



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MENENTUKAN KEBIJAKAN  
JUMLAH DAN STRATEGI PENUGASAN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE*  
PADA GUDANG *SPAREPARTS PT. X***

AMELIA ISNIE BAHRIA  
NRP. 02411640000052

DOSEN PEMBIMBING

Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D.

NIP. 197109271999031002

DEPARTEMEN TEKNIK DAN SISTEM INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI DAN REKAYASA INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK  
MENENTUKAN KEBIJAKAN JUMLAH DAN STRATEGI  
PENUGASAN *AUTOMATED GUIDED VEHICLE* PADA  
GUDANG *SPAREPARTS PT. X***

AMELIA ISNIE BAHRIA  
NRP. 02411640000052

DOSEN PEMBIMBING  
Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D.  
NIP. 197109271999031002

DEPARTEMEN TEKNIK DAN SISTEM INDUSTRI  
FAKULTAS TEKNOLOGI DAN REKAYASA INDUSTRI  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



# LEMBAR PENGESAHAN

PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MENENTUKAN  
KEBIJAKAN JUMLAH DAN STRATEGI PENUGASAN *AUTOMATED  
GUIDED VEHICLE* PADA GUDANG SPAREPARTS PT. X

TUGAS AKHIR

Diajukan Sebagai Persyaratan Penyelesaian Studi Strata Satu  
Departemen Teknik dan Sistem Industri  
Fakultas Teknologi dan Rekayasa Industri  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember  
Surabaya

Penulis :

**AMELIA ISNIE BAHRIA**  
**NRP 0241164000052**

Mengetahui/menyetujui,

Dosen Pembimbing



**Prof. Iwan Vanany, ST.,**  
**M.T. Ph. D**

NIP. 197109271999031002

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MENENTUKAN  
KEBIJAKAN JUMLAH DAN STRATEGI PENUGASAN *AUTOMATED  
GUIDED VEHICLE* PADA GUDANG SPAREPARTS PT. X**

Nama Mahasiswa : Amelia Isnje Bahria  
NRP : 02411640000052  
Dosen Pembimbing : Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D

**ABSTRAK**

Meningkatnya jumlah produksi dan penambahan variasi model motor mengharuskan PT.X memiliki gudang *spareparts* yang efektif dan efisien guna menjamin ketersediaan komponen penyusun motor yang diproduksi. Dengan keterbatasan *space* yang dimiliki dan kapasitas produksi yang terus meningkat tiap tahun, PT. X memutuskan untuk melakukan otomasi dengan mengimplementasikan *AGV (Automated Guided Vehicle)* pada aktivitas *put away* dan *order picking*. Adanya robot memotong waktu *put away* dan *picking* sehingga mengurangi penumpukan barang di area *receiving* dan juga mempercepat laju perputaran barang di gudang. Penentuan jumlah optimal *AGV* penting dilakukan agar tidak terjadi pemborosan *resource* mengingat investasi untuk *AGV* mahal dan menghindari kondisi *deadlock/traffic jam* yang akan terjadi apabila terlalu banyak *AGV* yang dioperasikan dalam gudang. Penelitian ini akan dilakukan menggunakan metode simulasi *discrete-event* dengan *software* *Arena* untuk menentukan jumlah optimal *AGV* yang dibutuhkan dan strategi penugasannya. Dari penelitian yang dilakukan diperoleh bahwa menerapkan 10 *AGV* menghasilkan nilai utilitas 92% dimana nilai tersebut sesuai target perusahaan dan telah dipertimbangkan apabila terjadi kenaikan *demand* sebesar 20%, 25%, dan 50%. Sedangkan untuk strategi penugasan *AGV* yang efisien yaitu *undedicated strategy* karena menghasilkan *waiting time* lebih kecil dan nilai utilitas yang merata pada masing-masing *AGV*-nya.

**Kata kunci:** *Automated Guided Vehicle, put away, order picking, deadlock/traffic jam*

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

**PEMODELAN SIMULASI DISKRIT UNTUK MENENTUKAN  
KEBIJAKAN JUMLAH DAN STRATEGI PENUGASAN *AUTOMATED  
GUIDED VEHICLE* PADA GUDANG SPAREPARTS PT. X**

Nama Mahasiswa : Amelia Isnih Bahria  
NRP : 02411640000052  
Dosen Pembimbing : Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D

**ABSTRACT**

An increasing amount of production and variation in the motorcycle's model requires PT.X to have an effective and efficient spare parts warehouse to ensure the availability of the components needed for production. With limited space and production capacity that continues to increase every year, PT. X decided to automate its warehouse by implementing AGV (Automated Guided Vehicle) for put away and order picking activities. The existence of a robot cuts the put away and picking time so as to reduce the accumulation of goods in the receiving area and also accelerate the rate of turnover of goods in the warehouse. Determination of the optimal amount of AGV is important to avoid resource waste, considering that investment for AGV is expensive and avoiding deadlock/traffic jam conditions that will occur if too many AGVs are operated in the warehouse. This research will be conducted using the discrete-event simulation method with Arena software to determine the optimal amount of AGV needed and the dispatching strategy. From the research, it was found that applying 10 AGV resulted in a utility value of 92% where the value was in line with the company's target and had been considered if there was an increase in demand of 20%, 25%, and 50%. An undedicated strategy was found effective and efficient because it results in a smaller waiting time and an even utility value for each AGV.

