkan banyak truk yang mengantri panjang untuk proses bongkar muat tersebut. Hal tersebut tentunya berdampak pada aliran barang menuju proses produksi sehingga dapat menghambat proses assembling. Antrian tersebut disebabkan karena penanganan material yang berbeda-beda setiap jenisnya. Masing-masing material yang dikirim oleh supplier ditangani dengan alat angkut yang berbeda-beda seperti *lifter*, *forklift*, *daisha* (kereta pengangkut barang). Material yang belum jelas pola alirannya serta luas area lantai yang tidak tepat dengan kapasitas juga menjadi penyebab penumpukan barang di area gudang menjadikan tata letak area gudang ini tidak efisien penanganan material terhadap waktu sehingga dapat menyebabkan organisasi berhenti beraktivitas sehingga menimbulkan pemborosan. Hal inilah yang akan penulis angkat sebagai masalah dalam pembuatan tugas akhir.

1.2 Diagram Keterkaitan Masalah

Berikut ini adalah gambar diagram keterkaitan masalah yang menjelaskan bagaimana masalah tersebut dapat terjadi beserta tujuan dari penelitian masalah tersebut.



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah (bag. Solusi)



Gambar 1.1 Diagram Keterkaitan Masalah (bag. permasalahan, lanjutan)

1.3 Rumusan Permasalahan

Rumusan masalah dari penelitian ini adalah antrian truk pada proses unloading material dari truk vendor pada area gudang *part body assy* disebabkan banyaknya jumlah truk yang datang dengan kedatangan truk yang tidak terjadwal/pola kedatangannya *random* (acak).

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan dilakukannya penelitian adalah memperoleh tata letak area storage yang lebih baik yang digambarkan dengan simulasi *promodel*.

1.5 Ruang Lingkup Penelitian

Fokus penelitian yang akan dilakukan dibatasi pada hal-hal berikut:

1. Penelitian dilakukan pada area loading dan unloading *body assy part* saja yang menjadi kendala selama ini dalam proses penerimaan barang.
2. Waktu pelayanan dihitung sejak truk parkir sampai dengan penempatan part di area penempatan masing-masing.
3. Pembuatan model dan simulasi menggunakan *software Promodel 7*.
4. Simulasi hanya terjadi dalam komputer tanpa diimplementasikan di lapangan.

1.6 Metodologi Penelitian

Metodologi yang digunakan pada penelitian ini dapat dibagi menjadi enam tahap, yaitu tahap pemilihan topik penelitian, tahap pemahaman dasar teori, tahap pengumpulan data, tahap pengolahan data, tahap analisa, serta tahap pembuatan kesimpulan.

1. Tahap awal penelitian, meliputi:

- menetapkan topik penelitian
- menentukan rumusan masalah dari topik yang akan diteliti
- menentukan tujuan dari penelitian.

2. Tahap pemahaman dasar teori, meliputi:

- menentukan dasar teori yang diperlukan untuk menyelesaikan penelitian
- membaca dan mempelajari dasar teori.

3. Tahap pengumpulan data, meliputi:

- menyusun konsep model dengan menggunakan *flowchart*
- mengumpulkan data struktural, data operasional, dan data numerik baik berupa data primer maupun sekunder.

4. Tahap pengolahan data, meliputi:

- memperbaiki dan menyesuaikan konsep model
- membuat model dengan menggunakan *software ProModel 7*
- melakukan verifikasi dan validasi model

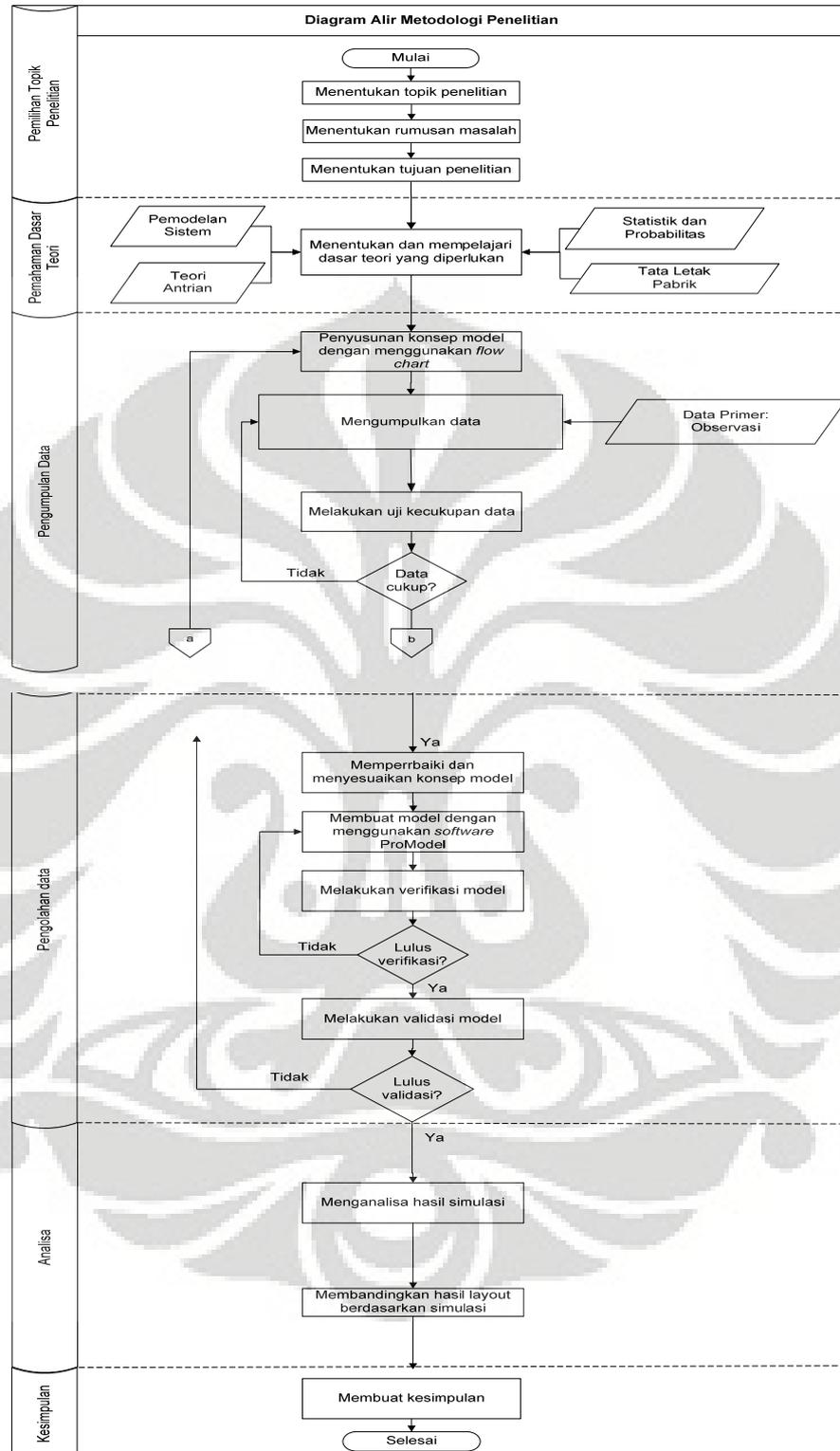
5. Tahap analisa, meliputi:

- menganalisa hasil simulasi.
- membandingkan *layout* aktual, *layout* alternatif A dan alternatif B.

6. Tahap pembuatan kesimpulan

Merupakan tahap terakhir yang membahas mengenai ringkasan dari keseluruhan penelitian dan hasil yang telah diperoleh.

Diagram alir metodologi penelitian tersebut dapat dilihat pada gambar berikut ini:



Gambar 1.2 Diagram Alir Metodologi Penelitian

1.7 Sistematika Penulisan

Penelitian ini terdiri atas lima bab secara berurutan berdasarkan urutan sistematis dan kronologis proses pengerjaan penelitian yaitu bagian pendahuluan, bagian dasar teori, bagian pengumpulan dan pengolahan data, bagian pembuatan model dan analisa eksperimen, dan bagian kesimpulan dan saran.

Bagian pendahuluan memberikan penjelasan mengenai latar belakang pemilihan topik penelitian. Kemudian dibuat diagram mengenai berbagai masalah yang saling berkaitan dengan topik penelitian dan rumusan masalah yang akan diteliti. Setelah itu, ditetapkan tujuan penelitian ini dan juga ruang lingkup penelitian ini. Bagian ini juga menjelaskan metodologi penelitian dan sistematika penulisan.

Bagian dasar teori memberikan landasan ilmiah untuk proses pengerjaan penelitian ini. Landasan ilmiah yang mendukung proses penelitian ini adalah pemodelan sistem, teori antrian, dan statistik. Landasan ilmiah ini diambil dari berbagai sumber seperti buku, jurnal, artikel, karya ilmiah dan tulisan dari internet.

Bagian pengumpulan dan pengolahan data memberikan pembahasan mengenai pengumpulan data yaitu jenis-jenis data yang dibutuhkan beserta sumber-sumber yang memberikan data-data yang dibutuhkan, cara-cara pengumpulan data-data, dan proses pengolahan data-data tersebut seperti proses penentuan distribusi untuk data-data yang telah dikumpulkan.

Bagian pembuatan model dan analisa eksperimen akan menggunakan *software ProModel* dalam formulasi, verifikasi, dan validasi model proses yang dijadikan objek penelitian. Kemudian dilakukan eksperimen untuk berbagai kondisi yang mungkin terjadi. Hasil simulasi kemudian akan dianalisa untuk mendapatkan kesimpulan yang sesuai dengan tujuan penelitian.

Bagian kesimpulan dan saran mengungkapkan hasil yang diperoleh dari analisa terhadap simulasi eksperimen yang telah dilakukan. Berbagai saran akan diberikan berkaitan dengan usulan yang didapat dari kesimpulan sesuai tujuan penelitian.

BAB 2 DASAR TEORI

2.1 Tata Letak Pabrik

2.1.1 Definisi

Menurut James M. Apple tata letak pabrik adalah penggambaran hasil rancangan susunan unsur fisik suatu kegiatan yang berhubungan erat dengan manufaktur.¹ Dalam rancangan fasilitas dikenal rencana lantai yang merupakan susunan fasilitas fisik untuk mengoptimalkan hubungan antara petugas pelaksana, aliran barang, aliran informasi, dan tata cara yang diperlukan untuk mencapai tujuan usaha secara efisiensi, ekonomis dan aman. Atau sebuah bidang yang menyeleksi pengaturan yang paling efektif dan fasilitas-fasilitas fisik yang akan dapat memberikan efisiensi yang terbesar dari kombinasi-kombinasi sumber daya yang tersedia untuk menghasilkan sebuah produk atau jasa.²

Tujuan dari perencanaan tata letak pabrik adalah, meminimumkan pemindahan barang, menjaga keluwesan susunan dan operasi, memudahkan proses manufaktur, menurunkan penanaman modal dalam perjalanan, menghemat pemakaian ruang dan bangunan, dan memberi kemudahan, keselamatan bagi para pekerja, dan memberi kenyamanan dalam melaksanakan pekerjaan.³

Plant layout (tata letak pabrik) atau *Facilities layout* (tata letak fasilitas) bisa didefinisikan sebagai tata cara pengaturan fasilitas-fasilitas pabrik untuk menunjang kelancaran proses produksi. Ada 2 fasilitas pabrik utama yang menjadi obyek yang harus diatur letaknya:

1. Mesin (*machine layout*)
2. Departemen kerja yang ada dalam pabrik (*department layout*)

¹ James M. Apple, *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan bahan*, penerbit ITB Bandung, 1990, hal 1

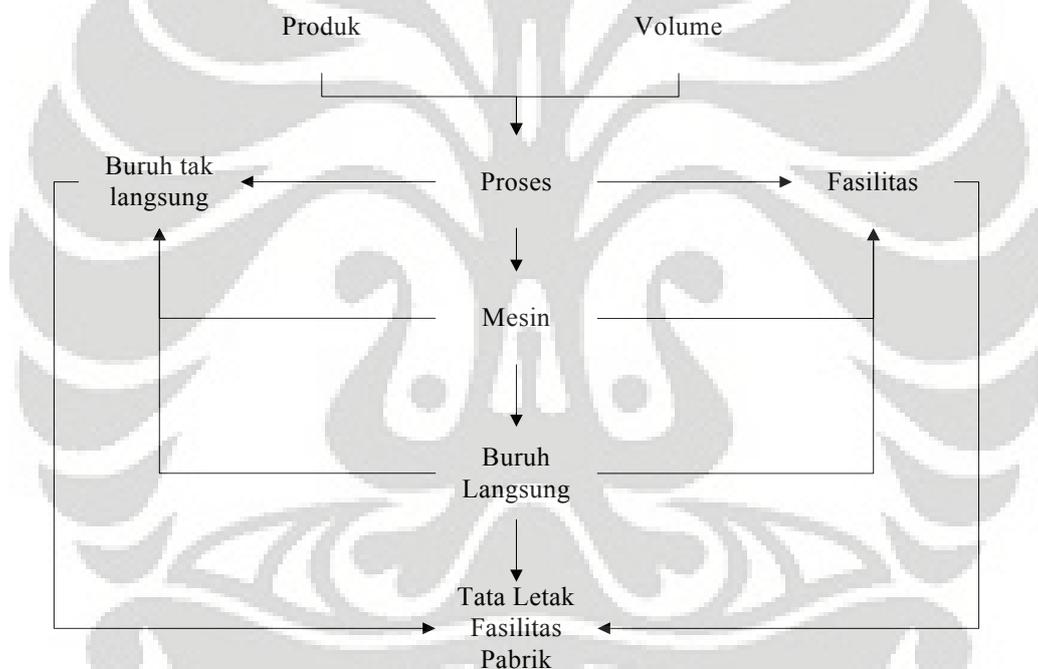
² Gavriel Salvendy, *Handbook of industrial engineering*, 1st ed, John & Wiley & son Inc., 1982, hal 10

³ James M. Apple, *op.cit.*, hal 5

Pengaturan fasilitas-fasilitas pabrik tersebut memanfaatkan luas area (*space*) dari ruang produksi pabrik untuk penempatan mesin atau fasilitas penunjang produksi lainnya.

2.1.2 Proses Dasar Perancangan Tata Letak Fasilitas Pabrik

Perancangan tata letak fasilitas pabrik atau tata letak pabrik berawal dari disain produk pabrik tersebut, dimana disain produk tersebut telah diketahui proses produksi dan berbagai fasilitas produksi yang dibutuhkan untuk membuat produk tersebut. Pada akhirnya akan dapat ditentukan besar area yang dibutuhkan untuk fasilitas-fasilitas pabrik tersebut.



Gambar 2.1 Langkah Utama Dalam Mendisain Sebuah Pabrik

Hubungan antara berbagai jenis kegiatan, daerah fungsional, maupun koordinasi antar kelompok-kelompok operasional yang berhubungan digunakan untuk mendisain hubungan antar keterkaitan antar kegiatan. Langkah-langkah yang

dilakukan dalam membuat rancangan tata letak fasilitas pabrik adalah

- Menganalisa data
- Merancang proses produksi
- Merencanakan pola aliran barang
- Menghitung kebutuhan bahan
- Merencanakan stasiun kerja
- Memilih peralatan pemindah barang tertentu
- Mengkoordinir kelompok operasi yang berkaitan
- Merancang keterkaitan kegiatan
- Mengevaluasi, menyesuaikan, dan memeriksakan tata letak dengan orang yang tepat

2.1.3 Teknik Analisa Aliran Bahan

Teknik yang digunakan untuk menganalisis aliran bahan dapat dibagi dalam dua katagori, yaitu⁴

- **Konvensioal**

Metode ini telah digunakan beberapa tahun, nisibi mudah digunakan, bertitik berat pada cara grafis dan secara keseluruhan merupakan alat tebaik untuk tujuan-tujuan yang diinginkan. Teknik konvensioal ini membutuhkan rincian pekerjaan yang banyak, data dari berbagai segi setiap perpindahan seperti,

- Jalur yang ditempuh bahan yang berpindah
- Volume yang dipindahkan
- Jarak yang ditempuh
- *Kekerapan* perpindahan
- Kecepatan perpindahan bahan
- Biaya pemindahan

⁴ James M. Apple, *Tata Letak Pabrik dan Pemindahan bahan*, penerbit ITB Bandung, 1990, hal 134

- **Kuantitatif**

Merupakan teknik analisa yang menggunakan metode-metode statistic dan matematik yang lebih canggih dan umumnya diklasifikasikan sebagai penelitian operasional dan sering kali harus menggunakan computer dalam pelaksanaan perhitungan yang rumit.

2.1.4 Keterkaitan Kegiatan

Selain aliran barang, disekitar penyusunan peralatan dan pusat kerja ada masalah penempatan kegiatan pelayanan atau kegiatan tambahan. Kegiatan ini harus ditambahkan untuk melayani kegiatan produkif, namun penempatannya diatur menurut derajat kedekatan kepentingan berbeda agar aliran bahan dan proses produksi dapat berjalan dengan lancar dan tepat waktu.

Sebelum berhubungan dengan keterkaitan kegiatan tertentu, akan lebih baik jika jenis-jenis keterkaitan yang ada diantara beberapa kegiatan dikenal terlebih dahulu, umumnya adalah:

1. Antara dua kegiatan produksi.
2. Antara suatu kegiatan produksi, kegiatan pelayanan, atau kegiatan tambahan.
3. Antara dua kegiatan pelayanan

2.1.4.1 Peta Keterkaitan Kegiatan (*Activity Relationship Chart*)

Untuk membantu menentukan kegiatan yang harus diletakan pada suatu tempat, yang ditentukan oleh derajat kedekatan, yang diikuti oleh tanda bagi tiap derajat kedekatan tadi. Derajat kedekatan telah ditentukan oleh Richard Muther, yaitu:⁵

- A = Mutlak perlu kegiatan-kegiatan tersebut berhampiran satu dengan yang lain
- B = Sangat penting kegiatan-kegiatan tersebut berdekatan
- I = Penting bahwa kegiatan-kegiatan tersebut berdekatan
- O = Biasa (kedekatannya) tidak ada masalah dimana saja

⁵ *Ibid*, hal 225

U = tidak perlu adanya keterkaitan geografis manapun

X = tidak dinginkannya kegiatan-kegiatan tersebut berdekatan

Peta keterkaitan kegiatan merupakan salah satu teknik analisa keterkaitan kegiatan. Peta tersebut mirip dengan peta ke- yang menunjukkan hubungan satu kegiatan atau departemen ke kegiatan atau departemen lainnya.

Tabel 2.2 Simbol Peta Keterkaitan Kegiatan

DERAJAT KEDEKATAN	
A	Mutlak Perlu
E	Sangat Penting
I	Penting
O	Biasa
U	Tidak Perlu
X	Tidak Diharapkan

2.1.5 Ciri-ciri Tata Letak yang Baik

Dalam merancang tata letak fasilitas sebuah pabrik, tentunya ada ukuran- ukuran di mana sebuah tata letak dikatakan sudah baik. Tata letak pabrik yang perlu mempertimbangkan aspek-aspek social dan aspek-aspek teknik. Hal demikian dikenal dengan istilah *socio-tehcnical system*. Ada beberapa cirri-ciri yang bias dijadikan patokan tata letak pabrik yang baik, yaitu:

1. Keterkaitan kegiatan terencana.
2. Pola aliran bahan terencana.
3. Aliran yang lurus.
4. Langkah balik (*backtrack*) minimum.
5. Gang yang lurus.
6. Pemandahan antar-operasi minimum.
7. Metode pemindahan yang terencana.
8. Jarak pemindahan minimum.
9. Ruang penyimpanan yang cukup.

10. Menghindari kemacetan lalu lintas di gang.

2.2. Pengertian dan Fungsi Gudang

Gudang dapat didefinisikan sebagai tempat yang dibebani tugas untuk menyimpan barang yang akan dipergunakan dalam produksi sampai barang diminta sesuai dengan jadwal produksi. Gudang sebagai tempat penyimpanan produk untuk memenuhi permintaan pelanggan secara cepat mempunyai beberapa fungsi diantara penerimaan dan pengiriman produk. Fungsi-fungsi pokok gudang sebagai berikut:

- a. *receiving* (penerimaan) yaitu menerima material pesanan perusahaan, menjamin kuantitas yang dikirim supplier, serta mendistribusikan material ke lantai produksi.
- b. *Persediaan*, yaitu menjamin agar permintaan dapat dipenuhi.
- c. *Put away*, (penyisihan) yaitu menempatkan barang-barang dalam lokasi penyimpanan.
- d. *shipping* (pengiriman).
- e. *Identifying and sorting* (pengidentifikasian dan penyaringan).
- f. *Order Picking* (pengambilan pesanan) yaitu prose pengambilan barang dari gudang sesuai permintaan.
- g. *Storing* (penyimpanan) yaitu bentuk fisik barang-barang yang disimpan sebelum ada permintaan.
- h. *Assembling the order* (perakitan pesanan).
- i. *Packaging* (pengepakan).

2.2.1 Manfaat Gudang

Secara garis besar manfaat pergudangan antara lain:

1. *Product mixing*.

Menerima pengiriman barang berbagai macam dalam jumlah besar dari berbagai sumber dan dengan system material handling baik otomatis atau

manual dilakukan penyortiran dan menyiapkan pesanan pelanggan selanjutnya mengirimnya ke pelanggan.

2. Sebagai perlindungan terhadap barang. Dengan demikian barang akan mendapatkan jaminan keamanan baik dari bahaya pencurian, kebakaran, banjir, serta problem keamanan lainnya.
3. Sebagai persediaan.
4. Sebagai penyeimbang dan penyangga bervariasinya antara jadwal produksi dan permintaan.

2.2.2 Jenis Gudang

Umumnya, pada kebanyakan perusahaan gudang berada dalam ruangan. Pada suatu pabrik, kita dapat membedakan macam gudang menurut karakteristik material yang akan disimpan, yaitu:

- a. Penyimpanan bahan baku
Gudang akan menyimpan setiap material yang dibutuhkan atau digunakan untuk proses produksi.
- b. Penyimpanan barang setengah jadi
Dalam industri manufaktur kita sering menemui bahwa benda kerja harus memenuhi beberapa macam operasi dalam pengerjaannya. Prosedur demikian sering pula harus terhenti karena dari satu operasi ke operasi berikutnya waktu pengerjaan yang dibutuhkan tidaklah sama. Akibatnya, barang atau material harus menunggu sampai mesin atau operator berikutnya siap mengerjakannya.
- c. Penyimpanan produk jadi
Gudang demikian kadang-kadang disebut pula gudang dengan fungsi menyimpan produk-produk yang telah selesai dikerjakan.