**Keywords:** Automated Guided Vehicle, put away, order picking, deadlock/traffic jam

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis haturkan kehadiran Allah SWT atas limpahan berkat, rahmat dan hidayah-Nya, sehingga penulis dapat menyelesaikan penelitian Tugas Akhir yang berjudul **“Pemodelan Simulasi Diskrit untuk Menentukan Kebijakan Jumlah dan Strategi Penugasan *Automated Guided Vehicle* pada Gudang *Spareparts* PT. X”**. Di samping itu, dalam pengerjaannya penulis mendapat dukungan dari beberapa pihak. Oleh karena itu, penulis ingin memberikan ucapan terima kasih kepada pihak-pihak tersebut, sebagai berikut:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Muhammad Naufal dan Ibu Munfarida yang senantiasa memberikan doa, dukungan dan motivasi yang tidak terhingga kepada penulis.
2. Prof. Iwan Vanany, ST., MT., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, dan motivasi dalam pengerjaan Tugas Akhir.
3. Bapak Hendro dan Bapak Haryanto yang telah memberikan izin penelitian dan juga memberikan bantuan dalam proses pengambilan data di PT. X.
4. Ibu Niniet Indah Arvitrida, Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T., dan Ibu Dewanti Anggrahini, S.T., M.T. yang telah memberikan banyak saran dalam seminar proposal hingga sidang akhir.
5. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.S.I.E., Ph.D selaku Kepala Departemen dan seluruh Bapak/Ibu Dosen serta Karyawan Departemen Teknik Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember yang telah memberikan ilmu, nasihat, dan bimbingan selama penulis menuntut ilmu di Departemen Teknik Industri ITS.
6. Revino, dan juga seluruh teman-teman asisten Laboratorium LSCM dan QMIPA yang telah memberikan bantuan dalam penyelesaian tugas akhir penulis baik secara ilmu, moral, dan tenaga.
7. Semua pihak yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan Tugas Akhir yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Terima kasih atas

semua doa, dukungan dan bantuan yang diberikan.

Penulis menyadari bahwa penulisan laporan Tugas Akhir ini tidak lepas dari kesalahan dan kekurangan. Oleh karena itu, penulis mohon kritik dan saran pembaca yang dapat membangun untuk memperbaiki penulisan selanjutnya. Semoga penelitian ini dapat memberikan manfaat.

Surabaya, Juli 2020

Amelia Isnih Bahria

## DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN .....	i
ABSTRAK .....	iii
ABSTRACT .....	v
KATA PENGANTAR .....	vii
DAFTAR ISI .....	ix
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
DAFTAR TABEL .....	xv
<b>BAB 1 PENDAHULUAN .....</b>	<b>1</b>
1.1. Latar Belakang .....	1
1.2. Rumusan Masalah .....	3
1.3. Tujuan Penelitian .....	4
1.4. Manfaat Penelitian .....	4
1.5. Ruang Lingkup .....	4
1.5.1. Batasan .....	4
1.5.2. Asumsi .....	5
<b>BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA .....</b>	<b>7</b>
2.1. Pergudangan .....	7
2.2. Material Handling .....	9
2.3. <i>Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS)</i> .....	12
2.4. Operasi dalam Pergudangan .....	13
2.5. Permodelan Sistem .....	15
2.6. Simulasi .....	17
2.6.1. Jenis Simulasi .....	17
2.6.2. Langkah-Langkah dalam Permodelan Simulasi .....	18
2.7. Penelitian Terdahulu .....	22
<b>BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN .....</b>	<b>23</b>
3.1. Tahap Awal dan Persiapan .....	25
3.1.1. Identifikasi Permasalahan .....	26
3.1.2. Studi Literatur dan Studi Lapangan .....	26

3.2.	Pengumpulan Data .....	27
3.2.1.	Elemen Sistem .....	28
3.2.2.	Variabel Sistem .....	29
3.2.3.	Data Simulasi.....	30
3.3.	Pengolahan Data dan <i>Fitting</i> Distribusi .....	30
3.4.	Simulasi.....	31
3.4.1.	Perumusan Hipotesis .....	31
3.4.2.	Perancangan Model Konseptual .....	31
3.4.3.	Simulasi Model.....	34
3.4.4.	Verifikasi dan Validasi .....	34
3.4.5.	Perancangan Skenario Perbaikan.....	35
3.4.6.	Analisa Sensitivitas .....	35
3.4.7.	Analisis dan Interpretasi .....	35
3.4.8.	Kesimpulan dan Rekomendasi .....	35
BAB 4	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA .....	37
4.1.	Pengumpulan Data .....	37
4.1.1.	Gambaran Umum Perusahaan .....	37
4.1.2.	Spesifikasi Rak dan AGV .....	38
4.1.3.	Jumlah Inbound (Box dari Supplier) .....	39
4.1.4.	Jumlah Outbound.....	39
4.1.5.	Data Jarak Antara Workstation dengan Rak .....	40
4.1.6.	Penghitungan Waktu Tempuh Antara Workstation dengan Rak	44
4.2.	Pembangunan Model Simulasi.....	47
4.2.1.	Fitting Distribution .....	47
4.2.2.	Pembangunan Model Simulasi Eksisting .....	52
4.2.3.	Verifikasi Model.....	61
4.2.4.	Validasi Model .....	63
BAB 5	SKENARIO PERBAIKAN DAN ANALISIS.....	69
5.1.	Analisa Kondisi Eksisting .....	69
5.2.	Perancangan Skenario Perbaikan .....	72
5.2.1.	Eksperimentasi Jumlah dan Selection Rules AGV.....	73

5.3.	Analisa Hasil Keseluruhan .....	77
5.4.	Keputusan Skenario Terbaik .....	81
5.5.	Analisa Sensitivitas.....	82
5.6.	Analisa Biaya AGV .....	84
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN .....	87
6.1.	Kesimpulan.....	87
6.2.	Saran .....	88
DAFTAR PUSTAKA	.....	89
LAMPIRAN	.....	91
BIOGRAFI PENULIS	.....	99

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian (Lanjutan).....	24
Gambar 3.2 Gambaran dan Batasan Sistem.....	27
Gambar 3.3 Model Konseptual Proses <i>Put Away</i> .....	32
Gambar 3.4 Model Konseptual Proses <i>Picking</i> .....	33
Gambar 4.1 Alur Aktivitas pada Gudang <i>Spareparts</i> .....	38
Gambar 4.2 <i>Layout</i> Gudang <i>Spareparts</i> .....	40
Gambar 4.3 Hasil <i>Fitting</i> Distribusi Jumlah <i>Inbound</i> .....	48
Gambar 4.4 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 1 .....	48
Gambar 4.5 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 2 .....	49
Gambar 4.6 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 3 .....	49
Gambar 4.7 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 4 .....	49
Gambar 4.8 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 5 .....	49
Gambar 4.9 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 6 .....	49
Gambar 4.10 Waktu Total Proses <i>Put Away</i> pada Rak Baris 7 .....	50
Gambar 4.11 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 1.....	50
Gambar 4.12 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 2.....	50
Gambar 4.13 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 3.....	51
Gambar 4.14 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 4.....	51
Gambar 4.15 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 5.....	51
Gambar 4.16 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 6.....	51
Gambar 4.17 Waktu Total Proses <i>Picking</i> pada Rak Baris 7.....	51
Gambar 4.18 Tampilan Awal Simulasi.....	52
Gambar 4.19 Model Simulasi Aktivitas Penerimaan.....	53
Gambar 4.20 Model Simulasi Aktivitas Penyimpanan .....	57
Gambar 4.21 Model Simulasi Aktivitas Pemenuhan Pesanan .....	60
Gambar 4.22 Verifikasi <i>Syntax Error</i> .....	61
Gambar 4.23 Verifikasi Jumlah Kedatangan Box dari Supplier dan Total Box masuk yang Gudang.....	62
Gambar 4.24 Verifikasi Status Rak dan Jumlah Kedatangan Demand.....	62

Gambar 4.25 Verifikasi Kapasitas Maksimum Rak .....	63
Gambar 4.26 Hasil <i>T-Test Two-Sample Assuming Equal</i> .....	68
Gambar 5.1 Ilustrasi Pemilihan AGV Kondisi Eksisting .....	71
Gambar 5.2 Grafik Persebaran Tingkat Utilitas AGV pada Kondisi Eksisting ....	72
Gambar 5.3 Rata-rata <i>Waiting Time</i> .....	78
Gambar 5.4 Rata-rata Utilitas AGV .....	79
Gambar 5.5 Rata-rata Jumlah Box Terlayani per Bulan .....	80
Gambar 5.6 Perbandingan Tingkat Utilitas <i>Strategi Dedicated</i> .....	81
Gambar 5.7 Grafik Persebaran Tingkat Utilitas AGV pada <i>Strategi Undedicated</i> .....	82
Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Performansi Strategi <i>Dedicated</i> dan <i>Undedicated</i> .....	83
Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Biaya.....	84

## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1 Perbedaan Kondisi Sebelum dan Sesudah Penerapan AGV .....	3
Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu .....	22
Tabel 4.1 Spesifikasi AGV .....	38
Tabel 4.2 Jumlah <i>Inbound</i> per Hari.....	39
Tabel 4.3 Jarak Antara <i>Workstation Put Away</i> dengan Rak .....	42
Tabel 4.4 Jarak antara <i>Workstation Picking</i> dengan Rak.....	43
Tabel 4.5 Waktu Tempuh dari <i>Workstation Put Away</i> ke Rak .....	45
Tabel 4.6 Waktu Tempuh dari <i>Workstation Picking</i> ke Rak .....	46
Tabel 4.7 Rekap Hasil <i>Fitting</i> Distribusi .....	52
Tabel 4.8 Hasil Rekapitulasi Replikasi .....	64
Tabel 4.9 Penghitungan Matematis.....	67
Tabel 4.10 Rekap Perbandingan Output ARENA dengan Penghitungan Matematis .....	67
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Simulasi Kondisi Eksisting.....	70
Tabel 5.2 Rekap Hasil Simulasi 10 AGV .....	73
Tabel 5.3 Rekap Hasil Simulasi 9 AGV .....	74
Tabel 5.4 Rekap Hasil Simulasi 8 AGV .....	75
Tabel 5.5 Rekap Hasil Simulasi 7 AGV .....	76
Tabel 5.6 Hasil Simulasi 8 AGV dengan <i>Strategi Dedicated</i> .....	81
Tabel 5.7 Analisa Sensitivitas .....	83

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

# BAB 1

## PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang, rumusan masalah, tujuan, manfaat, batasan dan asumsi, serta sistematika penulisan yang digunakan dalam penelitian.