2.2.1 Pengawasan Gudang

Operasi pengawasan terdiri atas pengawasan penyimpanan (*storage policies*). Pada sebuah fasilitas penyimpanan, beberapa pengawasan mempengaruhi tata letak lokasi sel-sel penyimpanan dan tata letak item atas sel-sel. Berikut adalah uraian singkat bentuk pengawasan:

- a. *Physical similarity* (kemiripan fisik) pada item dengan kemiripan fisik, karakteristik dalam pengelompokannya di tempatkan pada tempat yang sama. Sebagai contoh, item dengan ukuran besar disimpan dalam suatu area, sedangkan item berukuran kecil ditempat lainnya. Hal demikian diikuti oleh kemiripan penggunaan material handling, perlengkapan, dan kemiripan penempatan secara fisik untuk setiap area.
- b. *Functional similarity* (kemiripan fungsi).
Penyimpanan dilakukan atas dasar kemiripan fungsi yang disimpan pada tempat yang sama. Sebagai contoh, alat-alat elektronik yang disimpan pada satu area.
- c. *Popularity* (popularitas).
Setiap gudang mempunyai item yang diperoleh secara bersamaan dan jumlah yang banyak. Pada system demikian, pergerakan cepat diperuntukkan bagi setiap item penyimpanan tertutup untuk area penerimaan dan pengiriman serta item dengan pergerakan lambat di system yang lain. Bentuk pengawasan demikian bertujuan mempersiapkan jarak minimal pekerjaan gudang dan dalam pemilihan pesanan.
- d. *Reserve stock separation* (penyimpanan dan pemisahan persediaan)
Beberapa keuntungan penyimpanan dan pemisahan persediaan dari pekerjaan penyimpanan adalah semua pekerjaan penyimpanan dapat diambil bersamaan dalam kesamaan tempat dan rata-rata pemilihan dapat dilakukan dengan mudah.

e. *Randomized storage* (penyimpanan acak).

Pada system proses informasi modern (*computerized inventory control system*), kemungkinan besar kemudahannya ada dalam penempatan tetap dan lokasi yang unik pada sebuah penyimpanan individu. Pertukaran dari penyimpanan tetap (*dedicated storage*) yang tersedia ke penyimpanan acak (*randomized storage*) berbentuk hasil yang agak besar. Bentuk pengawasan digunakan pada penyimpanan item dengan jarak yang didapat ketika dibutuhkan dan penyimpanan beberapa bentuk item yang penyimpanannya tidak umum.

Beberapa faktor penting yang mempengaruhi kenyamanan dalam tata letak gudang adalah pengawasan yang diikuti bentuk pesanan, pengambilan pesanan pilihan, dan pengawasan. Faktor di atas digambarkan dalam batasan-batasan berikut:

- a. Sistem area; penyimpanan item dalam gudang dengan bermacam logika; dalam gudang, penggantian terus menerus pada sebuah area mulai dari pemilihan item yang telah direncanakan untuk pesanan sampai siap dikirim.
- b. Sistem area dimodifikasi; sistem dapat diterapkan dimana penyimpanan stok dilakukan secara terpisah dalam pengerjaannya; pemilihan order pesanan diikuti oleh system area ketika penambahan pegawai dimanfaatkan untuk menambah pengerjaan stok penyimpanannya.
- c. System zona; pembagian wilayah-wilayah gudang dan pendistribusian pesanan diantara pemilihan pesanan, tiap unit merupakan pilihan dari daerah-daerah penempatannya.
- d. System zona urutan; tiap pesanan dibagi dalam wilayah-wilayah pada system zona. Namun, pesana melewati satu wilayah ke wilayah lainnya yang merupakan perakitan. Beberapa pesanan bisa diproses serentak dan setiap hasilnya mulai dari suatu wilayah ke wilayah berikutnya.
- e. System jadwal pesanan berganda (*multiple order schedule system*);
Sebuah kelompok pesanan dapat dikumpulkan dan dianalisis untuk menentukan total item yang dibutuhkan dariii tiap wilayah atau zona. Dalam

kemiripan kebiasaan pada wilayah, item merupakan pilihan dari pembuatan satu trip langsung ke setiap wilayah pesanan yang dirakit mengikuti area untuk peningkatan pengiriman. Sedikit variasi dari operasi demikian dijadwalkan serentak mengikuti komponen tiap wilayah yang dilokasikan dengan tiap order, kemudian diletakkan bersamaan untuk pengiriman.

Perencanaan luas area gudang perlu mempertimbangkan beberapa faktor berikut:

1. Karakteristik produk yang dikelola
2. Jumlah pengiriman dan frekuensi pengiriman per periode
3. Metode pemindahan dan peralatan yang digunakan
4. Lokasi area yang tersedia

Penggambaran proses pokok di dalam fasilitas gudang sebagai fungsi system penyimpanan. *Receiving* (penerimaan) merupakan departemen yang mempunyai aktifitas berkaitan dengan penerimaan material yang datang ke pabrik. Setelah aktivitas inspeksi dilakukan, departemen penerimaan bertanggung jawab mengirimkannya ke gudang. Departemen penerimaan bahan terutama bertanggung jawab terhadap hal-hal seperti:

1. Membongkar atau menurunkan material dari truk yang membahayakan.
2. Membongkar kotak pembungkus yang dikirim.
3. Identifikasi dan pengecekan material yang datang.
4. Pengecekan tanda terima barang dan menyesuaikan dengan kartu pesanan.
5. Mencatat faktur penerimaan.
6. Mencatat kekurangan-kekurangan jika ada kuantitas barang yang tidak sesuai.
7. Mencatat adanya kerusakan-kerusakan yang dijumpai dari material yang datang dan menyiapkan laporan untuk klaim.
8. Penyimpan data material yang datang untuk digunakan bila sewaktu-waktu dibutuhkan.

9. Mengirim material yang datang ke tempat penyimpanan atau departemen lain yang membutuhkan segera atau mengirimkannya ke gudang untuk disimpan.

2.3 Pemodelan Sistem

2.3.1 Sistem

Sistem didefinisikan sebagai sekumpulan objek yang bekerjasama dalam beberapa interaksi atau salingketergantungan yang teratur untuk mencapai suatu tujuan. Sistem seringkali dipengaruhi oleh perubahan yang terjadi diluar sistem. Perubahan-perubahan tersebut bisa dikatakan terjadi pada lingkungan sistem. Dalam pemodelan sistem, keputusan yang dibuat harus berada didalam batas sistem dan lingkungannya.⁶ Menurut Blanchard, sistem didefinisikan sebagai kumpulan elemen yang bersama-sama berfungsi untuk mencapai tujuan yang diinginkan. Hal penting yang tercakup dalam definisi ini adalah:

- sebuah sistem terdiri dari banyak elemen.
- elemen-elemen ini saling terkait dan berkerja bersama-sama.
- sebuah sistem ada dalam rangka mencapai tujuan-tujuan tertentu.

Contoh-contoh sistem diantaranya sistem lalu-lintas, sistem politik, sistem ekonomi, sistem manufaktur, dan sistem jasa. Sistem manufaktur dan jasa bisa juga disebut sistem pemrosesan karena sama-sama memproses elemen-elemen melalui serangkaian aktivitas. Pada sistem manufaktur, bahan mentah diubah menjadi barang jadi. Pada sistem jasa, pelanggan datang dengan beberapa kebutuhan pelayanan dan keluar dalam keadaan pelanggan yang telah dilayani. Sistem-sistem pemrosesan bersifat artifisial (buatan manusia), dinamis (elemen-elemen berinteraksi seiring waktu), dan biasanya stokastik (menunjukkan perilaku acak).⁷

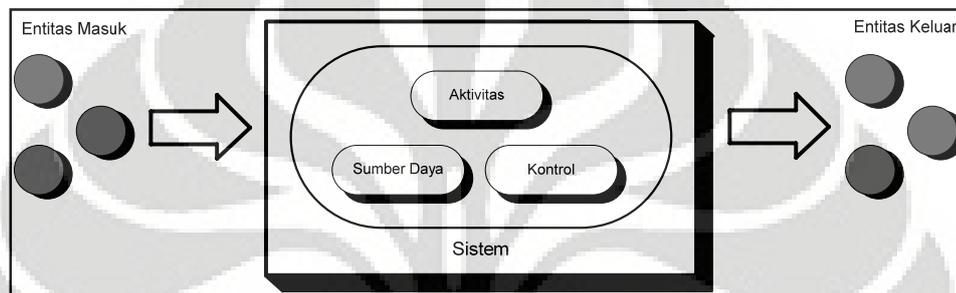
⁶ Banks, Jerry., dkk, *Discrete-Event System Simulation*, ed. ke-4, Prentice Hall, New Jersey, 2005, hal. 9.

⁷ C. Harrell., B. K. Ghosh, dan R. Bowden, *Simulation Using ProModel*, ed. ke-3, McGraw-Hill, Boston, 2000, hal. 25.

2.3.1.1 Elemen-Elemen Sistem

Dari sudut pandang simulasi, suatu sistem bisa dikatakan terdiri dari entitas, aktivitas, sumber daya, dan kontrol. Elemen-elemen ini mendefinisikan siapa, apa, dimana, kapan, dan bagaimana entitas diproses.⁸

Hubungan antara keempat elemen tersebut seperti tampak pada gambar berikut ini:



Gambar 2.3. Elemen-Elemen Sistem

- Entitas

Entitas adalah item-item yang diproses didalam sistem seperti produk, pelanggan, dan dokumen. Entitas-entitas yang berbeda mungkin memiliki berbagai karakteristik yang berbeda pula seperti dalam hal biaya, bentuk, prioritas, kualitas atau kondisi. Entitas dapat dibagi menjadi sub kelompok manusia atau makhluk hidup, benda-benda tak hidup, benda-benda tidak berwujud (panggilan telepon, surat elektronik, dan sebagainya).

Pada sebagian besar sistem jasa dan manufaktur, entitas berupa item-item diskrit seperti konsumen, dokumen, dan lain-lain. Untuk beberapa sistem produksi yang disebut sistem kontinyu, substansi non diskrit yang diproses dalam sistem misalnya pada pabrik penghasil minyak dan kertas.

- Aktivitas

Aktivitas adalah kegiatan-kegiatan yang dilakukan di dalam sistem yang baik secara langsung maupun tidak langsung terlibat dalam pemrosesan entitas. Contoh aktivitas antara lain memberikan pelayanan kepada konsumen, memotong benda di

⁸ *Ibid.*, hal. 25.

sebuah mesin atau pun memperbaiki bagian dari suatu peralatan. Aktivitas biasanya memakan waktu dan seringkali melibatkan penggunaan sumber daya. Aktivitas dapat diklasifikasikan menjadi proses (*check-in*, perawatan, inspeksi, pabrikasi), perpindahan entitas dan sumber daya (pergerakan *forklift*, naiknya tangga berjalan), pengaturan sumber daya, pemeliharaan, dan perbaikan (pengaturan mesin, perbaikan mesin fotokopi).

- Sumber Daya

Sumber daya adalah sesuatu yang digunakan untuk memproses aktivitas. Sumber daya menyediakan fasilitas, peralatan, dan operator pendukung untuk melakukan aktivitas. Ketika sumber daya memfasilitasi pemrosesan entitas, sumber daya yang tidak mencukupi dapat menghambat pemrosesan tersebut dengan membatasi kecepatan proses yang berlangsung. Sumber daya memiliki berbagai karakteristik seperti kapasitas, kecepatan, *cycle time*, dan konsistensi. Sebagaimana halnya entitas, sumber daya juga dibagi menjadi sub kelompok makhluk hidup, benda-benda tak hidup, dan benda-benda tidak berwujud. Selain itu, sumber daya juga dapat dikelompokkan menjadi permanen atau habis pakai, digunakan untuk banyak aktivitas atau digunakan untuk satu aktivitas saja, dan berpindah-pindah atau statis.

- Kontrol

Kontrol menjelaskan bagaimana, kapan, dan dimana aktivitas dilakukan. Kontrol menentukan urutan-urutan dalam sistem. Pada level tertinggi, kontrol terdiri dari jadwal, rencana, dan kebijakan. Pada level terendah, kontrol menyediakan informasi dan logika keputusan mengenai bagaimana sistem harus beroperasi. Contoh kontrol diantaranya urutan rute, rencana produksi, jadwal kerja, prioritas kegiatan, perangkat lunak pengontrol, lembar instruksi.⁹

2.3.1.2 Kompleksitas Sistem

Elemen-elemen sistem beroperasi satu sama lain dengan cara yang sering menghasilkan interaksi yang kompleks. Kompleksitas sistem terutama dipengaruhi

⁹ *Ibid.*, hal. 26-27.

oleh saling ketergantungan antar elemen dan variabilitas dalam perilaku elemen yang menghasilkan ketidakpastian.

Saling ketergantungan menyebabkan perilaku satu elemen mempengaruhi elemen lain didalam sistem. Sebagai contoh, jika sebuah mesin mati, maka operasi-operasi berikutnya menjadi terhenti karena kekurangan *part* dari mesin yang mati tersebut. Variabilitas merupakan karakteristik yang melekat pada beberapa sistem yang melibatkan manusia dan permesinan. Ketidakpastian pengiriman dari supplier, kerusakan peralatan yang tidak pasti, ketidakhadiran karyawan yang tidak bisa diprediksi, dan permintaan yang berfluktuasi membentuk kegagalan dalam perencanaan operasi sistem. Tabel 2.2 menunjukkan beberapa contoh variabilitas dalam sistem.

Tabel 2.2. Contoh Variabilitas Sistem

Jenis Variabilitas	Contoh
Waktu aktivitas	Waktu operasi, waktu perbaikan, waktu persiapan, waktu pergerakan.
Keputusan	Menyetujui atau menolak <i>part</i> , kegiatan mana yang akan dikerjakan berikutnya.
Jumlah	<i>Lot size</i> , jumlah kedatangan, jumlah pekerja yang tidak hadir.
Interval kejadian	Waktu antar kedatangan, waktu antara kerusakan peralatan.
Atribut	Pilihan konsumen, ukuran <i>part</i> , tingkat keahlian.

2.3.1.3 Metrik Performa Sistem

Metrik adalah ukuran yang digunakan untuk menilai kinerja sebuah sistem. Pada level tertinggi organisasi atau bisnis, metrik mengukur kinerja keseluruhan dalam hal keuntungan, pendapatan, biaya-biaya yang berhubungan dengan anggaran, pengembalian pada harta, dan sebagainya. Dari sudut pandang operasional, lebih bermanfaat jika mengukur faktor-faktor sebagai waktu, kualitas, kuantitas, efisiensi,

dan utilisasi. Metrik operasional utama yang menggambarkan efektifitas dan efisiensi sistem manufaktur dan jasa antara lain:

- *Flow time* yaitu rata-rata waktu yang dibutuhkan sebuah entitas atau seorang konsumen untuk diproses di dalam sistem, sinonimnya *cycle time*, *throughput time*, dan *manufacturing lead time*. Untuk sistem pemenuhan pesanan, waktu alir juga bisa disebut sebagai *customer response time* atau *turnaround time*.
- Utilisasi adalah persentase waktu personil, peralatan, dan sumber daya lain yang digunakan secara produktif.
- *Value-added time* adalah jumlah waktu yang dihabiskan material, konsumen, dan lain-lain yang menambah nilai, dimana nilai didefinisikan sebagai segala sesuatu yang ingin dibayar oleh konsumen.
- Waktu tunggu ialah jumlah waktu yang dihabiskan material, konsumen, dan lain-lain untuk menunggu diproses. Waktu tunggu merupakan komponen terbesar yang menghabiskan waktu yang sifatnya tidak menambah nilai.
- *Flow rate* adalah jumlah entitas yang diproduksi atau jumlah konsumen yang dilayani per unit waktu (misalnya barang atau kostumer per jam). *Flow rate* bisa juga disebut *production rate*, *processing rate*, atau *throughput rate*.
- Tingkat inventori atau antrian adalah jumlah entitas atau konsumen yang ada di gudang atau tempat penyimpanan atau area tunggu. Antrian terjadi ketika tidak ada sumber daya yang tersedia ketika dibutuhkan.
- *Yield*. Dilihat dari sudut pandang produksi, *yield* dijelaskan sebagai persentase produk yang selesai dibuat yang sesuai dengan spesifikasi yang diinginkan dibandingkan dengan persentase total jumlah produk yang masuk ke sistem sebagai bahan mentah.
- *Customer responsiveness* adalah kemampuan sistem untuk mendistribusikan produk dalam waktu tertentu untuk meminimumkan waktu tunggu konsumen, yang bisa juga diukur sebagai *fill rate* yaitu jumlah permintaan konsumen yang dapat segera dipenuhi dari barang-barang inventori.

- Varians ialah tingkat atau derajat fluktuasi yang bisa dan sering terjadi pada metrik-metrik yang telah disebutkan diatas. Varians menunjukkan ketidakpastian, karena itu dikatakan berisiko, dalam mencapai tujuan kinerja yang diinginkan.

Metrik performa sistem ini bisa diberikan untuk keseluruhan sistem atau dibagi kedalam tiap-tiap elemen sistem seperti sumber daya, tipe entitas, dan karakteristik lainnya. Dengan menghubungkan metrik-metrik ini dengan faktor-faktor lain, maka akan dihasilkan metrik tambahan yang akan berguna untuk *benchmarking* atau analisis perbandingan lainnya.

2.3.1.4 Variabel-Variabel Sistem

Dalam mendesain sebuah sistem baru atau membuat perbaikan pada sistem yang telah ada membutuhkan tidak hanya identifikasi sederhana elemen dan tujuan sistem tetapi juga pemahaman tentang bagaimana elemen-elemen sistem tersebut saling mempengaruhi satu sama lain dan tujuan keseluruhan performa. Ada tiga tipe variabel sistem yang perlu dipahami untuk memahami hubungan-hubungan dalam sistem, yaitu:

- Variabel keputusan

Ketika melakukan eksperimen, variabel keputusan terkadang ditujukan untuk variabel bebas dalam eksperimen. Mengubah nilai variabel-variabel bebas pada sistem akan mempengaruhi perilaku sistem. Variabel bebas ada yang dapat dikontrol dan ada pula yang tidak dapat dikontrol, tergantung pada apakah eksperimen yang dilakukan bisa memanipulasi variabel itu atau tidak. Contoh variabel yang dapat dikontrol adalah jumlah operator yang dialokasikan di lini produksi atau yang ditugaskan bekerja satu *shift* atau dua *shift*. Variabel yang dapat dikontrol ini disebut sebagai *variabel keputusan* karena peneliti selaku penentu keputusan (*decision-maker*) mengontrol nilai-nilai dari variabel tersebut. Sedang contoh variabel yang tidak dapat dikontrol antara lain waktu yang dihabiskan untuk memberikan pelayanan kepada kostumer atau *reject rate* dari suatu operasi. Saat mendefinisikan sistem, variabel yang dapat dikontrol adalah informasi mengenai sistem yang sifatnya lebih ke arah ketentuan bukan deskripsi.

- Variabel respon

Variabel respon atau kadang disebut sebagai *performance* atau *output variables* adalah variabel yang mengukur performa sistem yang merupakan hasil dari respon pengaturan variabel *input* tertentu. Variabel ini bisa berupa jumlah entitas yang diproses pada periode tertentu, utilisasi rata-rata dari suatu sumber daya, atau metrik-metrik kinerja sistem yang lain. Dalam sebuah eksperimen, variabel respon tergolong variabel tidak bebas yang tergantung pada pengaturan nilai dari variabel-variabel bebas. Tujuan dari perencanaan sistem sebenarnya adalah untuk mengetahui nilai-nilai pengaturan untuk variabel keputusan yang memberikan respon yang diinginkan.

- Variabel statis

Variabel statis adalah variabel yang mengindikasikan status sistem pada titik waktu tertentu misalnya jumlah entitas pada waktu riil yang menunggu diproses atau status riil (kepadatan, waktu tunggu, waktu mesin mati, dan lain-lain) dari suatu sumber daya tertentu. Variabel respon seringkali merupakan rangkuman dari variabel-variabel statis yang berubah menurut waktu. Misalnya, waktu individual sebuah mesin dalam keadaan statis dapat dijumlahkan selama periode waktu tertentu kemudian dibagi dengan waktu total yang tersedia untuk mendapatkan nilai utilisasi mesin pada periode tersebut.

2.3.1.5 Optimasi Sistem

Menentukan pengaturan yang tepat untuk variabel-variabel keputusan agar dapat memenuhi tujuan-tujuan kinerja disebut sebagai optimasi. Secara khusus, optimasi ditujukan untuk mencari atau menentukan kombinasi terbaik dari nilai-nilai variabel keputusan yang meminimumkan atau memaksimumkan beberapa fungsi objektif seperti biaya atau keuntungan. Fungsi objektif merupakan variabel respon dari sistem. Tujuan yang umum dalam persoalan optimasi bagi sistem manufaktur atau jasa adalah meminimumkan biaya-biaya atau memaksimumkan kecepatan aliran

operasi yang seringkali menjadi masalah dalam optimasi adalah aturan-aturan yang membatasi nilai-nilai yang dapat diubah-ubah untuk variabel keputusan.¹⁰

2.3.2 Model

Untuk mempelajari sebuah sistem, bisa dilakukan dengan bereksperimen dengan sistem itu secara langsung. Namun, hal ini tidak selalu bisa dilakukan seperti untuk sistem yang baru dimana sistem tersebut belum benar-benar ada atau masih dalam tahap desain. Walaupun sebuah sistem telah ada, terkadang sangat sulit untuk bereksperimen dengan sistem tersebut karena biaya yang sangat besar ataupun resiko yang cukup tinggi. Oleh karena itu, maka untuk mempelajari suatu sistem seringkali dilakukan dengan menggunakan sebuah model.

Model didefinisikan sebagai representasi dari suatu sistem untuk tujuan mempelajari sistem tersebut. Untuk sebagian besar studi, sangat perlu untuk hanya mempertimbangkan aspek-aspek sistem yang mempengaruhi masalah yang dipelajari. Aspek-aspek ini direpresentasikan dalam model sistem tersebut, sehingga model tersebut merupakan penyederhanaan dari sistem, namun cukup detail untuk membuat keputusan terhadap sistem tersebut.¹¹

Model merupakan representasi dari kenyataan yang disederhanakan. Dengan demikian, bagaimana sesungguhnya cara sebuah operasi dilakukan tidak sepenting bagaimana operasi tersebut mempengaruhi sistem. Sebuah kegiatan harus ditinjau dari bagaimana kegiatan tersebut mempengaruhi elemen-elemen sistem lainnya, bukan bagaimana ia dilakukan.¹²

Model bisa dikelompokkan menjadi fisik dan matematik. Model fisik atau disebut juga model replika menggunakan tiruan dari sistem untuk tujuan tertentu. Model matematik menggunakan notasi simbolik dan persamaan matematik untuk merepresentasikan sistem. Model simulasi merupakan bagian dari model matematik.

¹⁰ *Ibid.*, hal. 30-35.

¹¹ Banks, Jerry, *Op.Cit.*, hal. 12.

¹² C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 144.

Model simulasi bisa dikelompokkan lagi menjadi statis atau dinamis, deterministik atau stokastik, dan diskrit atau kontinyu.