### 1.1. Latar Belakang

Manajemen rantai pasok menjadi hal penting seiring meningkatnya permintaan konsumen atas variasi produk dan waktu respons yang lebih singkat. Pergudangan merupakan salah satu komponen penting dalam aktivitas logistik dan rantai pasok (supply chain) serta berperan dalam pengendalian persediaan untuk meningkatkan koordinasi *supply-demand* dan menurunkan biaya secara keseluruhan (Ballou, 2004). Gudang berperan sebagai tempat penyimpanan dan berada di pusat jaringan distribusi yang mana mempengaruhi waktu tunggu antara pemasok dan pelanggan (Rouwenhorst et al., 2000). Oleh karena itu kinerja gudang sangat penting dalam memengaruhi tingkat layanan, waktu respons, dan biaya keseluruhan dalam rantai pasok (Bartholdi dan Hackman, 2010). Sumber daya gudang dan cara pengelolaannya menjadi hal yang harus dipertimbangkan untuk meningkatkan efisiensi operasi gudang dimana salah satunya yaitu berkaitan dengan aliran material (Rouwenhorst et al., 2000). Aliran material yang efisien dan lancar dapat diterjemahkan untuk menghindari penanganan material ganda, mengidentifikasi dan menyelesaikan kemacetan aliran material (Bartholdi dan Hackman, 2010). Pengelolaan waktu dalam pemindahan dan perjalanan material dalam Gudang patut diperhatikan karena kegiatan ini menyumbang sekitar 55% dari waktu pengambilan pesanan atau *order picking time* (Bartholdi dan Hackman, 2010).

Bertujuan untuk mengurangi perjalanan dalam aktivitas *order picking* dan operasi gudang lainnya, otomatisasi banyak dilakukan oleh perusahaan pergudangan terutama dalam mengganti truk reguler dengan kendaraan terpandu otomatis (AGV). Diciptakan pada tahun 1953, teknologi AGV sejak saat itu berkembang dari tidak fleksibel dan mahal menjadi lebih fleksibel dan terjangkau.

AGV digunakan sebagai cara penanganan barang dan material serta menciptakan aliran informasi yang lebih transparan (Ullrich, 2015). Dengan menggunakan AGV, produktivitas operasi gudang meningkat dan biaya tenaga kerja berkurang (Ng et al., 2009). Biaya tenaga kerja menjadi biaya tunggal terbesar dalam operasi pergudangan yaitu sebesar 48-60% dari total biaya tergantung pada jumlah otomatisasi yang digunakan (Gwynne Richards, 2011). AGV umumnya ditemukan di pabrik produksi dan gudang yang memiliki jalur perakitan dan sel produksi. Hal ini karena kebutuhan fleksibilitas yang dapat diberikan oleh AGV (Schultze dan Wüllner, 2006).

PT. X merupakan perusahaan produksi motor yang mendominasi pasar motor di Indonesia. Guna mempertahankan segmentasi pasar yang luas, peningkatan jumlah produksi dan penambahan variasi model baru selalu dilakukan secara berkala. Oleh karena itu, untuk menunjang kelancaran produksi dan menjamin ketersediaan komponen penyusun motor yang diproduksi, PT. X memiliki gudang *spareparts* dengan ukuran 16,1 m x 30 m. Model motor baru selalu membutuhkan komponen penyusun yang berbeda dari model sebelumnya, sehingga mengharuskan perusahaan untuk menyimpan *part-part* baru tersebut dengan mengambil *space* di area gudang *spareparts*. Oleh karena itu, *space* gudang *spareparts* menjadi lebih sempit. Dengan keterbatasan *space* tersebut, dan juga kapasitas produksi yang terus meningkat tiap tahunnya, meningkatkan efisiensi operasi gudang adalah aspek kunci tercapainya rantai pasok yang ideal (Haldex.se, 2018). Ada dua alasan lain diimplementasikannya AGV yaitu bahwa jarak perjalanan antara lokasi penyimpanan *spareparts* dan proses perakitan motor relatif jauh, sehingga memindahkan *spareparts* di sepanjang aliran ini dapat memakan waktu. Alasan berikutnya yaitu karena aliran volume tinggi dan membutuhkan gerakan material yang teratur dan berulang (Hasic, 2018). PT. X baru saja membeli *material handling* berupa robot AGV guna mendukung otomasi gudang. Saat ini robot tersebut masih dalam masa *trial* dan *setup* untuk gudang *spareparts* saja. Robot AGV akan diimplementasikan pada proses *put away* dan *picking*. Adanya robot memotong waktu *put away* dan *picking* sehingga mengurangi penumpukan barang di area penerimaan dan juga mempercepat laju perputaran barang di gudang. Selain itu, AGV mampu mengurangi jumlah

*material handling*, dan mengurangi jumlah pekerja yang dibutuhkan. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan kondisi perbedaan sebelum dan sesudah penerapan AGV di gudang *spareparts* PT. X.