2.3.3 Simulasi

Simulasi merupakan imitasi dari operasi suatu proses atau sistem dunia nyata sepanjang waktu. Baik dilakukan secara manual maupun dengan menggunakan komputer, simulasi mencakup pembuatan sejarah buatan dari sistem dan observasi sejarah buatan tersebut untuk mengambil kesimpulan yang berkaitan dengan karakteristik operasi dari sistem sesungguhnya.¹³ *Oxford American Dictionary* mendefinisikan simulasi sebagai satu cara mereproduksi kondisi-kondisi dari suatu situasi, menggunakan model, untuk melakukan studi atau menguji atau melakukan uji coba atau pelatihan, dan lain-lain. Salah satu kondisi yang bisa disimulasikan adalah perilaku operasional dari sistem-sistem dinamis dengan membuat model komputernya. Dalam hal ini, simulasi dapat didefinisikan sebagai imitasi dari suatu sistem dinamis menggunakan model komputer dengan tujuan mengevaluasi dan memperbaiki performa sistem. Menurut Schriber, simulasi dijelaskan sebagai pembuatan model dari suatu proses atau sistem dengan suatu cara yang mengimitasi respon dari sistem aktual terhadap kejadian-kejadian yang terjadi menurut waktu.¹⁴ Sedangkan menurut Shannon, simulasi adalah proses mendesain model dari sistem nyata dan melakukan eksperimen dengan model tersebut baik untuk tujuan memahami perilaku sistem maupun mengevaluasi berbagai strategi untuk operasi sistem tersebut. Perilaku dari suatu sistem sesuai perkembangannya sepanjang waktu dipelajari dengan mengembangkan model simulasi. Model ini biasanya diambil dari sejumlah asumsi yang berkaitan dengan operasi sistem. Asumsi ini diekspresikan dalam hubungan matematis, logis, dan simbolis antara elemen-elemen dalam sistem. Melalui model, kita mengabstraksikan beberapa sistem nyata yang dapat digunakan untuk memperoleh prediksi dan memformulasikan strategi pengontrolan sistem.¹⁵

¹³ Banks, Jerry., dkk, *Op.Cit.*, hal. 3.

¹⁴ C. Harrell., *Op.Cit.*, hal. 5.

¹⁵ Rubinstein, R.Y. dan Kroese, D.P., *Simulation and The Monte Carlo Method*, ed. ke-2, John Wiley & Sons, New Jersey, 2008, hal. 82.

Kekuatan simulasi terletak pada kemampuannya menawarkan suatu metode analisis yang tidak hanya formal dan prediktif tapi juga akurat dalam mengevaluasi performa bahkan untuk sistem-sistem yang paling rumit sekalipun. Penggunaan komputer untuk memodelkan sebuah sistem sebelum dibangun atau pun menguji kebijakan-kebijakan operasi sebelum benar-benar diimplementasikan dapat menghindarkan berbagai kegagalan yang sering muncul saat pengenalan sistem baru atau modifikasi sistem. Perbaikan-perbaikan yang secara tradisional memakan waktu hingga berbulan-bulan bahkan bertahun-tahun dapat dipersingkat menjadi beberapa hari atau beberapa jam saja. Simulasi dapat digunakan untuk:

- Mempelajari dan melakukan eksperimen dengan interaksi dalam sebuah sistem atau subsistem yang rumit.
- Mensimulasikan perubahan informasi, organisasi, dan lingkungan dan mempelajari perubahan perilaku yang terjadi.
- Memperoleh pengetahuan untuk memberikan saran pengembangan sistem yang disimulasikan.
- Mengetahui variabel-variabel yang paling penting dan bagaimana variabel-variabel saling berinteraksi.
- Melatih untuk memperkuat metodologi dalam menganalisa solusi.
- Melakukan eksperimen dengan kebijakan atau desain baru sebelum mengimplementasikannya.
- Melakukan pelatihan tanpa harus mengganggu pekerjaan sebenarnya.
- Sistem modern yang cukup rumit sehingga interaksi didalamnya hanya bisa ditangani dengan simulasi.

Berbeda dengan model optimasi, model simulasi dijalankan bukan dipecahkan. Dengan sejumlah input dan karakteristik model yang diberikan, model dijalankan dan perilaku hasil simulasi diobservasi. Perubahan-perubahan yang dilakukan pada input dan karakteristik model akan menghasilkan sejumlah skenario yang kemudian dievaluasi. Solusi terbaik, baik dalam menganalisa sistem yang telah

ada maupun desain sistem baru, kemudian direkomendasikan untuk implementasi.¹⁶ Karakteristik simulasi yang membuatnya menjadi alat yang perencanaan dan pembuatan keputusan yang baik adalah kemampuannya:

- menangkap saling ketergantungan dalam sistem
- memperhitungkan variabilitas dalam sistem
- dapat memodelkan berbagai sistem
- menunjukkan perilaku menurut waktu
- lebih sedikit dalam hal biaya, waktu, dan tidak mengganggu sistem sebenarnya dibandingkan dengan melakukan eksperimen langsung kepada sistem yang sebenarnya
- menyediakan informasi dalam berbagai ukuran performa
- memberikan tampilan visual dan menarik perhatian
- memberikan hasil yang mudah dimengerti dan mudah dikomunikasikan
- dapat dijalankan dalam waktu yang dipersingkat, riil, atau pun diperlambat
- memberikan perhatian pada detil dalam desain.

Karena simulasi mempertimbangkan saling ketergantungan dan variasi dalam sistem, simulasi memberikan pemahaman mendalam terhadap dinamika sistem yang kompleks yang tidak bisa diperoleh menggunakan teknik-teknik analisis yang lain. Simulasi memberikan para perencana sistem kebebasan untuk mencoba ide-ide yang berbeda untuk perbaikan, tanpa risiko, tanpa biaya, tidak menghabiskan waktu dan tidak mengganggu sistem yang telah ada.¹⁷ Simulasi sebagai metodologi untuk menganalisa masalah dan membangun solusi bukanlah hal yang baru. Namun, dengan perkembangan teknologi komputer dan kemampuan software yang *user friendly*, penggunaan simulasi untuk mengatasi masalah manajemen semakin meningkat.¹⁸ Pengetahuan manusia, model simulasi, dan metodologi pengambilan keputusan yang digabungkan dalam sistem informasi yang terintegrasi menawarkan standar kualitas baru dalam penyelesaian masalah manajemen. Model simulasi digunakan alat

¹⁶ *Ibid.*, hal. 4-5.

¹⁷ C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 7.

¹⁸ Asllani, Arben., Dileepan, Parthasarati., dan Etkin, Lawrence. *A Mwthodology for Using Simulation to Optimize Emergency Mass Vaccination Parameters*. 2007

penjelasan untuk pemahaman yang lebih baik tentang proses pengambilan keputusan dan atau untuk proses pembelajaran dalam *enterprise* dan sekolah.¹⁹

Walaupun simulasi dapat diaplikasikan pada berbagai permasalahan, namun tidak semua masalah yang dapat diselesaikan dengan bantuan simulasi harus diselesaikan dengan simulasi. Simulasi memiliki beberapa keterbatasan yang harus dipertimbangkan sebelum memutuskan untuk menggunakannya untuk menyelesaikan masalah. Ada beberapa kriteria yang harus dipenuhi untuk menjadikan simulasi sebagai alat yang tepat, yaitu:

- Keputusan operasional (logis atau kuantitatif) akan dibuat.
- Proses yang dianalisa dapat didefinisikan dengan baik dan bersifat repetitif.
- Aktivitas-aktivitas dan kejadian-kejadian menunjukkan keterkaitan dan variabilitas.
- Biaya yang diakibatkan oleh keputusan yang dibuat lebih besar dibandingkan dengan biaya yang dikeluarkan untuk melakukan simulasi.
- Biaya melakukan eksperimen pada sistem yang sebenarnya lebih besar daripada biaya melakukan simulasi.²⁰

2.3.3.1 Jenis-Jenis Simulasi

Cara simulasi bekerja sangat bergantung kepada jenis simulasi yang digunakan. Ada banyak cara untuk mengkategorikan simulasi, beberapa cara yang umum dipakai diantaranya:

- Simulasi statis dan dinamis

Simulasi statis merupakan simulasi yang dijalankan tidak berdasarkan pada waktu. Biasanya dilakukan dengan pengambilan sampel-sampel secara acak untuk menghasilkan hasil statistik sehingga terkadang disebut simulasi Monte Carlo. Simulasi dinamis, yang merupakan kebalikan dari simulasi statis, dijalankan menurut waktu. Simulasi dinamis adalah perubahan-perubahan statis yang terjadi sepanjang

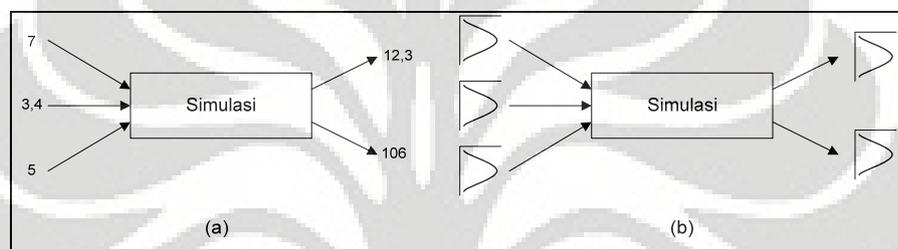
¹⁹ Kljajic, Miroljub., dkk. *Post Decision-Making Analysis of the Reengineering Process Supported by Simulation Methods*. 2007

²⁰ *Ibid* C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 11-12.

waktu. Simulasi dinamis sangat sesuai digunakan untuk menganalisis sistem-sistem manufaktur dan jasa karena keduanya beroperasi menurut waktu.

- Simulasi stokastik dan deterministik

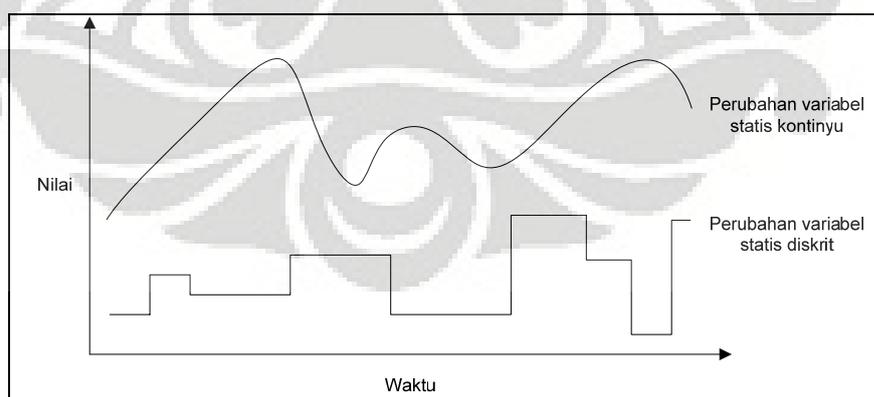
Simulasi stokastik atau disebut juga simulasi probabilistik merupakan simulasi yang variabel-variabel inputnya bersifat acak secara alami. Simulasi stokastik menghasilkan hasil yang juga bersifat acak. Sedangkan simulasi deterministik merupakan simulasi yang komponen-komponen inputnya tidak ada yang bersifat acak.



Gambar 2.2. Contoh Simulasi (a) Deterministik dan (b) Stokastik

- Simulasi peristiwa diskrit dan kontinu

Simulasi diskrit merupakan simulasi dimana perubahan keadaan terjadi pada titik-titik diskrit dalam waktu yang didorong oleh kejadian-kejadian. Perubahan keadaan pada model terjadi ketika beberapa peristiwa terjadi. Simulasi kejadian diskrit banyak digunakan untuk memodelkan sistem-sistem manufaktur dan jasa.



Gambar 2.5. Perbandingan Simulasi Diskrit dan Kontinu

Pada simulasi kontinyu, variabel-variabel statis atau dikenal juga sebagai *continuous-change state variables* berubah secara kontinyu tergantung waktu. Contoh variabel ini antara lain jumlah minyak yang diisikan atau dikeluarkan ke atau dari tangki, atau suhu gedung yang dikontrol oleh sistem pendingin dan pemanas.

- Gabungan simulasi diskrit dan kontinyu

Banyak software simulasi menyediakan kemampuan simulasi baik peristiwa diskrit maupun kontinyu. Hal ini memungkinkan sistem yang memiliki karakteristik diskrit dan kontinyu bisa dimodelkan, yang menghasilkan simulasi gabungan. Sebagian besar sistem yang memiliki variabel-variabel perubahan kontinyu juga memiliki variabel perubahan diskrit. Contoh, kedatangan truk pada stasiun pengisian (kejadian diskrit) dan memulai pengisian tangki (proses kontinyu).²¹

2.3.3.2 Software Simulasi

Software yang dapat digunakan untuk mengembangkan model simulasi dapat dikelompokkan menjadi tiga kategori, yaitu:

- Bahasa pemrograman untuk tujuan umum, seperti C, C++, dan Java.
- Bahasa pemrograman simulasi, seperti GPSS/HTM, SIMAN V[®], dan SLAM II[®].
- *Software* simulasi, seperti Arena, AutoMod, ProModel, WITNESS, dan sebagainya.²²

Secara umum, aplikasi simulasi dibedakan menjadi bahasa dan simulator simulasi. Bahasa simulasi cenderung lebih untuk tujuan umum dan memiliki lebih sedikit konstruksi untuk memodelkan tipe-tipe sistem yang spesifik. Sedangkan simulator di desain untuk menangani masalah-masalah yang spesifik, seperti simulator klinik. Dengan demikian, bisa dikatakan simulator mudah untuk digunakan namun tidak fleksibel, sedangkan bahasa simulasi sangat fleksibel namun sulit untuk digunakan. Namun, seiring dengan perkembangan zaman, perbedaan antara bahasa simulasi dan simulator menjadi tidak jelas. Pembuatan pemodelan spesial telah ditambahkan kedalam bahasa pemrograman untuk tujuan umum sehingga lebih

²¹ *Ibid.*, hal. 48-51.

²² Banks, Jerry, *Op.Cit.*, hal. 95.

mudah digunakan. Begitu juga dengan simulator, pemrograman tambahan telah ditambahkan kedalam simulator sehingga menjadi lebih fleksibel. Aplikasi simulasi saat ini menggabungkan konstruksi industri yang spesifik dengan kemampuan pemrograman yang fleksibel. Beberapa aplikasi bahkan dapat dikonfigurasi, memungkinkan *software* tersebut untuk diadaptasi kedalam aplikasi tertentu, namun tetap memiliki kemampuan pemrograman.²³

- ProModel

ProModel merupakan alat simulasi dan animasi yang didesain untuk memodelkan sistem manufaktur. ProModel memiliki elemen-elemen model dan logika keputusan yang berorientasi pada manufaktur. Sistem dapat dimodelkan dengan memilih elemen-elemen model dengan parameternya. Bahasa pemrograman simulasi disediakan untuk memodelkan situasi khusus yang tidak terdapat dalam pilihan-pilihan paket. Elemen-elemen model dalam ProModel adalah *part (entities)*, *locations*, *resources*, *path networks*, *routing and processing logic*, dan *arrivals*. *Part* datang dan mengikuti *routing and processing logic* dari satu lokasi ke lokasi lain. *Resources* digunakan untuk mempresentasikan orang, alat, atau kendaraan yang memindahkan *part* antar lokasi, melakukan operasi terhadap *part* pada suatu lokasi, atau melakukan perawatan pada lokasi atau *resource* lain yang rusak. *Resources* dapat berjalan pada *path networks* dengan kecepatan, akselerasi, dan waktu pengambilan dan peletakan *part* yang bisa ditentukan. ProModel memungkinkan pengguna untuk membuat beberapa skenario untuk melakukan eksperimen-eksperimen.

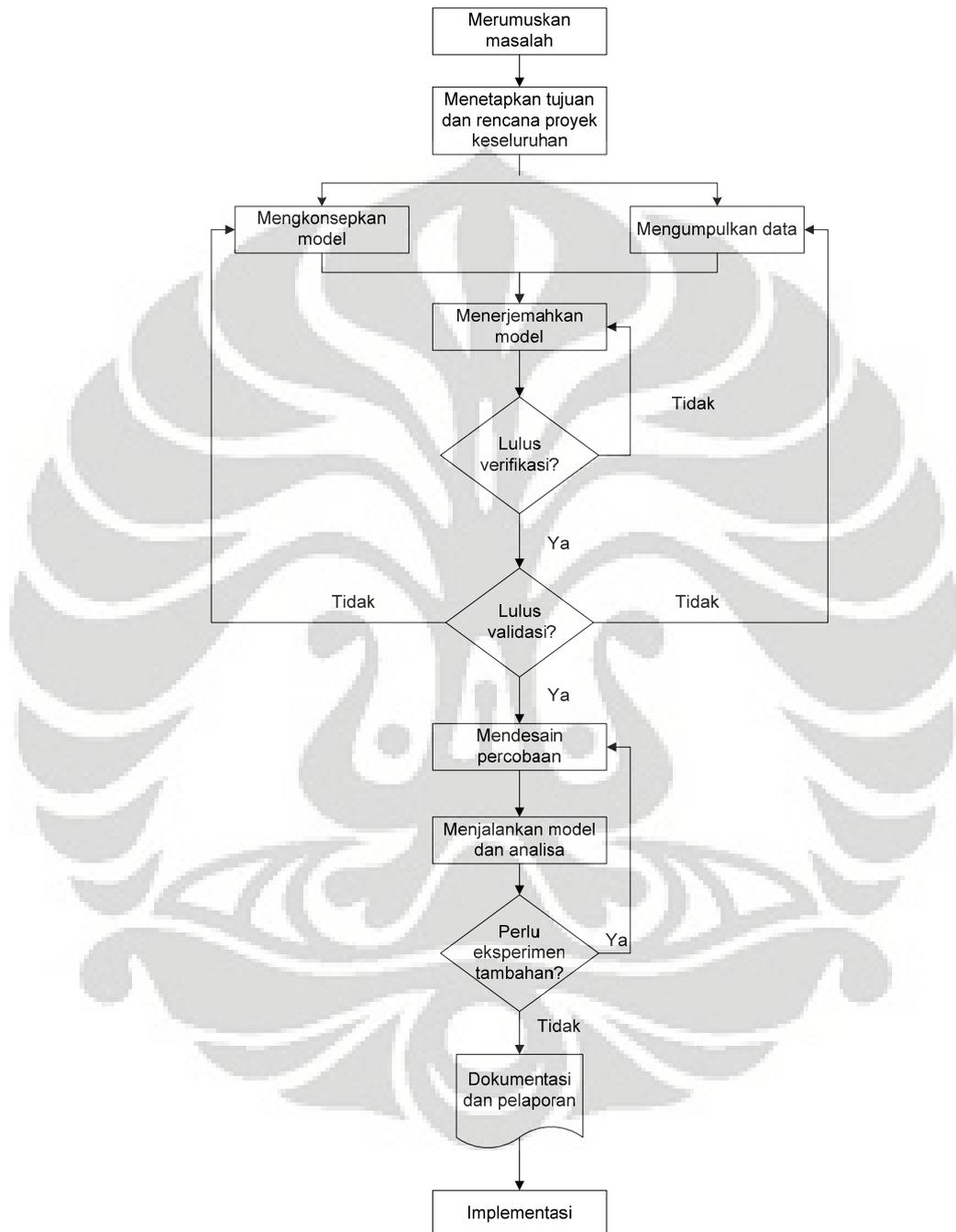
2.3.3.3 Langkah-Langkah Dalam Simulasi

Dalam melakukan simulasi, ada langkah-langkah yang harus dilakukan agar hasil simulasi yang dilakukan bisa mengatasi masalah dengan tepat.²⁴

²³ C. Harrell, *Op.Cit.*, hal. 71.

²⁴ *Ibid.*, hal. 18.

Langkah-langkah dalam melakukan simulasi adalah sebagai berikut:



Gambar 2.4. Langkah-Langkah Dalam Simulasi

a. Perumusan masalah

Setiap studi harus dimulai dengan pernyataan masalah. Jika pernyataan masalah tersebut diberikan oleh pembuat kebijakan atau orang yang memiliki masalah tersebut, seorang analis harus memastikan bahwa masalah tersebut telah dipahami dengan jelas. Jika pernyataan masalah dibuat oleh analis, pembuat kebijakan harus harus mengerti dan setuju dengan rumusan masalah tersebut.

b. Penetapan tujuan dan rencana proyek

Tujuan merupakan pertanyaan-pertanyaan yang harus dijawab melalui simulasi. Disini harus dilihat apakah simulasi merupakan metode yang tepat untuk masalah tersebut. Rencana proyek harus dibuat termasuk jumlah orang digunakan, biaya, dan waktu yang diperlukan untuk setiap tahap beserta hasil yang diharapkan pada setiap tahap tersebut.

c. Pengonsepan model

Dalam mengkonsepkan model sangat dipengaruhi oleh kemampuan untuk menarik komponen-komponen dasar masalah untuk memilih dan memodifikasi asumsi-asumsi dasar yang menjadi karakteristik sistem, kemudian memperluas dan memperinci model sampai menghasilkan pendekatan sistem yang tepat. Dengan demikian, maka sebaiknya dimulai dengan model yang sederhana kemudian dikembangkan secara bertahap. Dalam membuat konsep model, sebaiknya melibatkan pengguna model untuk menghasilkan model yang tepat dan pengguna lebih percaya terhadap model tersebut.

d. Pengumpulan data

Karena pengumpulan data biasanya memakan waktu yang cukup lama, maka perlu dilakukan seawal mungkin, biasanya bersamaan dengan pembuatan model. Agar pengambilan data bisa dilakukan dengan cepat dan tepat, sebelum melakukan pengambilan data perlu ditentukan data apa saja yang diperlukan, sumber data, cara pengumpulan data, dan sebagainya. Selama pengambilan data juga perlu dilakukan analisis terhadap data tersebut.

e. Penerjemahan Model

Dalam menerjemahkan model perlu dipertimbangkan jenis aplikasi yang digunakan. Bahasa pemrograman sangat berguna dan fleksibel, namun membutuhkan waktu dan usaha yang lebih banyak. Software simulasi yang ada saat ini memiliki fitur-fitur yang membuatnya lebih fleksibel.

f. Verifikasi

Verifikasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model simulasi merefleksikan model konseptual dengan tepat. Disini dicek apakah model tersebut telah dibuat dengan benar. Verifikasi model berkaitan dengan pengecekan struktur dan *syntax* yang digunakan dalam model. Oleh karena itu, dalam verifikasi lebih melibatkan pembuat model daripada pengguna model. Beberapa cara yang dapat dilakukan dalam verifikasi adalah:

- melakukan pengecekan pada kode model.
- memeriksa output model.
- mengamati tingkah laku sistem dalam animasi.
- menggunakan fungsi *trace* dan *debug* pada *software* untuk mendapatkan keadaan model yang tidak dapat terlihat melalui animasi.

g. Validasi

Validasi model merupakan proses untuk menentukan apakah model telah merepresentasikan sistem yang sebenarnya. Model bisa berjalan dengan benar (lulus verifikasi) namun belum tentu model tersebut bisa merepresentasikan sistem. Oleh karena itu diperlukan pengecekan model dengan melibatkan pengguna atau orang yang mengetahui sistem tersebut. Beberapa cara yang dilakukan dalam validasi model adalah:

- melakukan pengamatan pada animasi untuk dibandingkan dengan pengetahuan seseorang mengenai keadaan sebenarnya.
- membandingkan dengan sistem aktual.
- membandingkan dengan model lain yang telah tervalidasi.
- melakukan uji degenerasi untuk melihat apakah sifat output dari model akan berubah ketika salah satu variabelnya mencapai titik tertentu

- menggunakan uji kondisi ekstrim seperti dengan menghalau kedatangan pada suatu sistem untuk melihat apakah sistem masih akan berjalan
- melakukan pemeriksaan dengan *face validity*, yaitu dengan menayakan seseorang yang memiliki pengetahuan mengenai sistem mengenai masuk akal nya model yang dibuat
- melakukan pengujian terhadap data historis
- melakukan analisis sensitivitas
- melakukan penelitian terhadap kejadian-kejadian yang terjadi pada model untuk dibandingkan dengan tingkah laku sistem aktual
- melakukan *turing test* yaitu sebuah uji untuk melihat apakah orang-orang yang berpengetahuan mengenai sistem aktual dapat membedakan output dari sistem dan output dari model.

h. Desain percobaan

Setelah model lulus verifikasi dan validasi, langkah selanjutnya adalah mendesain percobaan-percobaan yang akan dilakukan terhadap model tersebut. Alternatif-alternatif yang berkaitan dengan pengambilan keputusan harus ditentukan, termasuk lamanya simulasi, jumlah percobaan, dan sebagainya.

i. Menjalankan model dan analisis

Model dijalankan sesuai alternatif yang telah dibuat untuk mengetahui akibat yang terjadi untuk setiap alternatif tersebut. Data hasil percobaan tersebut kemudian dianalisis untuk mencari solusi yang paling sesuai untuk masalah yang ada.

j. Dokumentasi

Hasil dari semua analisis harus dilaporkan dengan jelas dan ringkas dalam laporan akhir. Ini akan memudahkan pengguna model untuk mereview formula ahir, alternatif-alternatif sistem, kriteria-kriteria untuk membandingkan alternatif-alternatif, hasil percobaan, dan solusi yang direkomendasikan untuk menyelesaikan masalah.

k. Implementasi

Tahap terakhir dalam simulasi adalah mengimplentasikan hasil dari model kedalam sistem yang sesungguhnya. Keberhasilan dalam implementasi bergantung

pada seberapa baik tahap-tahap sebelumnya dilakukan. Implementasi juga dipengaruhi oleh seberapa jauh pengguna dilibatkan dalam seluruh proses simulasi.

2.4 Sistem Antrian

Antrian merupakan suatu kejadian yang biasa dalam kehidupan sehari-hari. Menunggu di depan loket untuk mendapatkan tiket kereta api atau tiket bioskop, pada pintu jalan tol, pada bank, pada kasir supermarket, dan situasi-situasi yang lain merupakan kejadian yang sering ditemui. Antrian timbul disebabkan oleh kebutuhan akan layanan melebihi kemampuan (kapasitas) pelayanan atau fasilitas layanan, sehingga pengguna fasilitas yang tiba tidak bisa segera mendapat layanan disebabkan kesibukan layanan. Pada banyak hal, tambahan fasilitas pelayanan dapat diberikan untuk mengurangi antrian atau untuk mencegah timbulnya antrian. Akan tetapi biaya karena memberikan pelayanan tambahan, akan menimbulkan pengurangan keuntungan mungkin sampai di bawah tingkat yang dapat diterima. Sebaliknya, sering timbulnya antrian yang panjang akan mengakibatkan hilangnya pelanggan.

2.4.1 Definisi Antrian

Teori tentang antrian ditemukan dan dikembangkan oleh A.K. Erlang, seorang insinyur dari Denmark yang bekerja pada perusahaan telepon di Kopenhagen pada tahun 1910. Erlang melakukan eksperimen tentang fluktuasi permintaan fasilitas telepon yang berhubungan dengan *automatic dialing equipment*, yaitu peralatan penyambungan telepon secara otomatis. Dalam waktu-waktu yang sibuk operator sangat kewalahan untuk melayani para penelepon secepatnya, sehingga para penelepon harus antri menunggu giliran.

Antrian ialah suatu garis tunggu dari nasabah (satuan) yang memerlukan layanan dari satu atau lebih pelayan (fasilitas layanan). Sebuah sistem antrian adalah suatu himpunan pelanggan, pelayan, dan suatu aturan yang mengatur kedatangan pada pelanggan dan pemrosesan masalahnya.²⁵ Pada umumnya, sistem antrian

²⁵ Richard Bronson. *Theory and Problems of Operation Research*, McGraw-Hill, Boston, 1993, hal. 308.

dapat diklasifikasikan menjadi sistem yang berbeda-beda di mana teori antrian dan simulasi sering diterapkan secara luas. Klasifikasi menurut Hillier dan Lieberman adalah sebagai berikut:

- Sistem pelayanan komersial
- Sistem pelayanan bisnis industri
- Sistem pelayanan transportasi
- Sistem pelayanan sosial

Sistem pelayanan komersial merupakan aplikasi yang sangat luas dari model-model antrian, seperti restoran, kafetaria, toko-toko, salon, butik, supermarket, dan sebagainya. Sistem pelayanan bisnis industri mencakup lini produksi, sistem material handling, sistem pergudangan, dan sistem-sistem informasi komputer. Sistem pelayanan sosial merupakan sistem-sistem pelayanan yang dikelola oleh kantor-kantor lokal maupun nasional, seperti kantor registrasi SIM dan STNK, kantor pos, rumah sakit, puskesmas, dan lain-lain.

2.4.2 Komponen-Komponen Dasar Antrian

Komponen dasar proses antrian adalah:

- **Kedatangan**

Setiap masalah antrian melibatkan kedatangan, misalnya orang, mobil, panggilan telepon untuk dilayani, dan lain – lain. Unsur ini sering dinamakan proses *input*. Proses *input* meliputi sumber kedatangan atau biasa dinamakan *calling population*, dan cara terjadinya kedatangan yang umumnya merupakan variabel acak. Variabel acak adalah suatu variabel yang nilainya bisa berapa saja sebagai hasil dari percobaan acak. Variabel acak dapat berupa diskrit atau kontinyu. Bila variabel acak hanya dimungkinkan memiliki beberapa nilai saja, maka ia merupakan variabel acak diskrit. Sebaliknya bila nilainya dimungkinkan bervariasi pada rentang tertentu, ia dikenal sebagai variabel acak kontinyu.

- **Pelayanan**

Pelayan atau mekanisme pelayanan dapat terdiri dari satu atau lebih pelayan, atau satu atau lebih fasilitas pelayanan. Tiap-tiap fasilitas pelayanan kadang-kadang

disebut sebagai saluran (*channel*). Contohnya, jalan tol dapat memiliki beberapa pintu tol. Mekanisme pelayanan dapat hanya terdiri dari satu pelayan dalam satu fasilitas pelayanan yang ditemui pada loket seperti pada penjualan tiket di gedung bioskop.

- **Antrian**

Inti dari analisa antrian adalah antri itu sendiri. Timbulnya antrian terutama tergantung dari sifat kedatangan dan proses pelayanan. Jika tidak ada antrian berarti terdapat pelayan yang menganggur atau kelebihan fasilitas pelayanan. Sebaliknya jika antrian terlalu panjang berarti terjadi kekurangan pelayan atau fasilitas pelayanan.

2.4.3 Disiplin Antrian

Disiplin antrian adalah aturan keputusan yang menjelaskan cara melayani pengantri. Ada 5 bentuk disiplin antrian yang biasa digunakan, yaitu:

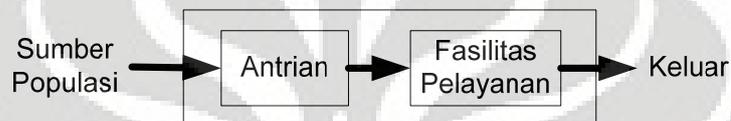
- *First Come First Served (FCFS)* atau *First In First Out (FIFO)*, artinya entitas yang lebih dulu datang akan lebih dulu dilayani. Misalnya, antrian pada loket pembelian tiket bioskop.
- *Last Come First Served (LCFS)* atau *Last In First Out (LIFO)*, artinya entitas yang tiba terakhir yang lebih dulu dilayani. Misalnya, sistem antrian dalam elevator untuk lantai yang sama.
- *Service In Random Order (SIRO,)* artinya pelayanan didasarkan pada peluang secara random, tanpa memperhatikan siapa yang lebih dulu tiba.
- *Priority Service (PS)* artinya, prioritas pelayanan diberikan kepada pelanggan yang mempunyai prioritas lebih tinggi dibandingkan dengan pelanggan yang mempunyai prioritas lebih rendah, meskipun yang terakhir ini kemungkinan sudah lebih dahulu tiba dalam garis tunggu. Kejadian seperti ini kemungkinan disebabkan oleh beberapa hal, misalnya seseorang yang dalam keadaan penyakit lebih berat dibanding dengan orang lain dalam suatu tempat praktek dokter.

2.4.4 Struktur Antrian

Struktur antrian menunjukkan pola aliran material dan proses yang terjadi sepanjang sistem antrian. Ada 4 model struktur antrian dasar yang umum terjadi dalam sebuah sistem antrian:

- *Single Channel – Single Phase*

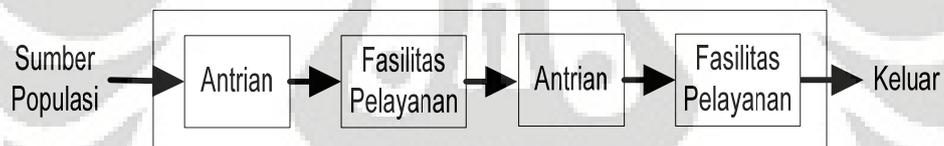
Single Channel berarti hanya ada satu jalur yang memasuki sistem pelayanan atau ada satu fasilitas pelayanan. *Single Phase* berarti hanya ada satu pelayanan.



Gambar 2.5. Struktur Antrian *Single Channel – Single Phase*

- *Single Channel – Multi Phase*

Istilah *Multi Phase* menunjukkan ada dua atau lebih pelayanan yang dilaksanakan secara berurutan (dalam phase-phase).

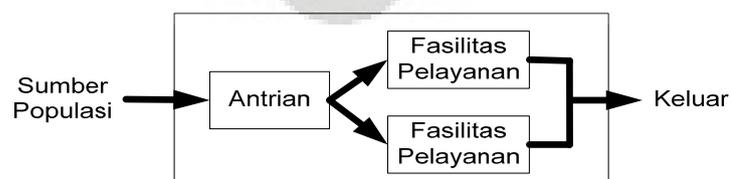


Gambar

2.6. Struktur Antrian *Single Channel – Multi Phase*

- *Multi Channel – Single Phase*

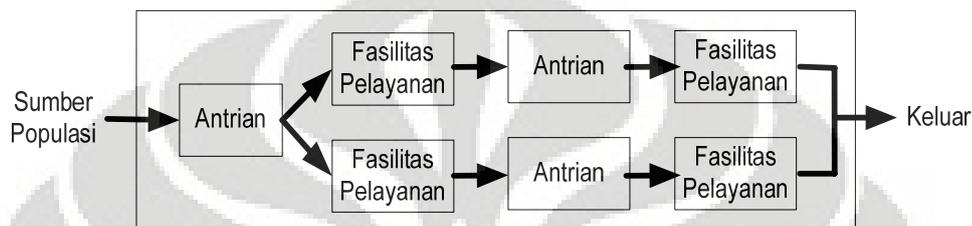
Sistem *Multi Channel – Single Phase* terjadi kapan saja di mana ada dua atau lebih fasilitas pelayanan dialiri oleh antrian tunggal, sebagai contoh model ini adalah antrian pada *teller* sebuah bank.



Gambar 2.7. Struktur Antrian *Multi Channel – Single Phase*

- *Multi Channel – Multi Phase*

Sistem *Multi Channel – Multi Phase* mempunyai beberapa fasilitas pelayanan pada setiap tahapnya. Sebagai contoh, registrasi para mahasiswa di universitas, pelayanan kepada pasien di rumah sakit mulai dari pendaftaran, diagnosa, penyembuhan sampai pembayaran.



Gambar 2.8. Struktur Antrian *Multi Channel – Multi Phase*

2.4.5 Mekanisme Pelayanan

Ada 3 aspek yang harus diperhatikan dalam mekanisme pelayanan, yaitu:

- Ketersediaan pelayanan

Mekanisme pelayanan tidak selalu tersedia untuk setiap saat. Misalnya dalam pertunjukan bioskop, loket penjualan karcis masuk hanya dibuka pada waktu tertentu antara satu pertunjukan dengan pertunjukan berikutnya, sehingga pada saat loket ditutup, mekanisme pelayanan terhenti dan petugas pelayanan (pelayan) istirahat.

- Kapasitas pelayanan

Kapasitas dari mekanisme pelayanan diukur berdasarkan jumlah langganan yang dapat dilayani secara bersama-sama. Kapasitas pelayanan tidak selalu sama untuk setiap saat, ada yang tetap tapi ada juga yang berubah-ubah. Karena itu, fasilitas pelayanan dapat memiliki satu atau lebih saluran. Fasilitas yang mempunyai satu saluran disebut saluran tunggal atau sistem pelayanan tunggal dan fasilitas yang mempunyai lebih dari satu saluran disebut saluran ganda atau pelayanan ganda.

- Lama pelayanan

Lamanya pelayanan adalah waktu yang dibutuhkan untuk melayani seorang langganan atau satu-satuan. Waktu pelayanan boleh tetap dari waktu ke waktu untuk

semua langganan atau boleh juga berupa variabel acak. Umumnya waktu pelayanan dianggap sebagai variabel acak yang terpencair secara bebas dan sama serta tidak tergantung pada waktu kedatangan.

2.4.6 Model – Model Antrian

Model-model antrian sering menggunakan suatu notasi yang disebut dengan Notasi Kendall. Notasi ini sering dipergunakan karena beberapa alasan, diantaranya karena notasi tersebut merupakan alat yang efisien untuk mengidentifikasi tidak hanya model-model antrian, tetapi juga asumsi-asumsi yang harus dipenuhi.

Bentuk umum model antrian:

$$(a/b/c) : (d/e/f) \quad (2.1)$$

dimana:

a = distribusi kedatangan (*arrival distribution*), yaitu jumlah kedatangan persatuan waktu.

b = distribusi waktu pelayanan, yaitu selang waktu antara satuan – satuan yang dilayani.

c = jumlah saluran pelayanan paralel dalam sistem.

d = disiplin pelayanan.

e = jumlah maksimum yang diperkenankan berada dalam sistem.

f = besarnya sumber populasi.

Keterangan:

1. Untuk huruf a dan b, dapat digunakan kode – kode pengganti sebagai berikut:

M = Distribusi kedatangan *poisson* atau distribusi pelayanan *eksponensial*, atau sama dengan distribusi waktu antar kedatangan *eksponensial* atau distribusi satuan yang dilayani *poisson*.

D = Antar kedatangan atau waktu pelayanan tetap.

G = Distribusi umum waktu pelayanan.

2. Untuk huruf c, dipergunakan bilangan bulat positif yang menyatakan jumlah pelayanan paralel.

3. Untuk huruf d, dipakai kode – kode pengganti:

FIFO atau *FCFS* = *First – In First – Out* atau *First – Come First – Served*.

LIFO atau *LCFS* = *Last – In First – Out* atau *Last – Come First – Served*.

SIRO = *Service In Random Order*.

G D = *General Service Disciplint*.

4. Untuk huruf e dan f, dipergunakan kode N (untuk menyatakan jumlah terbatas) atau ∞ (tak terhingga).

2.5 Statistik

Statistik adalah suatu pengetahuan, seni, dan metode yang berkaitan dengan pengumpulan, penyajian, dan pengolahan data untuk analisa dan pengambilan keputusan. Statistik dapat dikelompokkan menjadi dua bagian yaitu statistik deskriptif dan statistik inferensi. Statistik deskriptif berkaitan dengan pendeskripsian data seperti pengumpulan, penyajian, dan pengkarakteristikan data. Statistik inferensi berkaitan dengan pengambilan kesimpulan atau keputusan terhadap suatu populasi berdasarkan hasil sampel, seperti estimasi dan pengujian hipotesis.

2.5.1 Data

Data adalah sekumpulan nilai atau angka dari observasi-observasi yang berkaitan. Kumpulan data disebut *data set*, dan observasi tunggal disebut *data point*. Berdasarkan sumbernya, data dikelompokkan menjadi data primer dan data sekunder. Data primer adalah data yang dikumpulkan sendiri oleh peneliti melalui observasi, survey, atau eksperimen. Data sekunder adalah data yang dikumpulkan oleh pihak lain selain peneliti. Data sekunder dapat diperoleh dari berbagai sumber seperti internet, jurnal, buku, majalah, dan data historis perusahaan. Berdasarkan nilainya, data dikelompokkan menjadi data kuantitatif dan data kualitatif. Data kuantitatif diperoleh melalui perhitungan sedangkan data kualitatif diperoleh melalui pengukuran. Dalam pemodelan sistem, data dikelompokkan menjadi data struktural, data operasional, dan data numerik. Data struktural berkaitan dengan struktur dari sebuah sistem seperti layout, lokasi, dan entitas yang diproses. Data operasional

menjelaskan kapan, dimana, dan bagaimana sistem beroperasi seperti rute, jadwal, dan perilaku-perilaku sistem lainnya. Data numerik berkaitan dengan data-data kuantitatif sistem seperti kapasitas, tingkat kedatangan entitas, dan waktu proses.

2.5.1.1 Sampling

Salah satu cara pengambilan data primer adalah dengan melakukan survey. Survey adalah pengumpulan data dari sebagian populasi dengan menggunakan *sampel*. *Sampel* merupakan bagian dari unit populasi yang menjadi gambaran dari suatu populasi. Sedangkan populasi adalah sekumpulan elemen yang memiliki informasi yang dibutuhkan peneliti. Penggunaan *sampel* ini dilakukan karena keterbatasan biaya, tenaga, dan waktu. Karena informasi yang diperoleh dari data *sampel* tidak mungkin lebih baik daripada informasi yang sesungguhnya pada populasi (yang bisa diperoleh melalui sensus), maka teknik *sampling* menjadi sangat berguna dalam upaya penarikan kesimpulan (*inference*) yang valid dan dapat dipercaya. *Sampling* adalah cara mengumpulkan data dari *sampel*.

Terdapat dua teknik *sampling* yaitu *non probability sampling* dan *probability sampling*. *Non probability sampling* merupakan teknik pengambilan sampel dimana pemilihan *sampel* didasarkan pada pengetahuan dan opini para ahli mengenai populasi atau dapat dikatakan setiap anggota tidak mempunyai peluang yang sama untuk dipilih. Sementara pada *probability sampling* pemilihan *sampel* didasarkan atas probabilitas tertentu atau dengan kata lain setiap anggota populasi mempunyai peluang yang sama untuk dipilih menjadi *sampel*. Ada empat metode pemilihan sampel pada *probability sampling* yaitu:

- *Simple Random Sampling*

Metode pemilihan sampel dengan *simple random sampling* memungkinkan setiap sampel yang mungkin memiliki probabilitas yang sama untuk dipilih dan setiap entitas dalam keseluruhan populasi memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih menjadi sampel. Cara yang paling mudah untuk memilih sebuah sampel secara acak adalah menggunakan *random numbers*. Nomor-nomor ini bisa diperoleh dengan

bantuan komputer yang diprogram untuk mengacak angka atau bisa pula menggunakan tabel *random numbers* yang disebut *table of random digits*.

- *Systematic Sampling*

Dalam *systematic sampling*, entitas-entitas dipilih dari populasi pada interval-interval yang sama yang diukur dalam waktu, urutan, atau jeda. Dari N individu dipilih n individu sebagai *sampel*. Populasi dibagi menjadi beberapa kelompok dengan jumlah unit yang sama, k , dimana $k = N/n$. Pada kelompok pertama dipilih satu individu sebagai *sampel* secara acak. Kemudian dipilih setiap unit ke- k berikutnya sebagai *sampel*.

- *Stratified Sampling*

Dalam *stratified sampling*, populasi dibagi menjadi kelompok-kelompok yang homogen, yang disebut strata. Setelah itu, ada dua pendekatan yang dapat digunakan. Pertama, memilih sejumlah nomor secara acak dari setiap kelompok berdasarkan proporsi kelompok tersebut dalam populasi. Kedua, membuat jumlah entitas yang sama dari setiap kelompok dan memberikan bobot menurut proporsi kelompok terhadap populasi. Dengan pendekatan kedua ini, *stratified sampling* menjamin bahwa setiap entitas dalam populasi memiliki kesempatan yang sama untuk dipilih.

- *Cluster Sampling*

Dalam *cluster sampling*, populasi dibagi dalam kelompok-kelompok atau disebut juga *cluster*, kemudian sampel acak dipilih dari kelompok-kelompok ini. Diasumsikan bahwa setiap kelompok merupakan representasi dari populasi sebagai satu kesatuan. Metode *stratified* dan *cluster* sama-sama membagi populasi ke dalam kelompok-kelompok, perbedaannya *stratified sampling* digunakan jika setiap kelompok memiliki variasi yang kecil didalamnya tapi bervariasi sangat lebar antar kelompok dan sebaliknya *cluster sampling* digunakan apabila variasi dalam tiap-tiap kelompok sangat lebar sedang variasi antar kelompok kecil.

2.5.1.2 Uji Kecukupan Data

Dalam pengumpulan data, jumlah observasi yang dilakukan harus mencukupi agar data yang diperoleh cukup akurat dan terpercaya. Untuk mengetahui apakah

jumlah data yang diambil sudah mencukupi atau belum, digunakan teknik yang disebut uji kecukupan data. Ada dua hal yang penting dalam uji kecukupan data, yaitu tingkat kepercayaan (confidence level) dan tingkat ketepatan (presisi). Dalam time study, tingkat kepercayaan yang sering digunakan adalah 95% dengan tingkat ketepatan $\pm 5\%$.²⁶ Hal ini berarti bahwa kemungkinan kesalahan pada 95 dari 100 observasi rata-rata yang diambil, besarnya tidak lebih dari $\pm 5\%$. Jumlah observasi yang diperlukan dihitung dengan rumus:

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

Jika dalam uji ini tingkat kepercayaan yang digunakan besarnya 95% dengan tingkat ketepatan 10%, berarti bahwa kemungkinan kesalahan pada 95 dari 100 observasi rata-rata yang diambil, besarnya tidak lebih dari $\pm 10\%$. Karena itu, digunakan rumusan berikut:

$$N' = \left[\frac{20\sqrt{N \sum x^2 - (\sum x)^2}}{\sum x} \right]^2$$

dengan: N' = jumlah observasi yang diperlukan

N = jumlah observasi aktual yang dilakukan

x = nilai data

Jika $N' < N$ maka jumlah observasi aktual yang dilakukan sudah memenuhi syarat kecukupan data.

2.5.2 Probabilitas

Probabilitas didefinisikan sebagai kesempatan atau peluang terjadinya sesuatu. Probabilitas dapat dituliskan dalam bentuk pecahan atau desimal yang nilainya berada dalam *range* 0 sampai 1. Suatu kejadian memiliki probabilitas 0

²⁶ Benjamin Niebel dan Andris Freivalds, *Methods, Standards, and Work Design*, ed. ke-11, McGraw Hill, hal 393-340.

apabila kejadian tersebut tidak akan terjadi, sedang probabilitas 1 berarti suatu kejadian pasti akan terjadi. Dalam teori probabilitas, kejadian didefinisikan sebagai satu atau lebih hasil yang mungkin dari sesuatu yang dilakukan. Aktivitas yang menghasilkan suatu kejadian disebut sebagai eksperimen. Suatu kejadian dikatakan *mutually exclusive* jika hanya satu dari kejadian-kejadian yang dapat muncul dalam eksperimen dalam waktu tertentu sedangkan hasil eksperimen yang terdiri lebih dari satu kejadian disebut juga disebut *collectively exhaustive*.²⁷

Secara umum, terdapat jenis- jenis pendekatan probabilitas , yaitu:

2.5.2.1 Distribusi Probabilitas

Distribusi probabilitas didefinisikan sebagai spesifikasi tipe distribusi (normal, eksponensial, dan lain sebagainya) dan parameter yang menunjukkan bentuk dan *range* distribusi tersebut. Distribusi probabilitas berguna untuk memprediksikan waktu, jarak dan jumlah yang dibutuhkan ke depan serta variabel lainnya selama masih termasuk variabel acak. Variabel acak merupakan nilai numerik yang mungkin terjadi dari kejadian acak. Distribusi probabilitas ini dapat bersifat diskrit maupun kontinu tergantung dari jenis variabel acaknya. Distribusi diskrit menunjukkan jumlah yang dapat dihitung dari nilai yang memungkinkan, misalnya jumlah individu dalam suatu kelompok. Sedangkan distribusi kontinu menunjukkan nilai berkelanjutan yang dipengaruhi oleh waktu.