Tabel 1.1 Perbedaan Kondisi Sebelum dan Sesudah Penerapan AGV

<b>Faktor</b>	<b>Sebelum Implementasi Robot AGV</b>	<b>Sesudah Implementasi Robot AGV</b>
Luas Lahan	16,1 m x 30 m	16,1 m x 30 m
Tenaga Kerja	34	10
Waktu <i>Put Away</i>	45 menit	15 detik
Waktu <i>Picking</i>	45 menit	9 detik

Dalam implementasi AGV, dibutuhkan jumlah AGV yang optimal sehingga tidak terjadi pemborosan *resource* mengingat investasi untuk AGV mahal dan menghindari kondisi *deadlock/traffic jam* yang akan terjadi apabila terlalu banyak AGV yang dioperasikan dalam gudang. *Deadlock* atau *traffic jam* yaitu kondisi dimana dua buah AGV atau lebih saling bertemu pada *path* atau lintasan yang sama atau bertemu pada persimpangan lintasan sehingga AGV tersebut tidak dapat bergerak. Kondisi tersebut menyebabkan turunnya performansi gudang akibat aliran dalam gudang terhambat. Dalam penentuan jumlah AGV yang optimal pada gudang *spareparts* PT.X terdapat unsur ketidakpastian (*uncertainty*) dan variabilitas. Ketidakpastian dan variabilitas ini meliputi waktu antar kedatangan *spareparts* dari *supplier*, lokasi penyimpanan *spareparts* dalam gudang, jarak tempuh (*travelling time*) menuju tiap rak, serta jumlah *inbound* yang berbeda-beda setiap harinya. Selain itu, terdapat unsur ketergantungan (*interdependencies*) yaitu jumlah *demand* yang mampu dipenuhi tergantung pada kemampuan dan kelancaran proses *put away* dan *picking*. Pada penelitian ini, akan digunakan metode yang mampu mengakomodasi unsur ketidakpastian dan ketergantungan tersebut yaitu simulasi *discrete event* guna menentukan jumlah optimal AGV yang dibutuhkan dan strategi penugasan AGV.

## 1.2. Rumusan Masalah

Permasalahan yang akan dibahas dalam tugas akhir ini akan dibagi menjadi dua yaitu menentukan jumlah optimal AGV yang dibutuhkan gudang

*spareparts* serta menentukan jenis strategi penugasan AGV (*dispatching strategy*) berupa *dedicated* atau *undedicated*.

### **1.3. Tujuan Penelitian**

Tujuan dari penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Mendapatkan model simulasi yang *robust* untuk seluruh aktivitas pada gudang *spareparts* PT. X.
2. Mengetahui jumlah AGV yang dibutuhkan gudang *spareparts* PT. X untuk aktivitas *put away* dan *picking*.
3. Mengetahui jenis strategi penugasan AGV (*AGV dispatching strategy*).

### **1.4. Manfaat Penelitian**

Manfaat yang didapatkan dari penelitian tugas akhir ini adalah.

1. Pihak perusahaan mengetahui jumlah optimal AGV yang dibutuhkan untuk aktivitas *put away* dan *picking* pada gudang *spareparts* PT.X.
2. Pihak perusahaan mengetahui jenis strategi penugasan AGV yang tepat untuk diterapkan.

### **1.5. Ruang Lingkup**

Ruang lingkup pada penelitian ini merupakan batasan dan asumsi yang digunakan dalam penelitian tugas akhir. Berikut adalah batasan dan asumsi yang digunakan.

#### *1.5.1. Batasan*

Batasan yang digunakan pada penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut.

1. Objek penelitian dilakukan di *warehouse spareparts* PT. X.
2. Fokus penelitian yaitu pada aktivitas *put away* dan *picking*.
3. Data *inbound* dan *demand* yang digunakan merupakan data bulan Januari – Maret 2020.
4. Tidak mempertimbangkan kinerja AGV yg berkurang dari waktu ke waktu (reliabilitas menurun).
5. Tidak mempertimbangkan jam istirahat pekerja.

### 1.5.2. *Asumsi*

Asumsi penelitian tugas akhir yang digunakan adalah sebagai berikut.

1. Robot selalu *available* dan tidak terjadi *machine shutdown*.
2. Aturan pengambilan barang FIFO.
3. Data yang digunakan untuk penelitian tidak mengalami perubahan selama periode penelitian.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan tentang teori dan metode dalam penelitian yang berasal dari referensi yang diperoleh yang akan digunakan sebagai landasan pada penelitian tugas akhir ini.

#### **2.1. Pergudangan**

*Warehouse* atau gudang merupakan bagian penunjang kesuksesan dari aktivitas logistik dan rantai pasok (*supply chain*) bagi suatu perusahaan. Sebuah perusahaan umumnya menggunakan gudang sebagai fasilitas penyimpanan untuk beberapa alasan dasar seperti, mengurangi biaya transportasi dan produksi, mengkoordinasikan *supply* dan *demand*, membantu proses produksi, dan pertimbangan *marketing*. Sistem penyimpanan yang terdapat pada gudang dapat dibagi menjadi dua fungsi penting yaitu (Ballou, 2004) :

1. Fungsi Penyimpanan.

Gudang di desain untuk beberapa fungsi primer diantaranya *holding*, *consolidation*, *break-bulk*, dan *mixing*.

2. Fungsi *Material Handling*.

*Material handling* pada suatu sistem penyimpanan mereduksi beberapa aktivitas yaitu, *loading* and *unloading*, pemindahan barang ke dan dari tempat penyimpanan, serta *order filling*.

Selain kedua fungsi diatas, gudang juga memiliki fungsi lain diantaranya (Kulweic, 1980).

1. Menyediakan penyimpanan barang sementara.

Untuk mencapai skala ekonomi pada produksi, transportasi, dan penanganan barang, dibutuhkan penyimpanan barang pada gudang dan mendistribusikannya ketika terjadi permintaan.

2. Tempat menyimpan berbagai pesanan pelanggan.

Beberapa perusahaan menjadikan gudang sebagai tempat menerima pesanan dalam jumlah besar dari berbagai sumber.