2.5.2.2 Distribusi Normal

Distribusi normal merupakan distribusi kontinu yang tidak memiliki batas. Disebut juga distribusi Gaussian atau *bell curve*. Distribusi ini digunakan secara luas dalam pemodelan dan simulasi komputer. Distribusi normal menggambarkan variasi yang acak dalam sebagian besar fenomena pengukuran seperti variasi dalam tinggi atau berat manusia. Distribusi ini dinotasikan dengan $N(\text{rata-rata}, \text{standar deviasi})$.

²⁷ Levin, Richard I dan Rubin, David S, *Statistics for Management*, Prentice Hall, New Jersey, 1998, hal 161-162

Kemungkinan terjadinya suatu nilai pada distribusi normal adalah:

$$P(x) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-(x-\mu)^2/2\sigma^2} \quad (-\infty < x < +\infty)$$

dengan: μ = mean atau nilai yang diharapkan

σ = standar deviasi

σ^2 = varians

2.5.2.3 Distribusi Uniform

Distribusi *uniform* merupakan distribusi kontinyu yang memiliki batas pada kedua sisinya. Seringkali disebut distribusi *rectangular* karena bentuk kurvanya yang berupa persegi. Distribusi ini digunakan untuk merepresentasikan variabel acak dengan kemungkinan yang sama dalam interval tertentu. Distribusi ini dinotasikan dengan $U(a, b)$, di mana a adalah nilai minimum dan b adalah nilai maksimum dari data. Kemungkinan suatu nilai terjadi pada batas a dan b adalah:

$$\begin{aligned} P(x) &= \frac{1}{b-a} & (a \leq x \leq b) \\ &= 0 & (x < a \text{ atau } x > b) \end{aligned}$$

2.5.2.4 Distribusi Triangular

Distribusi *triangular* merupakan pola distribusi yang membentuk pola segitiga jika digambarkan dengan kurva. Salah satu contoh distribusi ini adalah ketika dua buah dadu dilempar, maka kemungkinan munculnya nilai 2 sampai 12 akan membentuk pola segitiga. Distribusi ini dinotasikan dengan $T(\text{minimum, modus, maksimum})$.

2.5.2.5 Distribusi Binomial

Distribusi binomial merupakan distribusi diskrit yang memiliki kemungkinan suatu kejadian terjadi x kali dalam n kali percobaan memiliki peluang sukses sebesar p dan peluang gagal sebesar $1-p$.

$$P(x) = \binom{n}{x} p^x q^{n-x} \quad (x = 0, 1, 2, \dots, n)$$

Distribusi binomial sering digunakan dalam bidang *quality control* dimana sampel-sampelnya memiliki dua jenis atribut seperti ya atau tidak, diterima atau ditolak.

2.5.2.6 Distribusi Poisson

Distribusi *poisson* merupakan distribusi diskrit yang memiliki batas bawah 0 dan tidak terhingga pada batas atas. Distribusi poisson sangat penting dalam teori antrian dan *reliability*. Distribusi ini sering digunakan untuk menunjukkan kejadian yang tidak teratur seperti pola kedatangan pelanggan pada teori antrian dan kerusakan mesin pada *reliability*. Pada distribusi ini, mean sama dengan varians, dan digambarkan sebagai rata-rata kejadian (λ). Kemungkinan x kali kedatangan terjadi pada selang waktu t adalah:

$$P(x) = \frac{e^{-\lambda} \lambda^x}{x!} \quad (x = 0, 1, 2, \dots)$$

dengan λ = tingkat kedatangan

2.5.2.7 Distribusi Eksponensial

Distribusi eksponensial merupakan distribusi kontinu yang dibatasi pada sisi bawahnya. Bentuknya selalu sama, dimulai dengan nilai tak hingga pada sisi bawah dan secara kontinu berkurang dengan bertambahnya nilai x . Distribusi eksponensial sering digunakan untuk merepresentasikan waktu antar kejadian acak, seperti waktu antar kedatangan penumpang pada model antrian atau waktu antar kegagalan pada model *reliability*. Distribusi ini juga digunakan untuk merepresentasikan waktu pelayanan pada suatu kegiatan. Fungsi dari distribusi ini digambarkan dengan menggunakan rumus berikut:

$$f(x) = \frac{1}{\lambda} e^{-\frac{x}{\lambda}}$$

dengan λ = rata-rata kejadian

2.6 Pengukuran Waktu kerja

Jika pekerja ditempat kerja mempunyai kemampuan yang berbeda-beda satu sama lain, dari yang berkemampuan tinggi sampai rendah, karena untuk pengukuran waktu maka yang dicari adalah waktu penyelesaian pekerjaan secara wajar,yaitu orang-orang yang berkemampuan rata-rata.

Waktu baku merupakan yang diperlukan oleh pekerja normal untuk menyelesaikan pekerjaannya secara wajar dengan sistem kerja yang baik. Kriteria pengukuran kerja adalah pengukuran waktu (time study) yaitu waktu standar atau waktu baku. Pengukuran waktu kerja ada dengan dua metode yaitu dengan metode pengukuran langsung dan pengukuran waktu kerja dengan metode pengukuran tidak langsung. Pengukuran waktu kerja dengan pengukuran langsung yaitu dengan mengamati secara langsung pekerjaan yang dilakukan oleh operator dan mencatat waktu yang diperlukan oleh operator dalam melakukan pekerjaannya. Kemudian dari hasil pengamatan dan pengukuran tersebut akan didapatkan waktu baku ataupun waktu operator untuk mengerjakan pekerjaan tersebut.

Pengukuran waktu kerja dengan pengukuran langsung mempunyai dua metode yaitu metode jam henti (*stop watch time study*), dan metode sampling kerja (*work sampling*). Dan untuk pengukuran waktu kerja dengan pengukuran tidak langsung, yaitu dengan metode data waktu baku, dan metode data waktu gerakan.

Prosedur pengukuran waktu kerja dengan pengukuran langsung, yaitu pertama mengambil waktu belajar, baik setiap elemen maupun siklus dengan menggunakan alat-alat yang telah dipersiapkan, seperti jam henti, lembar pengamatan, pena dan lain-lain. Untuk mendapatkan waktu siklus atau elemen rata-rata tersbut dengan membagi harga total dari seluruh data dengan jumlah data. Kemudian setelah pengumpulan data telah terambil semuanya dan dirata-ratakan, dilakukan pengujian kecukupan data dan keseragaman data. Setelah uji kecukupan data dan keseragaman data terpenuhi maka dimasukan faktor penyesuaian dan faktor kelonggaran. Faktor penyesuaian adalah kegiatan evaluasi kecepatan atau tempo kerja operator pada saat

pengukuran kerja berlangsung. Dan faktor kelonggaran adalah waktu untuk kebutuhan pribadi. Berikut adalah prosedur atau urutan pengukuran waktu kerja dengan jam henti.



Gambar 2.9 Prosedur atau Urutan Pengukuran Waktu Kerja dengan Jam Henti

2.6.1 Perhitungan Standar Waktu Kerja

Average Time : Rata-rata waktu

Normal Time : Average time + (Average time X Rating factor)

Standar Time: Normal Time + (Normal Time X % Allowance)

2.6.2 Faktor penyesuaian (*Rating Factor*)

Setelah data memenuhi syarat dengan data yang cukup dan seragam, data tersebut kemudian dirumuskan dengan faktor penyesesuaian, karena kegiatan kecepatan atau tempo kerja operator pada saat pengukuran tidak selamanya dalam kondisi wajar, ketidakwajaran dapat terjadi karena operator kurang bersungguh-sungguh, terjadi kesulitan-kesulitan sehingga menjadi lamban dalam bekerja.

Bila hal tersebut terjadi maka pengukur harus menormalkan waktu tersebut dengan melakukan penyesuaian. Penyesuaian dilakukan dengan mengalikan waktu siklus rata-rata atau waktu elemen rata-rata dengan suatu harga p yang disebut faktor penyesuaian. Bila operator bekerja di atas normal (terlalu sepat), maka harga $p > 1$. Bila operator dipandang bekerja di bawah normal, maka harga $p < 1$. Bila operator

bekerja dengan wajar maka harga $p = 1$. Metode-metode untuk menentukan penyesuaian yaitu:

1. Penyesuaian dengan Westing House System

Metode Westinghouse dikemukakan oleh Lowry, Maynard dan Stegemarten. Mereka berpendapat bahwa ada empat faktor yang menyebabkan kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja, yaitu keterampilan, usaha, kondisi dan konsistensi.

Setiap faktor terbagi dalam kelas-kelas dengan nilainya masing-masing.

- **Keterampilan**

Didefinisikan sebagai kemampuan mengikuti cara kerja yang ditetapkan. Secara psikologis, keterampilan merupakan *attitude* pekerja untuk pekerjaan yang bersangkutan.

- **Usaha**

Adalah kesungguhan yang ditunjukkan oleh operator ketika melaksanakan pekerjaannya. Faktor penyesuaian ini juga dibagi menjadi enam kelas usaha dengan cirinya masing-masing.

- **Kondisi kerja**

Adalah kondisi fisik lingkungan yang merupakan sesuatu hal diluar operator, yang diterima operator apa adanya oleh operator tanpa banyak kemampuan merubahnya. Faktor ini sering disebut sebagai faktor manajemen, karena pihak inilah yang dapat merubah dan memperbaikinya.

- **Konsistensi**

Faktor ini perlu diperhatikan karena pernyataan bahwa pada setiap pengukuran angka-angka yang dicatat tidak pernah sama. Untuk kondisi seperti ini, pengamat diperlukannya keakurasian yang lebih cermat dalam mengambil waktu pengukuran. Dan seperti yang telah disebutkan diatas bahwa mendominasi menyebabkan kewajaran dan ketidakwajaran dalam bekerja.

Berikut ini adalah tabel *Performance Rating Westinghouse*

Tabel 2.3 *Performance Rating Westinghouse*

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Keterampilan (skill)	Super Skill	A1	+0,15
		A2	+0,13
	Excellent	B1	+0,11
		B2	+0,08
	Good	C1	+0,06
		C2	+0,03
	Average	D	0
	Fair	E1	-0,05
		E2	-0,10
	Poor	F1	-0,16
	F2	-0,22	
Usaha (effort)	Super Skill	A1	+0,13
		A2	+0,12
	Excellent	B1	+0,10
		B2	+0,08
	Good	C1	+0,05
		C2	+0,02
	Average	D	0
	Fair	E1	-0,04
		E2	-0,08
	Poor	F1	-0,12
	F2	-0,17	
Kondisi Kerja (condition)	Ideal	A	+0,04
	Excellent	B	+0,03
	Good	C	+0,01
	Average	D	0
	Fair	E	-0,02
	Poor	F	-0,04
Konsistensi (consistency)	Ideal	A	+0,06
	Excellent	B	+0,04
	Good	C	+0,02
	Average	D	0
	Fair	E	-0,03
	Poor	F	-0,07

2. **Synthetic Rating.** Dikembangkan oleh Morrow, synthetic rating mengevaluasi kecepatan operator dari nilai waktu gerakan yang sudah ditetapkan terlebih dahulu.
3. **Speed Rating.** Sistem ini mengevaluasi performansi dengan mempertimbangkan tingkat keterampilan persatuan waktu saja.
4. **Objective Rating.** Dikembangkan oleh Munder dan Danner, metode ini tidak hanya menentukan kecepatan aktivitas, tetapi juga mempertimbangkan tingkat kesulitan pekerjaan. Faktor-faktor yang mempengaruhi tingkat kesulitan pekerjaan adalah jumlah anggota badan yang digunakan, pedal, kaki, penggunaan kedua tangan, koordinasi mata dengan tangan, penanganan dan bobot.
5. **Skil and Report Rating**
6. **Physiological Evolution of Performance Level**

2.6.3 Faktor Kelonggaran (*Allowance*)

Dalam menghitung waktu baku perlu memasukan faktor kelonggaran. Faktor kelonggaran merupakan faktor koreksi yang harus diberikan kepada waktu kerja operator dalam melakukan pekerjaannya sering terganggu oleh pada hal-hal yang tidak diinginkan namun bersifat ilmiah, sehingga waktu penyelesaian menjadi lebih panjang atau lama. Faktor kelonggaran dibagi menjadi tiga yaitu:

1. Kelonggaran untuk keperluan pribadi (*personal allowance*), *Allowance* disini diberikan untuk hal-hal yang bersifat pribadi, misalnya pergi ke kamar kecil dan mengambil botol minuman dari tempat yang telah disediakan.
2. Kelonggaran untuk melepaskan lelah (*fatigue allowance*), *Allowance* disini diberikan untuk pekerja mengembalikan kondisi akibat kelelahan dalam bekerja. Kelelahan tercermin antara lain dari menurunnya hasil produksi, bila rasa *fatigue* ini berlangsung terus menerus maka akan terjadi *fatigue total*, yaitu anggota badan dari operator tidak dapat melakukan gerakan kerja sama sekali.

Oleh sebab itu dengan diberikan faktor ini operator dapat mengatur kecepatan kerjanya sehingga lambatnya gerakan-gerakan kerja ditunjukkan untuk menghilangkan rasa *fatigue* tersebut.

3. Kelonggaran karena ada hambatan-hambatan yang tidak terduga (*unavoidable delay allowance*). *Allowance* ini diberikan untuk berjaga-jaga, seperti

Berikut adalah tabel besarnya allowances berdasarkan faktor-faktor yang berpengaruh.

Tabel 2.4 Besarnya Allowances Berdasarkan Faktor-Faktor yang Berpengaruh.

A	Faktor	Contoh Pekerjaan		Kelonggaran (%)	
			Klasifikasi Beban	Pria	Wanita
1	Posisi yang dikehendaki	Bekerja di meja, duduk	Tanpa beban	0,0-6,0	0,0-6,0
2	Dapat diabaikan	Bekerja di meja, berdiri	0,00-2,25 kg	6,0-7,5	6,0-7,5
3	Sangat ringan	Mengangkat, ringan	2,25-9,00 kg	7,5-12,0	7,5-16,0
4	Ringan	Mengangkat, sedang	9,00-18,00 kg	12,0-19,0	16,0-20,0
5	Sedang	Mengangkat, berat	19,00-27,00 kg	19,0-30,0	
6	Berat	Mengangkat beban	27,00-50,00 kg	30,0-50,0	
7	Sangat berat	Mengangkat karung berat	di atas 50 kg		
8	Usar biasa berat				
B	Salah kerja				
1	Duduk	Bekerja duduk, ringan		0,00-1,0	
2	Berdiri di atas dua kaki	Badan tegak, ditumpu dua kaki		1,0-2,5	
3	Berdiri di atas satu kaki	Satu kaki mengerjakan alat kontrol		2,5-3,0	
4	Berbaring	Pada bagian sisi, belakang atau badan		2,5-4,0	
5	Membungkuk	Badan dibungkukkan bertumpu pada kedua kaki		4,0-10,0	
C	Gerakan kerja				
1	Normal	Ayunan bebas dari palu		0	
2	Ayuk terbatas	Ayunan terbatas dari palu		0-5	
3	Sulit pada anggota-anggota badan	Membawa beban berat dengan satu tangan		0-5	
4	Terbatas	Bekerja dengan tangan di atas kepala		5-10	
5	Seluruh anggota badan terbatas	Bekerja di lorong pertambangan yang sempit		10-15	
D	Kecelakaan Mata			Pencelakaan baik	Pencelakaan berat
1	Pandangan yang terputus-putus	Membawa alat curuk		0,0-6,0	0,0-6,0
2	Pandangan yang hampir terus-menerus	Pekerjaan-pekerjaan yang teliti		6,0-7,5	6,0-7,5
3	Pandangan terus-menerus dengan fokus berubah-ubah	Membaca cacat-cacat pada kain		7,5-12,0	7,5-16,0
4	Pandangan terus-menerus dengan fokus tetap	Pemeriksaan yang sangat teliti		12,0-19,0	16,0-20,0
				19,0-30,0	
				30,0-50,0	
E	Kondisi temperatur tempat kerja		Temperatur (°C)	Kesejahteraan Normal	Overheating
1	Bekas		Di bawah 0	Di atas 10	Di atas 12
2	Berubah		0-13	10-0	12-5
3	Sedang		13-22	5-0	0-0
4	Normal		22-29	0-5	0-0
5	Ringgi		29-38	5-40	0-100
6	Sangat tinggi		Di atas 38	Di atas 40	Di atas 100
F	Kondisi atmosfer				
1	Baik	Ruang yang berventilasi baik, udara segar		0	
2	Cukup	Ventilasi kurang baik, ada bau-bauan (tidak berbahaya)		0-5	
3	Kusarang baik	Adanya debu-debu beracun, atau tidak beracun tetapi banyak		5-10	
4	Buruk	Adanya bau-bauan berbahaya yang mengharuskan menggunakan alat-alat pernapasan		10-20	
G	Kondisi lingkungan yang baik				
1	Bersih, sehat, cerah dengan kelembangan rendah			0	
2	Siklus kerja berulang-ulang antara 5-10 detik			0-1	
3	Siklus kerja berulang-ulang antara 5-10 detik			1-3	
4	Sangat bingung			0-5	
5	Jika faktor-faktor yang berpengaruh dapat menurunkan kualitas			0-5	
6	Merasa adanya getaran lambai			5-10	
7	Kesediaan keadaan yang luar biasa (bumi, kebersihan, dll)			5-10	

BAB 3 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

3.1 Data Struktural

Data struktural pada area gudang *body assy part* PT. X meliputi data jenis material, layout gudang, data jumlah karyawan, data jumlah material handling.

3.1.1 Jenis Material

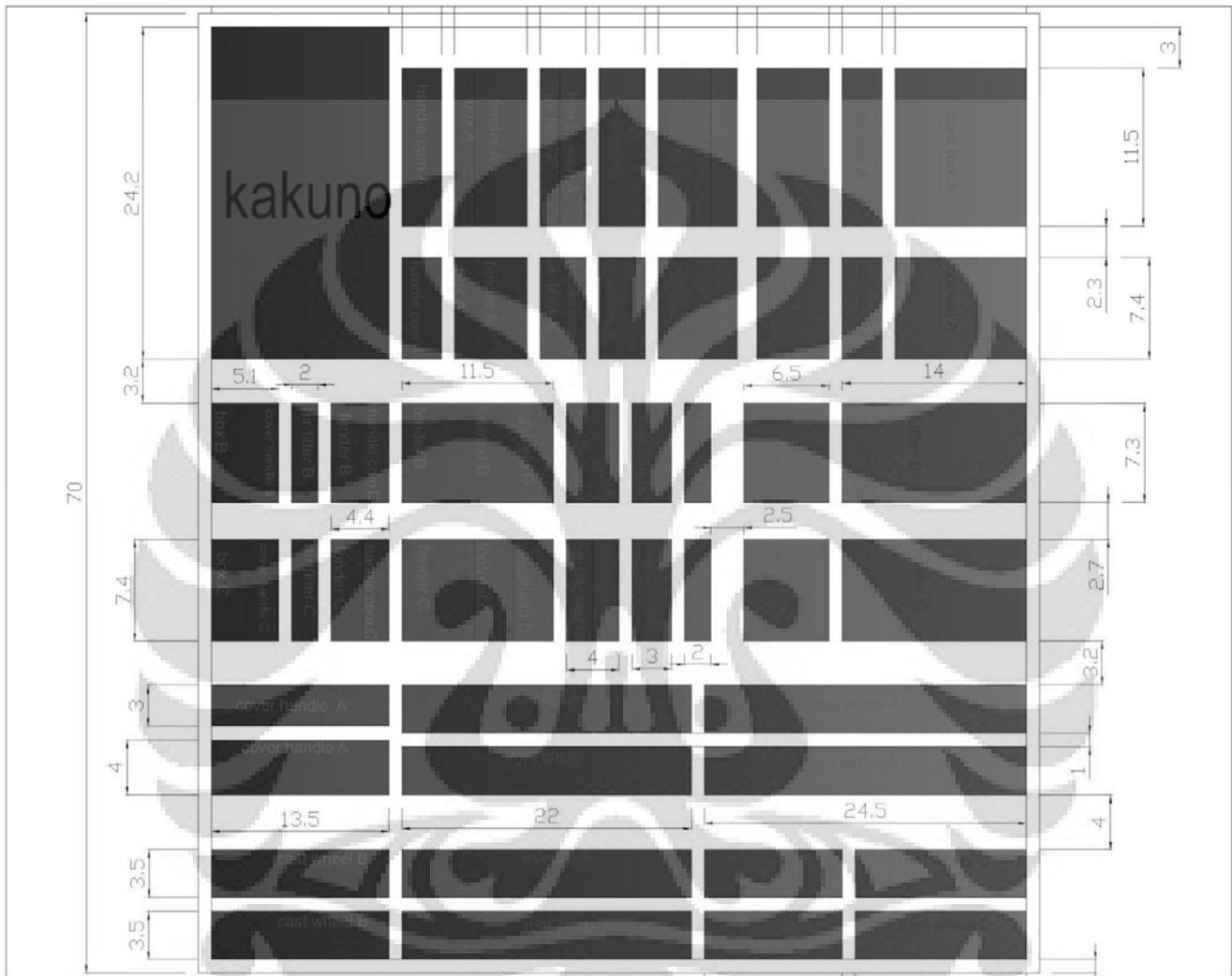
Ada tiga jenis motor (Jenis Motor A, B, dan C) yang diproduksi di PT. X. Setiap jenis motor tersebut memiliki 16 macam material */part* seperti terlihat pada tabel dibawah ini:

Tabel 3.1. Jenis Material *Body Assy*

NO.	Nama Material	NO.	Nama Material
1	AIR FILTER A	25	HANDLE COMP A
2	AIR FILTER B	26	HANDLE COMP B
3	AIR FILTER C	27	HANDLE COMP C
4	BOX A	28	HANDLE SEAT A
5	BOX B	29	HANDLE SEAT B
6	BOX C	30	HANDLE SEAT C
7	COVER HANDLE A	31	MUFFLER A
8	COVER HANDLE B	32	MUFFLER B
9	COVER HANDLE C	33	MUFFLER C
10	DOUBLE SEAT A	34	RR. ARM A
11	DOUBLE SEAT B	35	RR. ARM B
12	DOUBLE SEAT C	36	RR. ARM C
13	FENDER A	37	RR. TIRE A
14	FENDER B	38	RR. TIRE B
15	FENDER C	39	RR. TIRE C
16	FOOTREST A	40	LEG SHIELD A
17	FOOTREST B	41	LEG SHIELD B
18	FOOTREST C	42	LEG SHIELD C
19	FR. FORK A	43	CAST WHEEL A
20	FR. FORK B	44	CAST WHEEL B
21	FR. FORK C	45	CAST WHEEL C
22	FR. TIRE SET A	46	SHOCK ABSORBER A
23	FR. TIRE SET B	47	SHOCK ABSORBER B
24	FR. TIRE SET C	48	SHOCK ABSORBER C

3.1.2 Layout Area Gudang Body Assy Part

Gambar dibawah ini merupakan *layout* dari area gudang *body assy part*.



Gambar 3.1. *Layout Area Gudang Body Assy,s Part*

Dari berdasarkan layout tersebut diketahui masih banyak area penempatan yang belum teratur. Agar lebih baik dikumpulkan pada satu zona tiap jenis motor, area penempatan pada gudang tersebut juga belum sesuai dengan urutan pengambilan barang dari gudang ke *line* perakitan. Oleh karena itu pada proses *re-layout* digunakan metode *Activity Relationship Chart* (ARC).

3.1.3 Fasilitas Area Gudang Body Assy Part

Fasilitas yang dimiliki area ini untuk menjalankan kegiatan operasionalnya saat ini adalah:

- Tiga unit *fork lift*, satu digunakan untuk membongkar barang dari *vendor* khusus yang menggunakan TTLIC (*Toyota Tsuso Logistic Center*), satu unit untuk truk *vendor*, satu unit untuk *stand by* (apabila forklift sedang di-charge/ tidak dapat beroperasi).
- Satu unit *lifter*

3.1.4 Jumlah Karyawan

Jumlah karyawan di area gudang body part berjumlah 12 orang yang terdiri dari:

- Operator *unloading* berjumlah 4 orang.
- Operator *receipt* berjumlah 2 orang.
- Operator cek material berjumlah 6 orang.

3.1.5 Kapasitas Area Penempatan

Kapasitas area penempatan setiap jenis material pada gudang *body assy part* telah ditentukan oleh perusahaan adalah sebagai berikut:

Tabel 3.2 Kapasitas Area Penempatan Tiap Jenis Material *Body Assy Part*
Berdasarkan Jenis Motor

Model Motor	Kapasitas (unit)
Model A	4000
Model B	1500
Model C	700

Pada hasil perhitungan luas area lantai gudang *body assy part* diketahui bahwa luas area lantai belum sesuai dengan kapasitas yang telah ditentukan sebelumnya. Berikut ini hasil pengukuran luas setiap area lantai penempatan material beserta kapasitasnya.

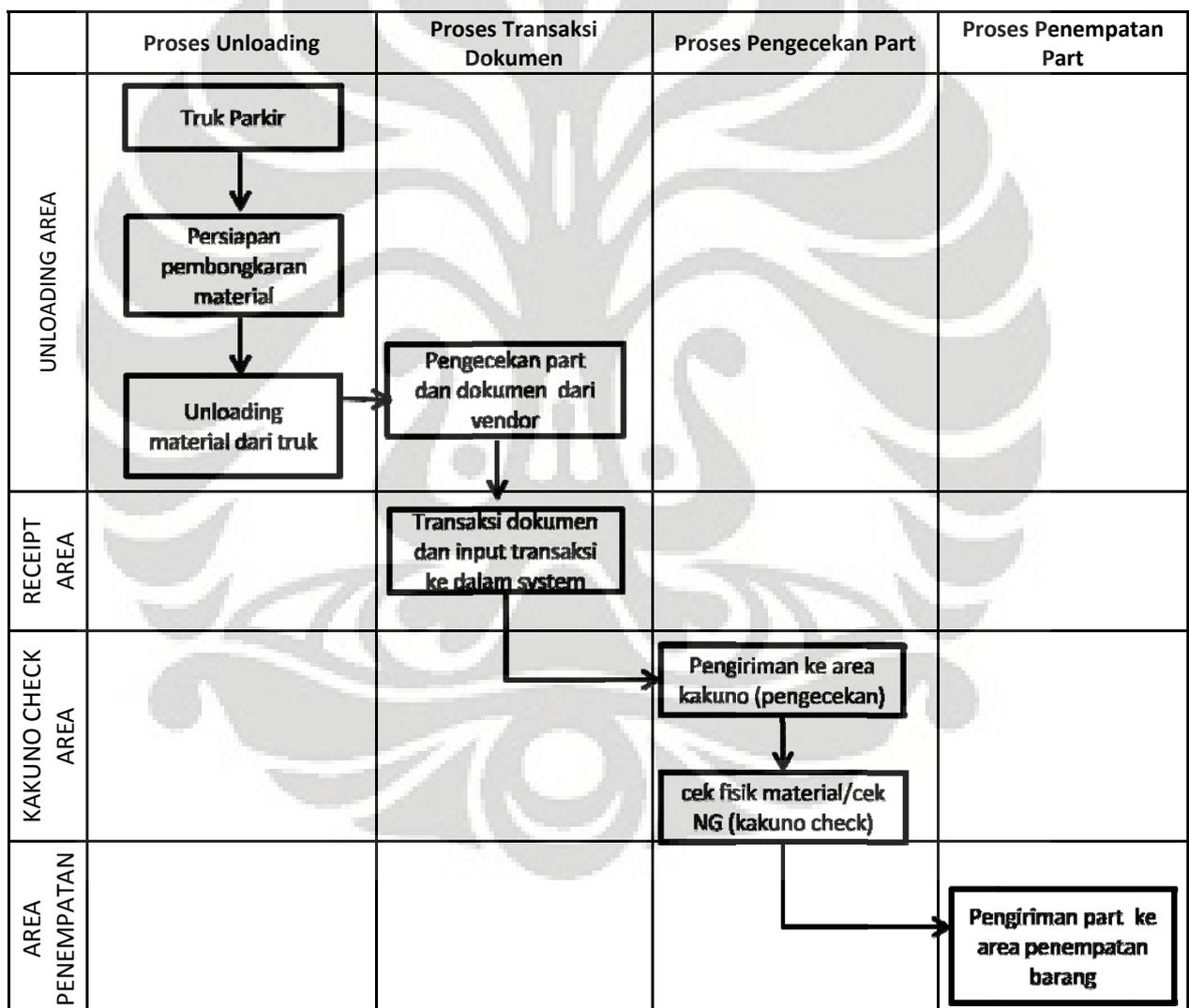
Tabel 3.2. Kapasitas Area Gudang *Body Assy's Part*

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Ukuran		Luas (m ²)	Kapasitas Max	Luas Area Lantai		Kapasitas area oleh Raly/Carrier	Kapasitas Jumlah material
			P (cm)	L (cm)			P (m)	L (m)		
1	AIR FILTER A	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	1,5	18,9	42	4200
	AIR FILTER B	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	2	7,3	16	1600
	AIR FILTER C	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	2	7,4	16	1600
2	BOX A	Trolley	145	80	1,16	50 pcs	1,5	18,9	46	2300
	BOX B	Trolley	145	80	1,16	50 pcs	3	7,3	18	900
	BOX C	Trolley	145	80	1,16	50 pcs	3	7,4	18	900
3	COVER HANDLE A	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	13,5	3	63	6300
	COVER HANDLE B	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	2,1	7,3	8	800
	COVER HANDLE C	Carrier	150	90	1,35	100 pcs	2,1	7,4	8	800
4	DOUBLE SEAT A	Rack	180	80	1,44	50 pcs	3	18,9	60	3000
	DOUBLE SEAT B	Rack	180	80	1,44	50 pcs	6,5	7,3	32	1600
	DOUBLE SEAT C	Rack	180	80	1,44	50 pcs	6,5	7,4	32	1600
5	FENDER A	Carrier	150	90	1,35	50 pcs	4	18,9	96	4800
	FENDER B	Carrier	150	90	1,35	50 pcs	7,9	7,3	40	2000
	FENDER C	Carrier	150	90	1,35	50 pcs	7,9	7,4	40	2000
6	FOOTREST A	Carrier	150	70	1,05	100 pcs	10	18,9	168	16800
	FOOTREST B	Carrier	150	70	1,05	100 pcs	3	7,3	20	2000
	FOOTREST C	Carrier	150	70	1,05	100 pcs	3	7,4	20	2000
7	FR. FORK A	Carrier	125	70	0,875	25 pcs	10	18,9	216	5400
	FR. FORK B	Carrier	125	70	0,875	25 pcs	3	7,3	20	500
	FR. FORK C	Carrier	125	70	0,875	25 pcs	3	7,4	20	500
8	FR. TIRE SET A	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	22	3,5	72	3600
	FR. TIRE SET B	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	22	3,5	72	3600
	FR. TIRE SET C	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	10,5	3,5	34	1700
9	HANDLE COMP A	Rack	150	70	1,05	100 pcs	3	18,9	108	10800
	HANDLE COMP B	Rack	150	70	1,05	100 pcs	2	7,3	20	2000
	HANDLE COMP C	Rack	150	70	1,05	100 pcs	2	7,4	20	2000
10	HANDLE SEAT A	Rack	150	70	1,05	100 pcs	2	18,9	54	5400
	HANDLE SEAT B	Rack	150	70	1,05	100 pcs	2	7,3	20	2000
	HANDLE SEAT C	Rack	150	70	1,05	100 pcs	2	7,4	20	2000
11	MUFFLER A	Rack Muffler	125	95	1,1875	25 pcs	5,5	18,9	152	3800
	MUFFLER B	Rack Muffler	125	95	1,1875	25 pcs	14	7,3	77	1925
	MUFFLER C	Rack Muffler	125	95	1,1875	25 pcs	14	7,4	77	1925
12	RR. ARM A	Carrier	150	60	0,9	50 pcs	2	18,9	72	3600
	RR. ARM B	Carrier	150	60	0,9	50 pcs	2	7,3	24	1200
	RR. ARM C	Carrier	150	60	0,9	50 pcs	2	7,4	24	1200
13	RR. TIRE A	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	22	3,5	72	3600
	RR. TIRE B	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	22	3,5	72	3600
	RR. TIRE C	Daisha	175	60	1,05	50 pcs	10,5	3,5	34	1700
14	LEG SHIELD A	Carrier	160	100	1,6	25 pcs	4	18,9	88	2200
	LEG SHIELD B	Carrier	160	100	1,6	25 pcs	3	7,3	12	300
	LEG SHIELD C	Carrier	160	100	1,6	25 pcs	3	7,4	12	300
15	CAST WHEEL A	Rack	120	55	0,66	25 pcs	24,5	7	240	6000
	CAST WHEEL B	Rack	120	55	0,66	25 pcs	13,5	7	132	3300
	CAST WHEEL C	Rack	120	55	0,66	25 pcs	13	7	120	3000
16	SHOCK ABSORBER A	Carrier	110	80	0,88	100 pcs	3,5	18,9	138	13800
	SHOCK ABSORBER B	Carrier	110	80	0,88	100 pcs	2	7,3	12	1200
	SHOCK ABSORBER C	Carrier	110	80	0,88	100 pcs	2	7,4	12	1200

3.2 Data Operasional

Data operasional pada gudang *body assy part* meliputi aliran proses setiap entitas (truk, material), jumlah dan waktu kedatangan truk dan material, waktu proses pembongkaran material dari truk, waktu pengecekan material, serta waktu perpindahan setiap entitas dari satu lokasi ke lokasi lain. Waktu penerimaan barang dari vendor untuk shift 1 yaitu pada pukul 07.30 sampai dengan pukul 16.30 WIB, untuk shift 2 yaitu pukul 16.31 sampai dengan 01:00 WIB.

3.2.1 Aliran Material



Gambar 3.2. Aliran Material

Material yang tiba dari truk di bongkar dan dicek jenis dan jumlahnya di area *unloading* oleh operator, setelah selesai material kemudian dikirim ke area *kakuno* cek, area *kakuno* cek adalah area pengecekan ulang material yang meliputi jenis, jumlah, cek fisik, nama *vendor*, tanggal penerimaan, dll. Pengecekan material terdiri dari *random check* dan parsial cek. Setelah dilakukan *kakuno* cek material kemudian dikirim ke area penempatannya masing-masing.

3.2.2 Kedatangan truk

Dalam operasionalnya PT. X menganut system pengendalian material dengan leadtime maksimal satu hari. Truk yang datang dari *vendor* tidak terjadwal maka waktu kedatangan dalam satu harinya bersifat *random/acak*.

Table 3.3 Kedatangan truk

Kedatangan	05-Okt-09	06-Okt-09	07-Okt-09	08-Okt-09	09-Okt-09
Truk 1	8:44	8:42	8:42	8:52	8:52
Truk 2	9:32	9:04	8:57	9:02	9:24
Truk 3	9:48	9:28	9:13	9:13	9:44
Truk 4	10:14	9:44	9:38	9:27	10:03
Truk 5	10:29	10:11	9:53	9:41	10:28
Truk 6	11:07	10:28	10:04	9:57	11:27
Truk 7	11:28	11:12	10:16	10:29	11:50
Truk 8	11:43	11:27	10:29	10:40	12:10
Truk 9	12:36	11:39	10:43	11:06	12:24
Truk 10	12:52	11:49	11:26	12:13	12:43

3.3 Data Numerik

3.3.1 Jumlah Material per Kedatangan Truk

Berikut ini adalah jumlah material tiap kedatangan truk

Tabel 3.4 Jumlah Material per Kedatangan Truk

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Jumlah (psc)
1	LEG SHIELD A	Carrier	1000
2	BOX A	Trolley	1000
3	HANDLE SEAT A	Rack	1000
4	FENDER A	Carrier	1000
5	AIR FILTER A	Carrier	1000
6	DOUBLE SEAT A	Rack	1000
7	FOOTREST A	Carrier	1000
8	MUFFLER A	Rack Muffler	1000
9	SHOCK ABSORBER A	Carrier	1000
10	RR. ARM A	Carrier	1000
11	HANDLE COMP A	Rack	1000
12	FR. FORK A	Carrier	1000
13	COVER HANDLE A	Carrier	1000
14	FR. TIRE SET A	Daisha	1000
15	RR. TIRE A	Daisha	1000
16	CAST WHEEL A	Rack	1000
17	LEG SHIELD B	Carrier	800
18	BOX B	Trolley	800
19	HANDLE SEAT B	Rack	800
20	FENDER B	Carrier	800
21	AIR FILTER B	Carrier	800
22	DOUBLE SEAT B	Rack	800
23	FOOTREST B	Carrier	800
24	MUFFLER B	Rack Muffler	800
25	SHOCK ABSORBER B	Carrier	800
26	RR. ARM B	Carrier	800
27	HANDLE COMP B	Rack	800
28	FR. FORK B	Carrier	800
29	COVER HANDLE B	Carrier	800
30	FR. TIRE SET B	Daisha	800
31	RR. TIRE B	Daisha	800
32	CAST WHEEL B	Rack	800
33	LEG SHIELD C	Carrier	500
34	BOX C	Trolley	500
35	HANDLE SEAT C	Rack	500
36	FENDER C	Carrier	500
37	AIR FILTER C	Carrier	500
38	DOUBLE SEAT C	Rack	500
39	FOOTREST C	Carrier	500
40	MUFFLER C	Rack Muffler	500
41	SHOCK ABSORBER C	Carrier	500
42	RR. ARM C	Carrier	500
43	HANDLE COMP C	Rack	500
44	FR. FORK C	Carrier	500
45	COVER HANDLE C	Carrier	500
46	FR. TIRE SET C	Daisha	500
47	RR. TIRE C	Daisha	500
48	CAST WHEEL C	Rack	500

3.3.2 Waktu Proses

Adapun waktu masing-masing proses terlihat padat tabel dibawah ini.

Tabel 3.5. Waktu Proses

Proses	Kegiatan	Average Time	Normal Time	Standard time
Proses Unloading	Truk parkir	0:01:35	0:01:46	0:02:14
	Persiapan pembongkaran material (membuka truk dan Menyiapkan alat angkut (forklift / lifter)	0:02:23	0:02:40	0:03:22
	Unloading material dari truk	0:17:07	0:19:10	0:24:09
Proses Transaksi Dokumen	Pengecekan part dan dokumen dari vendor (jenis, jumlah, nama supplier)	0:03:19	0:03:43	0:04:41
	Transaksi dokumen dan input transaksi ke dalam system	0:02:20	0:02:37	0:03:18
Proses Pengecekan Part	Pengiriman ke area <i>kakuno</i> (pengecekan)	0:00:53	0:00:59	0:01:15
	Pengecekan (jenis, jumlah dan cek fisik material/cek NG) oleh petugas penerimaan (<i>kakuno check</i>)	0:02:33	0:02:51	0:03:36
Proses Penempatan Part	Pengiriman(mendorong carrier) part ke area penempatan barang	0:02:14	0:02:30	0:03:09

Asumsi

- Dengan allowance 26 % dan performance rating factor 12 % dengan perhitungan sebagai berikut

Tabel 3.6 Allowances

Faktor		Kelonggaran (%)
A	Tenaga yang dikeluarkan Ringan	7,5
B	Sikap kerja Berdiri di atas dua kaki	2,5
C	Gerakan kerja Normal	1
D	Kelelahan Mata Pandangan terus-menerus dengan fokus tetap	12
E	Keadaan temperatur tempat kerja Normal	1
F	Keadaan atmosfer Baik	1
G	Keadaan lingkungan yang baik Bersih, sehat, cerah dengan kebisingan rendah	1
TOTAL		26

Tabel 3.7 Rating factor

Faktor	Kelas	Lambang	Penyesuaian
Ketrampilan (skill)	Good	C1	0,06
Usaha (effort)	Good	C1	0,05
Kondisi Kerja (condition)	Good	C	0,01
Konsistensi (consistency)	Average	D	0
TOTAL			0,12

- Semua material dalam keadaan yang sesuai dan tidak cacat
- Material handling (*forklift* dan *lifter*) dalam keadaan siap pakai.

3.3.3 Jarak tempuh

Berdasarkan pengukuran area gudang *body asy* part maka diketahui jarak tempuh perpindahan material dari area *kakuno* ke area penempatan material masing-masing. Berikut adalah tabel jarak tempuh dari area *kakuno* ke area penempatan

Tabel 3.8 Jarak Tempuh Dari Area *Kakuno* ke Area Penempatan

Nama Area		Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan	Nama Area		Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan
AIR FILTER	A	12	HANDLE COMP	A	3
	B	31,5		B	36,9
	C	69,9		C	75,3
BOX	A	5,5	HANDLE SEAT	A	14
	B	26,4		B	52,4
	C	64,8		C	90,8
HANDLE COVER	A	89,63	MUFFLER	A	33,5
	B	28,5		B	85,4
	C	66,9		C	123,8
DOUBLE SEAT	A	37,5	RR. ARM	A	25,5
	B	70,4		B	61,4
	C	108,8		C	99,8
FENDER	A	9,5	RR. TIRE SET	A	102,5
	B	43,4		B	115,13
	C	81,8		C	151,63
FOOTREST	A	54,3	LEG SHIELD	A	23,5
	B	46,4		B	49,4
	C	84,8		C	87,8
FR. FOKR	A	48,5	CAST WHEEL	A	126,13
	B	58,4		B	89,63
	C	96,8		C	164,13
FR. TIRE SET	A	89,63	SHOCK ABSORBER	A	18,5
	B	115,13		B	54,4
	C	154,63		C	92,8

3.3.4 Standar Waktu Tempuh

Berikut ini adalah data pengamatan/ *time study* terhadap operator untuk mengetahui berapa lama waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 4 meter. Data ini akan dijadikan acuan untuk mendapatkan standar waktu setiap 1 meter jarak tempuh pada *software Promodel*.

Tabel 3.9 Waktu Tempuh Jarak 4 Meter

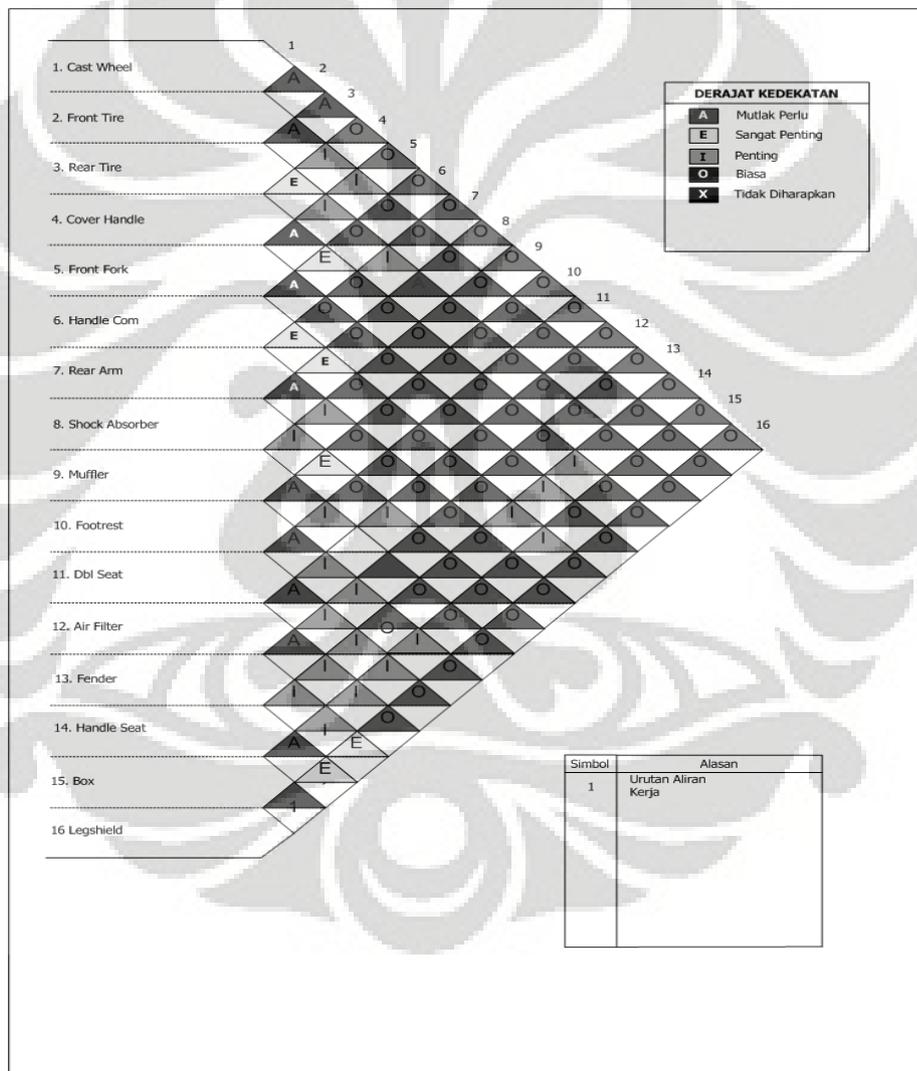
Operator	Waktu yang Dibutuhkan Untuk Menempuh Jarak 4 meter
1	0:00:03
2	0:00:03
3	0:00:03
4	0:00:03
5	0:00:04
6	0:00:03
7	0:00:03
8	0:00:03
9	0:00:03
10	0:00:03
11	0:00:03
12	0:00:03
13	0:00:04
14	0:00:04
15	0:00:04
16	0:00:04
17	0:00:04
18	0:00:04
19	0:00:04
20	0:00:04
21	0:00:04
22	0:00:04
23	0:00:03
24	0:00:04
25	0:00:04
26	0:00:03
27	0:00:03
28	0:00:04
29	0:00:04
30	0:00:04

Dari data tersebut maka didapat rata-rata waktu untuk menempuh jarak 4 meter adalah 4 detik. Maka waktu yang dibutuhkan untuk menempuh jarak 1 meter adalah 1 detik dengan adanya *allowance 26%* dan *rating factor 12%* maka standar waktu untuk menempuh jarak 1 meter adalah 1,4 detik.