3. Menjadi fasilitas *customer service*.

Karena gudang mengirimkan barang ke pelanggan, yang mana kontak langsung dengan barang terjadi, gudang juga dapat melayani pelanggan sebagai fasilitas *customer service* dan menangani penggantian barang yang rusak atau salah, mengadakan *survey market*, dan menyediakan *after-sales service*.

4. Melindungi barang.

Umumnya gudang secara khusus dilengkapi dengan sistem keamanan dan keselamatan yang canggih. Hal ini berguna untuk melindungi barang yang disimpan dari pencurian, kebakaran, banjir, dan masalah cuaca lainnya.

5. Memisahkan material yang berbahaya dan terkontaminasi.

Kode keamanan tidak mengizinkan penyimpanan material berbahaya dekat dengan pabrik. Karena tidak ada proses manufaktur yang dilakukan di gudang, sehingga menjadi tempat yang ideal untuk memisahkan dan menyimpan material yang berbahaya dan terkontaminasi.

6. Melakukan aktivitas nilai tambah (*value added*).

Banyak gudang yang secara rutin melakukan beberapa aktivitas nilai tambah seperti pengemasan barang, mempersiapkan pesanan sesuai persyaratan yang diminta pelanggan, melakukan inspeksi terhadap material atau produk, pengetesan produk untuk memastikan produk tersebut berfungsi dan sesuai dengan hukum lokal yang berlaku, hingga proses perakitan.

7. Persediaan.

Karena sulit untuk melakukan peramalan permintaan produk secara akurat, sehingga pada banyak aktivitas bisnis penting untuk memiliki persediaan dan stok pengaman untuk mengantisipasi ketika terjadi permintaan yang besar.

Berdasarkan kepemilikannya, gudang dibagi menjadi 3 jenis kepemilikan yaitu, *company-owned warehouse*, *public warehouse*, dan *leased warehouse space* (Ghiani, Laporte, & Musmanno, 2004). *Company-owned warehouse* terdiri dari berbagai macam tipe yang pada umumnya disesuaikan

dengan kebutuhan dari perusahaan. Sedangkan *public warehouse* lebih terstandar pada konfigurasi nya dan menggunakan peralatan multifungsi. *Public warehouse* dapat diklasifikasikan menjadi (Ballou, 2004):

1. Gudang komoditi (*commodity warehouse*).  
Gudang tersebut hanya menyimpan barang-barang komoditas tertentu seperti tembakau, kapas, gandum, dan produk lain yang mudah rusak.
2. Gudang penyimpanan massal (*bulk storage warehouse*).  
Pada beberapa gudang menawarkan penyimpanan produk dalam jumlah besar seperti, cairan kimia, minyak, sirup, dan lain-lain.
3. Gudang temperatur terkontrol (*temerature-controlled warehouse*).  
Gudang tersebut mengintril penyimpanan pada kondisi lingkungan tertentu. Produk-produk yang disimpan seperti buah-buahan, sayuran, makanan beku, obat-obatan.
4. Gudang barang peralatan rumah tangga (*household goods wrehouse*).  
Gudang ini menangani penyimpanan dan pemindahan barang-barang furnitur rumah tangga. Pada umumnya pengguna gudang adalah perusahaan-perusahaan furnitur.
5. Gudang penyimpanan barang umum (*general menchandise warehouse*).  
Gudang ini merupakan gudang tipe paling umum dan menyimpan berbagai macam barang tanpa spesifikasi penyimpanan tertentu.
6. Gudang mini (*miniwarehouse*).  
Gudang kecil ini berukuran 20 hingga 200 kaki persegi dan umumnya berkelompok pada suatu klaster.

## **2.2. Material Handling**

*Material handling* didefinisikan sebagai pergerakan material ke, melalui, dan dari proses produktif; di pergudangan dan tempat penyimpanan; dan di area *receiving* dan *shipping* (Frazelle, 1992). Tompkins et al. (2003) mendefinisikan *material handling* sebagai “*activity that uses the right method to provide the right amount of the right material at the right place, at the right time, in the right sequence, in the right position and at the right cost*”. Sebuah sistem material handling pada proses manufaktur memiliki fungsi utama untuk memindahkan

material/part antar berbagai tahapan dari proses (Heragu, 2008). Demikian juga yang terjadi pada sistem penyimpanan/pegudangan, yaitu memindahkan material atau barang antar area penerimaan, penyimpanan, atau pengiriman. Menurut Waters (2003) terdapat tiga jenis gudang berdasarkan sistem *material handling*-nya yaitu.

1. *Manual Warehouse*

Jenis gudang ini operasi *material handling* nya secara keseluruhan dikendalikan oleh operator secara manual. Alat bantu untuk memindahkan barang tetap digunakan, akan tetapi operator tetap memegang kendali atas seluruh proses penggunaan alat tersebut. Pada umumnya jenis gudang ini menyimpan barang-barang yang berdimensi kecil dan ringan untuk dibawa oleh operator. Selain itu rak penyimpanan tidak terlalu tinggi agar mudah dicapai oleh operator serta jarak antar rak berdekatan untuk memudahkan pengambilan manual oleh operator.

2. *Mechanized Warehouse*

Gudang ini secara umum jenisnya sama dengan gudang manual, akan tetapi proses penempatan dan pengambilan selalu menggunakan alat bantu mesin.