BAB 4 MODEL DAN ANALISA

4.1 Analisa Tata Letak

Berikut ini adalah gambar *Activity Relationship Chart* (ARC) untuk mengetahui hubungan antar kegiatan sehingga didapat tata letak berdasarkan urutan pengambilan material.

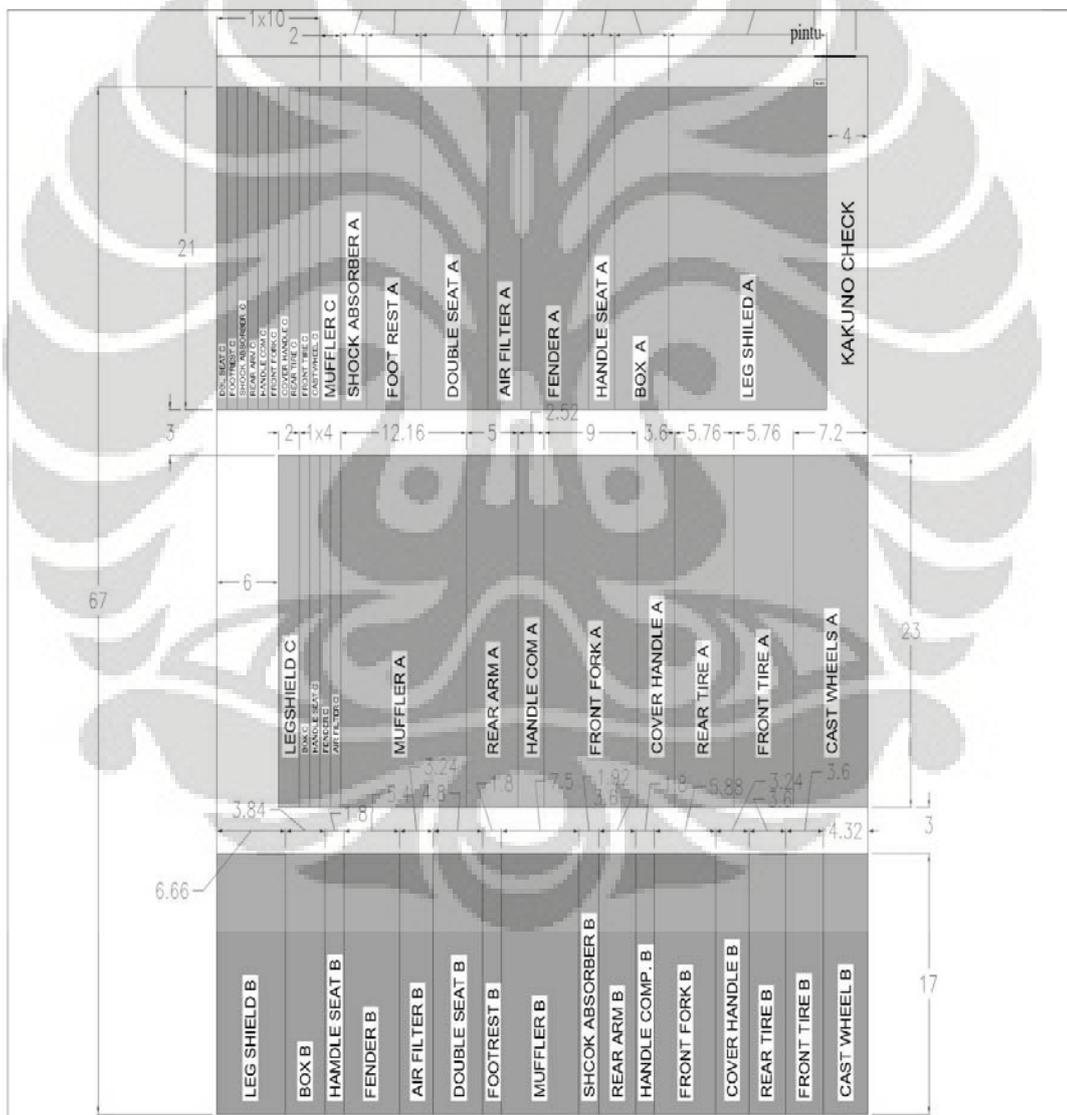


Gambar 4.1 *Activity Relationship Chart* (ARC)

Berdasarkan analisa data ukuran kapasitas area aktual gudang *body assy part* didapat perhitungan masing-masing area penempatan belum sesuai dengan kapasitas yang ditetapkan. Misalnya masih banyak area yang terlalu sempit atau kurangnya ukuran luas lantai area penempatan sedangkan pada area lain ukurannya melebihi kapasitas sehingga membuat tata letak area ini tidak efisien.

4.1.1 Layout Alternatif A

Berikut ini adalah gambar *layout* alternatif A beserta ukurannya.



Gambar 4.2 *Layout* Alternatif A

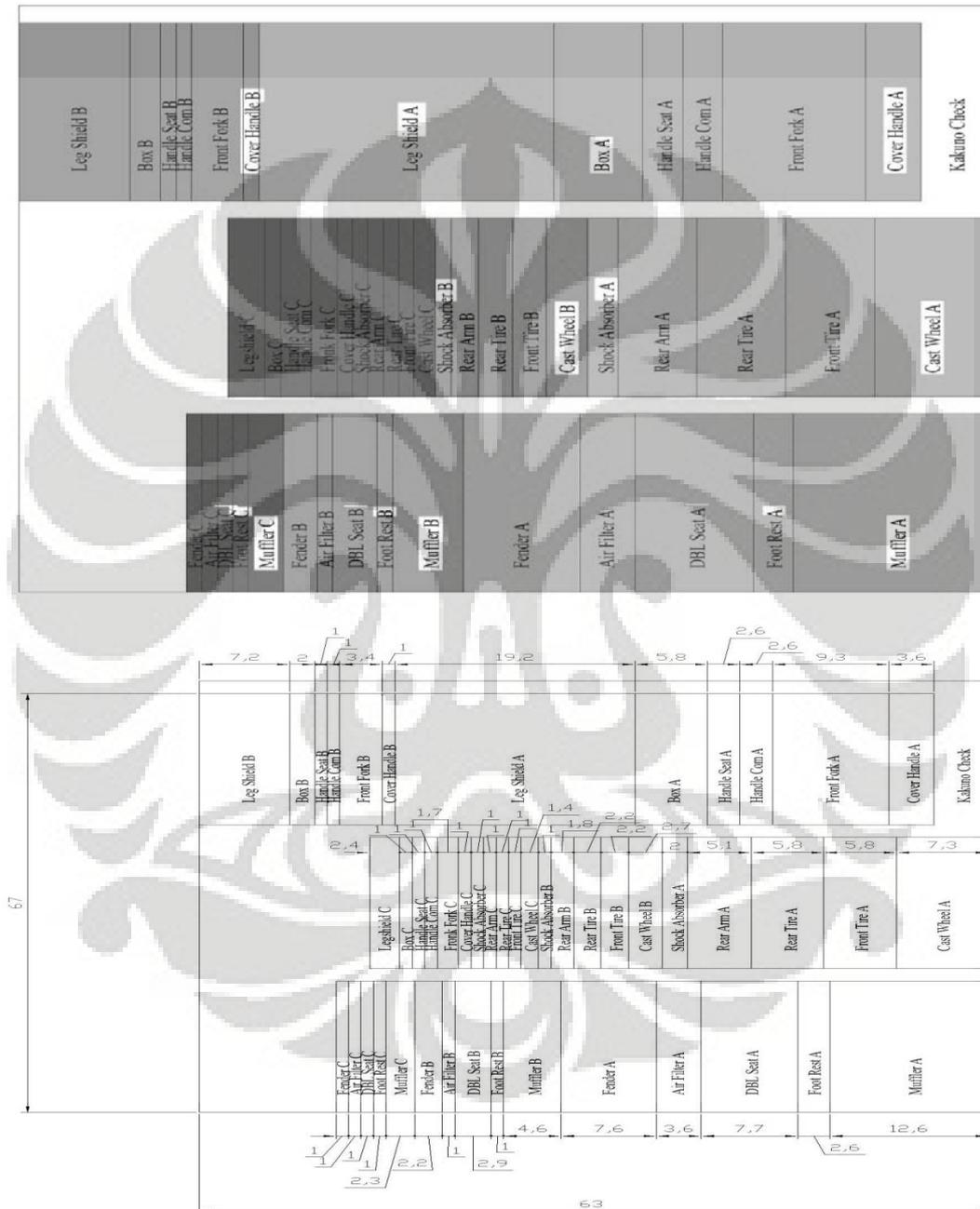
Dengan menghitung kebutuhan luas lantai untuk masing-masing area penempatan dan menata area penempatan tersebut sesuai dengan urutan pengambilan *part* dari gudang ke *line assembling* dengan menggunakan *Activity Relationship Chart* (ARC). Maka didapat *layout* alternatif A.

Pada *Layout* Alternatif A ini material jenis motor A didekatkan kepada area *kakuno* (area pengecekan fisik material) dan pintu *platform* (pintu masuk gudang) secara horizontal sehingga jarak tempuh lebih pendek dan lebih cepat ke area penempatan masing-masing. Hal ini dikarenakan banyaknya pengiriman barang dari vendor untuk material-material jenis motor A yang memiliki persentase jumlah material paling banyak untuk kebutuhan perakitan. Dengan tata letak yang demikian dapat mempercepat aliran material sehingga material dalam kondisi siap pakai pada saat dibutuhkan. Pada material jenis motor B berada setelah zona material A, didekatkan dengan area *kakuno* untuk memperpendek jarak tempuh setelah material di cek di area *kakuno* dan membentuk zona material B untuk menghindari kemiripan *part* dengan *part* jenis motor A dan C. Pada material-material jenis motor C berada di lebih jauh dari area *kakuno*/pengecekan dibandingkan material jenis motor A dan B dikarenakan jenis motor C paling sedikit persentase jumlahnya dibandingkan jenis A dan B.

4.1.2 Layout Alternatif B

Pada *Layout* Alternatif B ini material-material ditempatkan berdasarkan persentase banyaknya material yang dikirim vendor atau jenis motor yang paling banyak diproduksi. Hal ini dilakukan karena seringnya frekuensi kedatangan material dari vendor untuk material yang kebutuhannya terbanyak, material yang paling sering jumlah kedatangannya berada paling dekat dengan pintu gudang dan area *kakuno*/pengecekan untuk mempercepat aliran material sampai pada area penempatan masing-masing sehingga antrian dapat berkurang. Misalnya area penempatan material jenis motor A didekatkan kepada area *kakuno* (area pengecekan fisik material) dan pintu *platform* (pintu masuk gudang) diikuti oleh material jenis

motor B dan C agar yang persentasenya jumlah material dan kedatangan barang lebih sedikit dibandingkan material jenis motor A. Berikut gambar *layout* alternative B.



Gambar 4.3 *Layout* Alternatif B

4.1.3 Kapasitas *Layout*

Berikut ini kapasitas beserta ukuran luas lantai area penempatan masing-masing material.

Tabel 4.1 Kapasitas dan Ukuran *Layout A*

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Ukuran		ukuran + allowance		Luas (m)	Kapasitas Max	Luas Area Lantai		Kapasitas area oleh Rak/Carrier	Kapasitas Jumlah material
			P (cm)	L (cm)	P	L			P (m)	L (m)		
1	AIR FILTER A	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,24	24	40	4000
	AIR FILTER B	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,24	14	15	1500
	AIR FILTER C	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	24	7	700
2	BOX A	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	5,22	24	80	4000
	BOX B	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	3,84	14	30	1500
	BOX C	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	1	24	14	700
3	COVER HANDLE A	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,6	23	40	4000
	COVER HANDLE B	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,24	14	15	1500
	COVER HANDLE C	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	23	7	700
4	DOUBLE SEAT A	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	6,48	24	80	4000
	DOUBLE SEAT B	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	4,8	14	30	1500
	DOUBLE SEAT C	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	1	24	14	700
5	FENDER A	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	6,48	24	80	4000
	FENDER B	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	5,4	14	30	1500
	FENDER C	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	1	24	14	700
6	FOOTREST A	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	5,25	24	40	4000
	FOOTREST B	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1,8	14	15	1500
	FOOTREST C	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	24	7	700
7	FR. FORK A	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	9	23	160	4000
	FR. FORK B	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	5,88	14	60	1500
	FR. FORK C	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	1	24	28	700
8	FR. TIRE SET A	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	5,76	23	80	4000
	FR. TIRE SET B	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	3,6	14	30	1500
	FR. TIRE SET C	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	1	23	14	700
9	HANDLE COMP A	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	2,52	23	40	4000
	HANDLE COMP B	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1,8	14	15	1500
	HANDLE COMP C	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	24	7	700
10	HANDLE SEAT A	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	2,52	24	40	4000
	HANDLE SEAT B	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1,8	14	15	1500
	HANDLE SEAT C	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	24	7	700

Tabel 4.1 Kapasitas dan Ukuran *Layout A* (lanjutan)

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Ukuran		ukuran + allowance		Luas (m)	Kapasitas Max	Luas Area Lantai		Kapasitas area oleh Rak/Carrier	Kapasitas Jumlah material
			P (cm)	L (cm)	P	L			P (m)	L (m)		
11	MUFFLER A	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	12,16	23	160	4000
	MUFFLER B	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	7,5	14	60	1500
	MUFFLER C	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	2	23	28	700
12	RR. ARM A	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	5	23	80	4000
	RR. ARM B	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	3,6	14	30	1500
	RR. ARM C	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	1	24	14	700
13	RR. TIRE A	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	5,76	23	80	4000
	RR. TIRE B	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	3,6	14	30	1500
	RR. TIRE C	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	1	23	14	700
14	LEG SHIELD A	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	15,3	24	160	4000
	LEG SHIELD B	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	6,66	14	60	1500
	LEG SHIELD C	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	2	24	28	700
15	CAST WHEEL A	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	7,2	23	160	4000
	CAST WHEEL B	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	4,23	14	60	1500
	CAST WHEEL C	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	1	23	28	700
16	SHOCK ABSORBER A	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	2,51	24	40	4000
	SHOCK ABSORBER B	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	1,92	14	15	1500
	SHOCK ABSORBER C	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	1	24	7	700

Tabel 4.2 Kapasitas dan Ukuran *Layout B*

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Ukuran		ukuran + allowance		Luas (m)	Kapasitas Max	Luas Area Lantai		Kapasitas area oleh Rak/Carrier	Kapasitas Jumlah material
			P (cm)	L (cm)	P	L			P (m)	L (m)		
1	AIR FILTER A	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,6	21	40	4000
2	AIR FILTER B	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	21	15	1500
3	AIR FILTER C	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	21	7	700
4	BOX A	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	5,8	21	80	4000
5	BOX B	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	2	21	30	1500
6	BOX C	Trolley	145	80	174	96	167,04	50 pcs	1	21	14	700
7	COVER HANDLE A	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	3,6	21	40	4000
8	COVER HANDLE B	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	21	15	1500
9	COVER HANDLE C	Carrier	150	90	180	108	194,4	100 pcs	1	21	7	700

Tabel 4.2 Kapasitas dan Ukuran *Layout B* (lanjutan)

NO.	Nama Material	Material Handling Equipment	Ukuran		ukuran + allowance		Luas (m)	Kapasitas Max	Luas Area Lantai		Kapasitas area oleh Rak/Carrier	Kapasitas Jumlah material
			P (cm)	L (cm)	P	L			P (m)	L (m)		
10	DOUBLE SEAT A	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	7,7	21	80	4000
11	DOUBLE SEAT B	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	2,9	21	30	1500
12	DOUBLE SEAT C	Rack	180	80	216	96	207,36	50 pcs	1	21	14	700
13	FENDER A	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	7,6	21	80	4000
14	FENDER B	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	2,2	21	30	1500
15	FENDER C	Carrier	150	90	180	108	194,4	50 pcs	1	21	14	700
16	FOOTREST A	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	2,6	21	40	4000
17	FOOTREST B	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	15	1500
18	FOOTREST C	Carrier	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	7	700
19	FR. FORK A	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	9,3	21	160	4000
20	FR. FORK B	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	3,4	21	60	1500
21	FR. FORK C	Carrier	125	70	150	84	126	25 pcs	1,7	21	28	700
22	FR. TIRE SET A	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	5,8	21	80	4000
23	FR. TIRE SET B	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	2,2	21	30	1500
24	FR. TIRE SET C	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	1	21	14	700
25	HANDLE COMP A	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	2,6	21	40	4000
26	HANDLE COMP B	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	15	1500
27	HANDLE COMP C	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	7	700
28	HANDLE SEAT A	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	2,6	21	40	4000
29	HANDLE SEAT B	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	15	1500
30	HANDLE SEAT C	Rack	150	70	180	84	151,2	100 pcs	1	21	7	700
31	MUFFLER A	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	12,6	21	160	4000
32	MUFFLER B	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	4,6	21	60	1500
33	MUFFLER C	Rack Muffler	125	95	150	114	171	25 pcs	2,3	21	28	700
34	RR. ARM A	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	5,1	21	80	4000
35	RR. ARM B	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	1,8	21	30	1500
36	RR. ARM C	Carrier	150	60	180	72	129,6	50 pcs	1	21	14	700
37	RR. TIRE A	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	5,8	21	80	4000
38	RR. TIRE B	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	2,2	21	30	1500
39	RR. TIRE C	Daisha	175	60	210	72	151,2	50 pcs	1	21	14	700
40	LEG SHIELD A	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	19,2	21	160	4000
41	LEG SHIELD B	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	7,2	21	60	1500
42	LEG SHIELD C	Carrier	160	100	192	120	230,4	25 pcs	2,4	21	28	700
43	CAST WHEEL A	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	7,3	21	160	4000
44	CAST WHEEL B	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	2,7	21	60	1500
45	CAST WHEEL C	Rack	120	55	144	66	95,04	25 pcs	1,4	21	28	700
46	SHOCK ABSORBER A	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	2	21	40	4000
47	SHOCK ABSORBER B	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	1	21	15	1500
48	SHOCK ABSORBER C	Carrier	110	80	132	96	126,72	100 pcs	1	21	7	700

4.1.4 Jarak Tempuh

Dengan diketahuinya ukuran luas lantai area penempatan maka didapat jarak tempuh baru yaitu sebagai berikut:

Tabel 4.3 Jarak Tempuh *Layout* Alternatif A

Nama Area	Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan (m)	Nama Area	Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan (m)
LEG SHIELD A	1	HANDLE COMP A	55,12
BOX A	17,3	RR. ARM A	57,64
HANDLE SEAT A	21,52	MUFFLER A	62,64
FENDER A	24,04	CAST WHEEL C	74,8
AIR FILTER A	30,52	FR. TIRE SET C	75,8
DOUBLE SEAT A	33,76	RR. TIRE C	76,8
FOOTREST A	40,24	COVER HANDLE C	77,8
SHOCK ABSORBER A	45,49	MUFFLER C	80,8
LEG SHIELD C	48	CAST WHEEL B	54
BOX C	50	FR. TIRE SET B	59,32
HANDLE SEAT C	51	RR. TIRE B	62,92
FENDER C	52	COVER HANDLE B	66,52
AIR FILTER C	53	FR. FORK B	69,76
DOUBLE SEAT C	54	HANDLE COMP B	75,64
FOOTREST C	55	RR. ARM B	77,44
SHOCK ABSORBER C	56	SHOCK ABSORBER B	81,04
RR. ARM C	57	MUFFLER B	82,96
HANDLE COMP C	58	FOOTREST B	90,46
FR. FORK C	59	DOUBLE SEAT B	92,26
CAST WHEEL A	27	AIR FILTER B	97,06
FR. TIRE SET A	31	FENDER B	100,3
RR. TIRE A	36,76	HANDLE SEAT B	105,7
COVER HANDLE A	42,52	BOX B	107,5
FR. FORK A	46,12	LEG SHIELD B	118

Tabel 4.4 Jarak Tempuh *Layout* Alternatif B

Nama Area	Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan (m)	Nama Area	Jarak tempuh dari area <i>kakuno</i> check ke area penempatan (m)
LEG SHIELD A	23,9	HANDLE COMP A	12,9
BOX A	18,1	RR. ARM A	36,6
HANDLE SEAT A	15,5	MUFFLER A	46
FENDER A	72,5	CAST WHEEL C	53,6
AIR FILTER A	68,9	FR. TIRE SET C	55
DOUBLE SEAT A	61,2	RR. TIRE C	56
FOOTREST A	58,6	COVER HANDLE C	59
SHOCK ABSORBER A	41,7	MUFFLER C	91,8
LEG SHIELD C	64,7	CAST WHEEL B	43,7
BOX C	63,7	FR. TIRE SET B	46,4
HANDLE SEAT C	62,7	RR. TIRE B	48,6
FENDER C	97,1	COVER HANDLE B	43,1
AIR FILTER C	96,1	FR. FORK B	44,1
DOUBLE SEAT C	95,1	HANDLE COMP B	47,5
FOOTREST C	94,1	RR. ARM B	50,8
SHOCK ABSORBER C	58	SHOCK ABSORBER B	52,6
RR. ARM C	57	MUFFLER B	80,1
HANDLE COMP C	61,7	FOOTREST B	84,7
FR. FORK C	60	DOUBLE SEAT B	85,7
CAST WHEEL A	23	AIR FILTER B	88,6
FR. TIRE SET A	25	FENDER B	89,6
RR. TIRE A	30,8	HANDLE SEAT B	48,5
COVER HANDLE A	1	BOX B	48,5
FR. FORK A	3,6	LEG SHIELD B	50,5

4.2 Formulasi Model

Model simulasi area gudang *body assy part* ini dibuat dengan menggunakan *software* ProModel 7 dan Microsoft Office Excel sebagai *user interface* untuk mempermudah input data kedalam model. Model yang dibuat terdiri dari beberapa elemen, yaitu elemen struktural, elemen operasional, dan output simulasi.

4.2.1 Elemen Struktural

4.2.1.1 Layout Model

Pembuatan model ini diawali dengan pembuatan *layout* model. *Layout* ini dibuat berdasarkan gambar yang diperoleh dari aplikasi data di lapangan yang sesuai dengan keadaan yang sesungguhnya. *Layout* tersebut akan memudahkan dalam penempatan lokasi-lokasi dalam model. *Layout* Aktual area gudang *body assy part* dapat dilihat pada halaman 56.

4.2.1.2 Entitas

Entitas adalah item-item yang diproses di dalam sistem. Entitas model terdiri dari 48 material *body assy part* dan truk.