3. *Automated Warehouse*

Gudang jenis ini memiliki biaya operasi yang lebih rendah diantara kedua jenis diatas karena seluruh proses nya dilakukan secara otomatis oleh mesin. Tetapi biaya investasi yang dikeluarkan cukup tinggi karena membutuhkan teknologi yang lebih canggih.

Menurut Heragu (2008) terdapat tujuh tipe dasar dari *Material Handling Devices* (MHD) yang diklasifikasikan sebagai berikut:

1. *Conveyor*. *Conveyor* merupakan tipe MHD yang letaknya tetap/tidak berubah. Artinya *conveyor* digunakan hanya ketika *part* atau material bevolume besar akan dipindahkan. Selain itu *conveyor* juga lebih baik digunakan ketika material yang akan dipindahkan memiliki bentuk dan ukuran yang sama.

2. Palletizer. Palletizer adalah peralatan otomatis berkecepatan tinggi yang digunakan untuk menata muatan dalam palet-palet yang berasal dari lini perakitan atau produksi.
3. *Pallet Lifting Devices*. Alat ini digunakan untuk *loading* atau *unloading* palet dari alat pengangkut palet atau menaikkan dan menurunkan kotak pada ketinggian yang diinginkan.
4. *Truck*. Alat ini merupakan alat pengangkut yang banyak digunakan pada fasilitas manufaktur dan pergudangan. Keuntungan dari jenis MHD ini adalah tidak diperlukan jalur perpindahan yang tetap (*fixed path*). Selain itu alat tersebut juga berguna untuk memindahkan muatan dengan berbagai ukuran, berat, dan bentuk. Macam-macam jenis alat ini terdapat lebih dari 20 tipe, beberapa diantaranya adalah :
  - *Hand truck*
  - *Forklift truck*
  - *Pallet truck*
  - *Platform truck*
  - *Counterbalanced truck*
  - *Tractor-trailer truck*
  - *AGVs 5*
5. Robot. Robot merupakan alat terprogram yang menyerupai lengan manusia. Alat ini mampu memindahkan barang seperti lengan manusia dan mampu menunjukkan fungsi seperti mengambil dan menaruh maupun *loading* dan *unloading*. Beberapa tipe robot diantaranya adalah *Point-to-point robots*, *Contouring or continuous-path robots*, *Walkthrough or teach robots*, *Leadthrough or teach pendant robots*, *Hydraulic robots*, *Servo-controlled robots*.
6. *Automated Guided Vehicle (AGV)*. AGV merupakan alat *material handling* yang dapat bergerak dari suatu titik ke titik lainnya secara otomatis. Untuk menghitung jumlah AGV yang dibutuhkan dalam suatu sistem, total waktu yang dimuat, total waktu perjalanan, dan total waktu menunggu AGV selama periode waktu sibuk, dibagi dengan total waktu AGV tersedia selama periode itu (Mantel dan Landeweerd, 1995).

Variabel-variabel yang digunakan dalam pembuatan model guna menentukan jumlah AGV yang optimal adalah (Koo et al., 2005):

1. Jumlah lokasi penjemputan / penurunan
2. Jumlah kendaraan
3. Pemanfaatan kendaraan
4. Tingkat permintaan dan pengiriman dari lokasi penjemputan ke lokasi penurunan
5. Waktu perjalanan dari lokasi penjemputan ke lokasi pengantaran
6. Jumlah waktu *loading* dan *unloading*

Dalam model mereka, Koo et al. (2005) mendefinisikan empat aturan pemilihan yang berbeda yaitu pemilihan kendaraan secara acak, pemilihan kendaraan *idle* atau pemilihan kendaraan yang paling sedikit digunakan, pemilihan kendaraan terdekat dan pemilihan kendaraan terjauh.

*Hoists*, *Cranes*, dan *Jibs*. *Hoists* merupakan alat yang memindahkan material dengan arah vertikal. Sedangkan *cranes* merupakan alat yang memindahkan material dengan arah horizontal. *Jibs* merupakan alat sejenis *crane* namun mampu berputar ke segala arah yang mana diameternya merupakan panjang dari lengannya.

### **2.3. Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS)**

Robot telah lama digunakan dalam operasi pergudangan untuk mentransfer palet di dalam gudang namun belum banyak yang menggunakannya dalam operasi pengambilan (*picking*). Robot juga digunakan untuk membantu dalam proses pengemasan item ke dalam kotak dan menumpuk kotak-kotak ke palet dengan cara yang efisien. Saat ini penggunaan robot dalam proses *sortir* juga meningkat yang secara signifikan mampu mengurangi biaya untuk tenaga kerja dan meningkatkan keamanan. Pendekatan RMFS membantu mengurangi perjalanan di dalam gudang, yang menyumbang sekitar 50% dari waktu *picking* dalam operasi gudang manual menurut JohnWiley & Sons, Hoboken, NJ dan Chichester (2010). Dibandingkan dengan jenis sistem pergudangan lainnya, keuntungan terbesar penggunaan RMFS yaitu fleksibilitasnya karena hampir tidak memiliki instalasi tetap, skalabilitas karena mengakses *inventory* secara paralel, dan keandalan

karena hanya menggunakan komponen-komponen homogen daripada sistem rak dan conveyor seperti di gudang tradisional. Komponen utama RMFS adalah:

1. *Movable shelves*, disebut pods yaitu rak di mana persediaan disimpan.
2. *Storage Area*, merupakan lokasi penyimpanan sekaligus tempat pods disimpan.
3. *Workstation*, tempat dimana item pesanan diambil dari pods (*pick station*) atau item yang akan disimpan ke pods (*replenishment station*).
4. Robot, yang bergerak di bawah pods dan membawanya ke *workstation*.