* Entities *			
Name	Speed (rpm)	Stats	Cost
part_legshield_A	150	Time Series	
Truk	50	Time Series	
Forklift	50	Time Series	
part_box_A	50	Time Series	
part_handleseat_A	50	Time Series	
part_fender_A	50	Time Series	
part_airfilter_A	50	Time Series	
part_dblseat_A	50	Time Series	
part_footrest_A	50	Time Series	
part_muffler_A	50	Time Series	
part_shockabsorber_A	50	Time Series	
part_reararm_A	50	Time Series	
part_handlecom_A	50	Time Series	
part_frontfork_A	50	Time Series	
part_coverhandle_A	50	Time Series	
part_reartire_A	50	Time Series	
part_fronttire_A	50	Time Series	
part_castwheel_A	50	Time Series	
part_legshield_B	50	Time Series	
part_box_B	50	Time Series	
part_handleseat_B	50	Time Series	
part_fender_B	50	Time Series	
part_airfilter_B	50	Time Series	
part_dblseat_B	50	Time Series	
part_footrest_B	50	Time Series	
part_muffler_B	50	Time Series	
part_shockabsorber_B	50	Time Series	
part_reararm_B	50	Time Series	
part_handlecom_B	50	Time Series	
part_frontfork_B	50	Time Series	
part_coverhandle_B	50	Time Series	
part_reartire_B	50	Time Series	
part_fronttire_B	50	Time Series	
part_castwheel_B	50	Time Series	
part_legshield_C	50	Time Series	
part_box_C	50	Time Series	
part_handleseat_C	50	Time Series	
part_fender_C	50	Time Series	
part_airfilter_C	50	Time Series	
part_dblseat_C	50	Time Series	
part_footrest_C	50	Time Series	
part_muffler_C	50	Time Series	
part_shockabsorber_C	50	Time Series	
part_reararm_C	50	Time Series	
part_handlecom_C	50	Time Series	
part_frontfork_C	50	Time Series	
part_coverhandle_C	50	Time Series	
part_reartire_C	50	Time Series	
part_fronttire_C	50	Time Series	
part_castwheel_C	50	Time Series	

Gambar 4.4. Entitas Model Gudang *Body Assy Part*

4.2.1.3 Lokasi

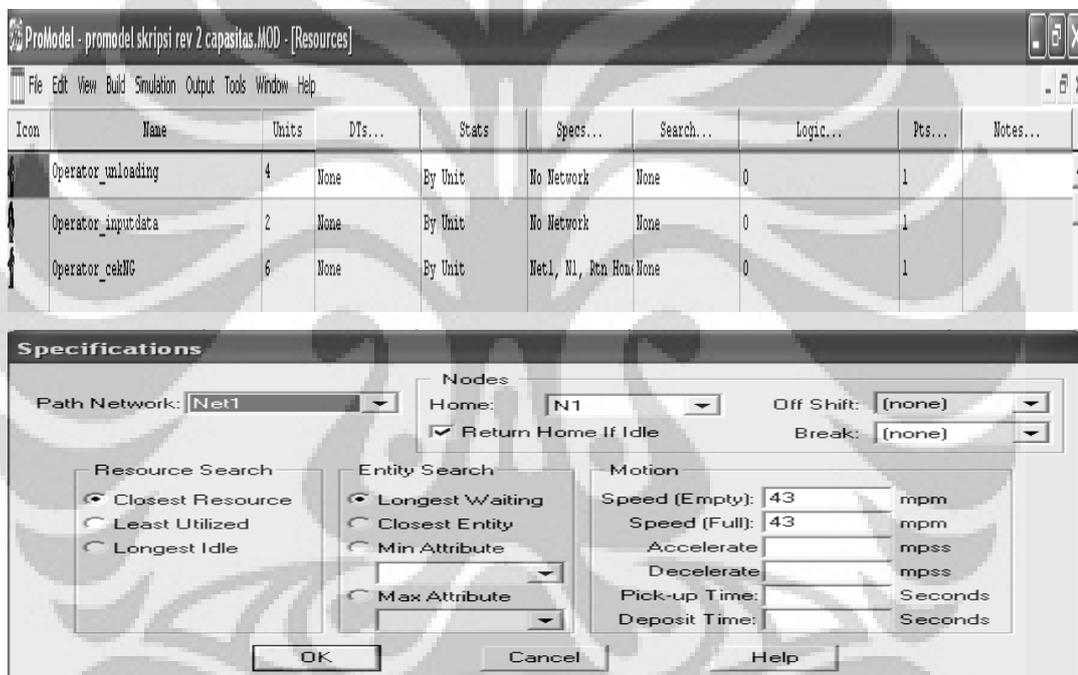
Lokasi pada model menunjukkan area-area dimana entitas diproses atau menunggu diproses. Lokasi-lokasi tersebut terbagi menjadi lokasi parkir truk, area cek unloading, area *kakuno* cek, dan area penempatan material-material dengan jumlah dan kapasitas yang berbeda-beda sesuai data yang telah dibahas pada bab sebelumnya. Dalam model, setiap entitas hanya dapat bergerak pada lokasi. Dengan demikian, maka setiap tempat atau jalan yang dilalui oleh entitas harus dibuat sebagai lokasi. Berikut ini contoh lokasi yang dibuat pada model:

Locations						
Name	Cap	Units	Stats	Rules	Cost	
parkir_truk	1	1	Time Series	Oldest	,	,
area_cek	inf	1	Time Series	Oldest	,	,
receipt	1	1	Time Series	Oldest	,	,
area_kakuno	inf	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_com_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
box_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
fender_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
air_filter_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_seat_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
shock_absorber_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
legshield_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_arm_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
muffler_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
dbl_seat_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
front_fork_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
footrest_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
box_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
cover_handle_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
air_filter_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_com_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
fender_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
footrest_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
legshield_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_seat_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
shock_absorber_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
front_fork_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_arm_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
double_seat_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
muffler_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
box_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
cover_handle_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
air_filter_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_com_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
fender_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
footrest_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
legshield_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
handle_seat_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
shock_absorber_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
front_fork_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_arm_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
dbl_seat_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
muffler_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
cover_handle_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_tire_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
front_tire_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
cast_wheel_A	4000	1	Time Series	Oldest	,	,
cast_wheel_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_tire_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
front_tire_B	1500	1	Time Series	Oldest	,	,
rear_tire_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,
front_tire_C	700	1	Time Series	Oldest	,	,

Gambar 4.5. Lokasi Model Gudang *Body Assy Part*

4.2.1.4 Sumber Daya

Sumber Daya / *resource* pada *Promodel* terdiri dari data jumlah operator. Specification pada *resource* menunjukkan bahwa operator bergerak pada pola aliran yang telah ditentukan pada *path network*. Kecepatan operator bergerak pada *Promodel* telah dihitung pada data sebelumnya yaitu 1,4 detik setiap 1 meter, maka pada *Promodel* diketik 43 meter per menit. Berikut ini adalah gambar *resource* dan *specifications*.



Gambar 4.6 Resource dan Specification

4.2.2 Elemen Operasional

4.2.2.1 Kedatangan

Kedatangan entitas pada model sesuai dengan data yang telah dibahas pada

bab sebelumnya yaitu kedatangan dengan pola random/acak terdistribusi secara eksponensial dihitung dengan program stat fit maka diperoleh hasil sebagai berikut:

Tabel 4.5 Kedatangan Truk

Kedatangan	05-Okt-09	06-Okt-09	07-Okt-09	08-Okt-09	09-Okt-09
Truk 1	8:44	8:42	8:42	8:52	8:52
Truk 2	9:32	9:04	8:57	9:02	9:24
Truk 3	9:48	9:28	9:13	9:13	9:44
Truk 4	10:14	9:44	9:38	9:27	10:03
Truk 5	10:29	10:11	9:53	9:41	10:28
Truk 6	11:07	10:28	10:04	9:57	11:27
Truk 7	11:28	11:12	10:16	10:29	11:50
Truk 8	11:43	11:27	10:29	10:40	12:10
Truk 9	12:36	11:39	10:43	11:06	12:24
Truk 10	12:52	11:49	11:26	12:13	12:43

Data tersebut kemudian diolah ke dalam stat fit maka didapat hasil sebagai berikut.



distribution	rank	acceptance
Exponential(10., 12.7)	100	do not reject
Lognormal(10., 1.98, 1.28)	46.	do not reject

Gambar 4.7 Stat Fit Promodel untuk Distribusi Kedatangan Truk

Maka di dalam simulasi promodel kedatangan truk pada *arrival* terdistribusi eksponensial dengan rata-rata kedatangan 23 menit setiap truknya.

4.2.2.2 Logic Model

Pembuatan logic model merupakan tahap tersulit dalam pembuatan sebuah model. Pembuat model harus menerjemahkan dari proses yang ada ke dalam bahasa

4.3 Verifikasi dan Validasi Model

Setelah model berhasil dibuat, langkah selanjutnya adalah proses verifikasi dan validasi model. Verifikasi dilakukan untuk mengetahui apakah model telah dibuat dengan benar, berkaitan dengan penulisan dan struktur dari *syntax* model. Hal-hal yang dilakukan untuk verifikasi model gudang *body assy part* ini adalah:

- Pengecekan kembali *syntax* model

Untuk memastikan bahwa model telah dibuat dengan benar, maka dilakukan pengecekan kembali terhadap penulisan semua elemen dalam model dan memastikan tidak ada kesalahan dalam menuliskan semua proses.

- Mengamati perilaku sistem dalam animasi

Selama model dijalankan terlihat bahwa semua entitas (material dan truk), resource telah bergerak pada jalurnya, aliran material dengan nilai variabel Pelayanan, ketika nilai variabel Pelayanan = 1 semua material bergerak ke lokasi pertama yaitu area cek, begitu pula dengan Pelayanan = 2, 3, dan 4, aliran material telah sesuai dengan rute masing-masing.

- Memeriksa *output model*

Untuk mengetahui apakah material terdistribusi pada lokasi area penempatannya masing-masing sesuai kapasitasnya dibuat sebuah variabel yang menunjukkan jumlah material pada area penempatan tersebut tersebut. Nilai variabel tersebut menunjukkan bahwa jumlah material yang diangkut oleh truk tidak melebihi kapasitas area tersebut.

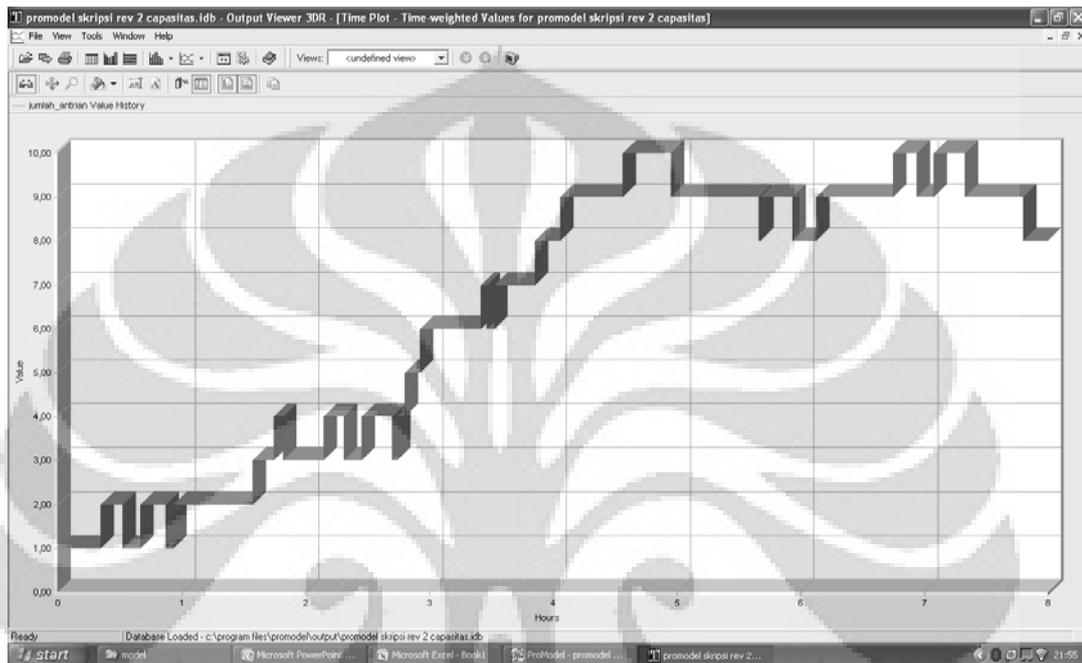
- Memeriksa jumlah truk pada system. Output model tersebut kemudian dibandingkan dengan data aktual di lapangan.

4.4 Analisa Output

Ada 2 alternatif *layout* yang dijalankan untuk melihat perilaku sistem serta efek dari perubahan *layout*. Dari setiap alternatif kemudian dianalisis bagaimana performa sistem, yaitu jumlah anrtian truk dalam system.

4.4.1 Simulasi *Layout* Aktual

Simulasi *Layout* aktual dibuat berdasarkan kondisi aktual. Setelah model disimulasikan diperoleh hasil sebagai berikut:

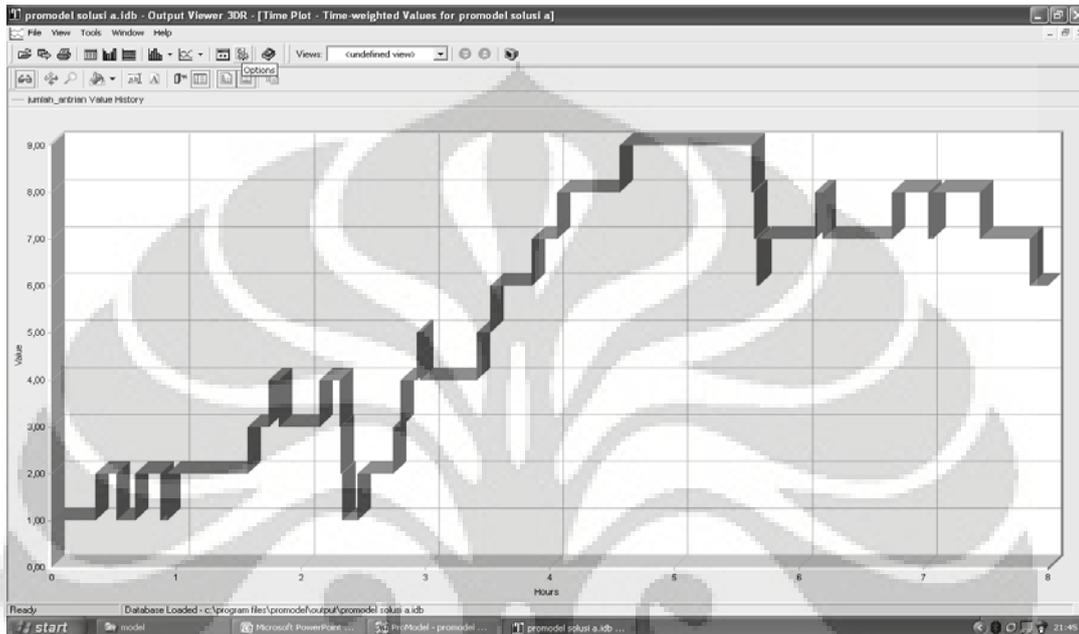


Gambar 4.9. Grafik Jumlah Antrian Truk dalam Sistem pada *Layout* Aktual

Dari grafik diatas, terlihat bahwa jumlah truk di dalam sistem menunjukkan antrian di area *unloading*. Pada jam ketiga antrian truk semakin bertambah sampai dengan jam kelima. Jumlah truk terbanyak berfluktuasi antara 9 sampai 10 truk. Pada jam keenam antrian truk berkurang satu unit dan stabil sampai awal jam ketujuh, tetapi kembali bertambah pada akhir jam ketujuh. Kondisi tersebut belum optimal jika dibandingkan dengan *layout* Alternatif A.

4.4.1 Simulasi *Layout* Alternatif A

Simulasi *layout* alternatif A dibuat berdasarkan rancangan *layout* baru. Setelah model disimulasikan diperoleh hasil sebagai berikut:

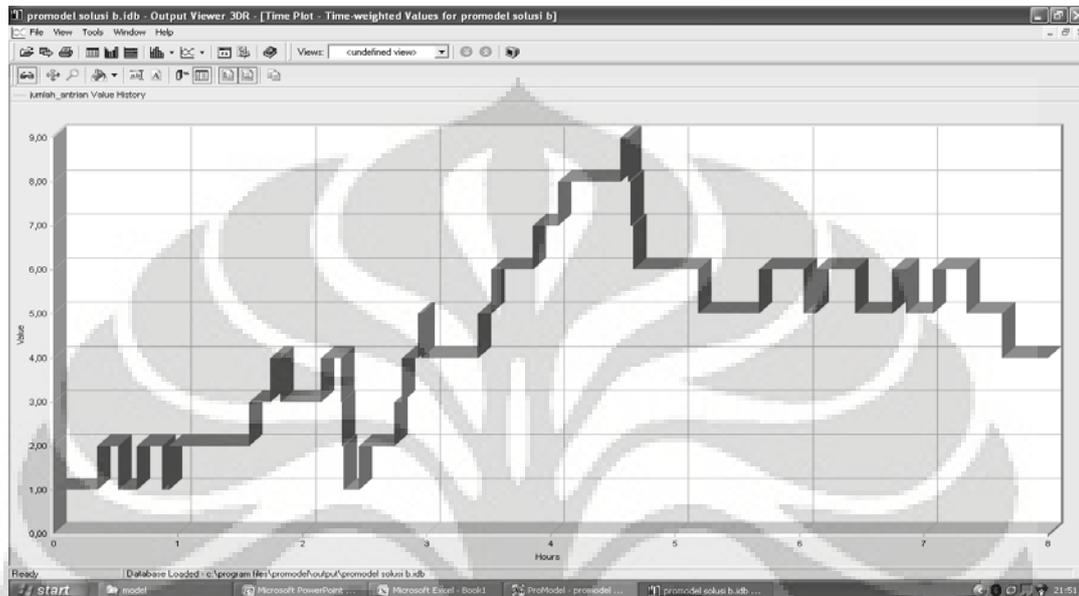


Gambar 4.10. Grafik Jumlah Antrian Truk dalam Sistem pada *Layout* Alternatif A

Dari grafik diatas, terlihat bahwa pada jam ketiga terjadi penurunan jumlah antrian truk dari 4 truk menjadi 1 truk. Antrian truk terbanyak sebesar 9 truk, lebih sedikit jika dibandingkan dengan *layout* aktual. Pada jam keenam sampai kedelapan antrian truk berfluktuasi antara 7 sampai dengan 8 truk sedangkan pada *layout* aktual pada jam keenam antrian truk berfluktuasi antara 9 sampai dengan 10 truk. Maka jika dibandingkan dengan hasil simulasi *layout* aktual, *layout* alternatif A lebih optimal.

4.3.1 Simulasi *Layout* Alternatif B

Setelah model disimulasikan diperoleh hasil *layout* alternatif B sebagai berikut:



Gambar 4.11. Jumlah Antrian Truk dalam Sistem pada *Layout* Alternatif B

Dari grafik diatas, terlihat bahwa pada jam ketiga terjadi penurunan jumlah antrian truk dari 4 truk menjadi 1 truk. Antrian truk terbanyak sebesar 9 truk, yang terjadi hanya sekali pada jam kelima kemudian berkurang hingga 6 truk lebih sedikit jika dibandingkan dengan *layout* aktual. Pada jam keenam sampai kedelapan antrian truk berfluktuasi antara 5 sampai dengan 6 truk sedangkan pada *layout* aktual pada jam keenam antrian truk berfluktuasi antara 9 sampai dengan 10 truk dan dan *layout* alternatif A antara 7 sampai dengan 8 truk. Maka jika dibandingkan dengan hasil simulasi *layout* aktual dan *layout* alternatif A, simulasi dengan *layout* alternatif B paling optimal.

4.4 Komparasi Hasil

Setelah semua skenario dijalankan, hasilnya dibandingkan untuk melihat pengaruh dari perubahan *layout* terhadap waktu tunggu, pelayanan dan jumlah antrian. Hasil perbandingan tersebut dapat digunakan untuk menentukan *layout* manakah yang yang paling optimal untuk gudang *body assy part*. Berikut ini diberikan tabel yang menunjukkan perbandingan waktu pelayanan dan panjang antrian truk.

Tabel 4.6. Komparasi Hasil

	Total Truk yang terlayani	Total Truk yang Masih dalam Antrian	Waktu Rata-rata Truk Antri untuk Dilayani	Waktu Rata-rata Truk Antri dan Dilayani
<i>Layout Aktual</i>	12	8	112 menit	143 menit
<i>Layout Alternatif A</i>	14	6	95 menit	126 menit
<i>Layout Alternatif B</i>	16	4	77 menit	108 menit

Simulasi disesuaikan dengan waktu kerja shift 1 yaitu pukul 08:30 sampai dengan 16:30 dengan istirahat satu jam mulai pukul 11.30 sampai dengan pukul 12.30. Waktu rata-rata pelayanan adalah waktu rata-rata keseluruhan yang terdiri dari rata-rata waktu antrian sebelum masuk sistem, sampai dengan waktu selesai pelayanan.

BAB 5

KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Dengan menghitung kebutuhan luas area lantai area penempatan material *body assy part*, menimalkan jarak tempuh serta menggunakan metode keterkaitan aktivitas urutan pengambilan material maka diperoleh *layout* yang lebih baik. Dilihat dari hasil penelitian dengan menggunakan *software Promodel* yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan bahwa *layout* saat ini belum optimal jika dibandingkan dengan dua alternatif yang dibuat. *Layout* Alternatif A dan B masing-masing dapat mengurangi antrian truk dan mengurangi waktu antrian samapai dengan waktu selesai pelayanan. *Layout* A dapat mengurangi antrian hingga 2 truk, *layout* B dapat mengurangi antrian hingga 4 truk. *Layout* A dapat mengurangi rata-rata waktu antrian samapai selesai pelayanan hingga 16 menit, *layout* B dapat mengurangi rata-rata waktu antrian samapai selesai pelayanan hingga 34 menit. Sehingga dapat disimpulkan bahwa *layout* yang mendekati optimal yaitu *layout* alternatif B.

5.2 Saran

Dengan simulasi *promodel* diperoleh *layout* baru yang dapat mengurangi antrian truk dengan dilakukannya *re-layout* pada area gudang *body asy part* PT. X. Perubahan *layout* tidak membutuhkan dana yang besar hanya karena cukup dengan penataan area sesuai dengan kapasitas dan pemanfaatan luas area yang efisien baik dari segi jarak maupun pola aliran barang.

DAFTAR REFERENSI

- Apple, J.M. *Plant Layout and Material Handling*, John Wiley and Sons, Inc., New York.
- Asllani, Arben., Dileepan, Parthasarati., dan Etkin, Lawrence. *A Methodology for Using Simulation to Optimize Emergency Mass Vaccination Parameters*. 2007
- Banks, Jerry. *Discrete-Event System Simulation*, Prentice Hall, New Jersey, 2005.
- Benjamin Niebel dan Andris Freivalds, *Methods, Standards, and Work Design*, McGraw Hill, 2000.
- C. Harrell., B. K. Ghosh, dan R. Bowden, *Simulation Using ProModel*, ed. ke-3, McGraw-Hill, Boston, 2000.
- Gavriel Salvendy, *Handbook of industrial engineering*, 1st ed, John & Wiley & son Inc., 1982.
- Hicks, Philips E, *Industrial Engineering and Management*, a new Prespective, 2nd, ed. 1994.
- Kljajic, Miroljub., dkk. *Post Decision-Making Analysis of the Reengineering Process Supported by Simulation Methods*. 2007
- Levin, Richard I dan Rubin, David S, *Statistics for Management*, Prentice Hall, New Jersey, 1998.
- Richard Bronson. *Theory and Problems of Operation Research*, McGraw-Hill. Boston, 1993.
- Rika Ampuh H, *Tata Letak Pabrik*. Penerbit Andi. Yogyakarta. 2008.
- Tompkins, White, Bozer, Frazelle, Tanchoco, dan Trevino, *Facilities Planning*, John & Wiley & son Inc., New York, 1982.
- Wignjosoebroto, S. *Ergonomi, studi gerak dan waktu*, Surabaya:Guna Widya, 1995.