Pods diangkut oleh robot dari area penyimpanan menuju *workstation* (terdiri dari sejumlah unit penyimpanan persediaan atau SKU), robot membawa pods terpilih ke stasiun pengisian ulang (*replenishment station*) untuk menyimpan unit di pod. Demikian pula setelah menerima pesanan, robot membawa pod yang dipilih ke stasiun *picking (replenishment station)*, di mana item-item pesanan akan diambil. Untuk memenuhi pesanan, beberapa pods mungkin diperlukan, karena pesanan mungkin memiliki beberapa variasi item. Walaupun pods biasanya berisi beberapa SKU dengan banyak SKU tersimpan di dalam sistem, sangat kecil kemungkinan *order pick* dapat diselesaikan hanya dengan satu pod. Kemudian, setelah pod telah diproses di satu atau lebih stasiun, selanjutnya akan dibawa kembali ke lokasi penyimpanan (*storage area*).

#### **2.4. Operasi dalam Pergudangan**

Selain sebagai tempat penyimpanan, pada umumnya gudang juga melakukan fungsi reorganisasi dan pengemasan ulang barang/produk. Barang yang datang ke gudang biasanya berskala besar dan kemudian akan meninggalkan gudang dalam skala yang lebih kecil. Artinya terdapat aktivitas tambahan sebelum barang tersebut dikirimkan, seperti pengemasan. Meskipun tidak semua gudang melakukan aktivitas yang demikian, namun pada umumnya aliran barang yang terjadi sama. Reorganisasi barang/produk pada gudang melalui beberapa proses fisik seperti (Bartholdi & Hackman, 2014):

## 1. Proses *Inbound*

### - *Receiving*

*Receiving* diawali dengan adanya pemberitahuan kedatangan barang. Hal ini membuat gudang dapat menjadwalkan penerimaan dan *unloading* untuk secara efisien dikoordinasikan dengan aktivitas lain dalam gudang. Setelah barang tiba dan *unloading* selesai dilakukan, kemudian barang tersebut akan masuk ke proses *put away*. Umumnya, *receiving* menyumbang sekitar 10% biaya operasi pada gudang sejenis *distribution center*. Namun dengan pengaplikasian sistem RFID dapat berdampak pada pengurangan biaya tersebut.

### - *Put-Away*

Sebelum dilakukan *put-away* pada barang/produk, terlebih dahulu ditentukan lokasi yang cocok untuk penyimpanan. Hal tersebut penting karena akan mempengaruhi kecepatan dan biaya yang dikeluarkan ketika dilakukan *order-picking*. Ketika *put-away* dilakukan, lokasi penyimpanan juga harus direkam untuk memastikan dimana barang tersebut ditempatkan. Informasi ini akan digunakan untuk menentukan daftar pengambilan barang (*picklist*) yang efisien untuk membantu kelancaran proses *order-picking*. *Put-away* biasanya menyumbang sebanyak 15% biaya operasi gudang.

### - *Order-picking*

Pada penerimaan pesanan, gudang harus melakukan pengecekan terlebih dahulu untuk memastikan persediaan tersedia untuk pengiriman. Selanjutnya gudang harus mengeluarkan daftar pengambilan barang sebagai petunjuk pada *order-picking*. Sebelum pengiriman dilakukan, dokumen pengiriman yang diperlukan harus dikeluarkan serta dilakukan penjadwalan *order-picking* dan pengiriman. *Order-picking* membutuhkan 55% dari total biaya operasi gudang.

- *Checking & Packing*  
Packing bisa jadi tidak diterapkan pada jenis-jenis gudang tertentu karena barang/produk yang disimpan sudah berada dalam keadaan siap kirim. Namun pada beberapa gudang *packing* dapat menjadi aktivitas yang membutuhkan tenaga lebih karena tiap pesanan pelanggan harus ditangani (pengepakan/pengemasan). Karena tiap pesanan harus ditangani, sehingga hal ini merupakan waktu yang tepat pula untuk melakukan pengecekan apakah pesanan tersebut lengkap dan tepat. Ketepatan pesanan merupakan kunci untuk mengukur pelayanan pada pelanggan.
- *Shipping*. *Shipping* umumnya menangani jumlah unit yang lebih besar bila dibanding *picking*. Hal ini dikarenakan dengan adanya *packing* maka telah mengkonsolidasikan tiap item menjadi palet-palet atau kotak-kotak.

## 2.5. Permodelan Sistem

Pemahaman mengenai situasi masalah dan para pemangku kepentingannya sangat penting dalam menetapkan batas-batas dalam permodelan sistem. Menetapkan batas-batas akan menetapkan ruang lingkup, arah, dan fokus analisis. Permodelan sistem adalah representasi dari semua bagian penting dalam sistem (Daellenbach & McNickle, 2005). Dalam permodelan sistem, aka nada banyak asumsi dan penyederhanaan masalah. Untuk menghasilkan suatu model yang valid, menentukan proses-proses apa yang terjadi, Batasan sistem, input, dan *output* harus jelas. Menurut Daellenbach & McNickle (2005) menentukan model sistem meliputi.

- Proses transformasi atau aktivitas sistem.
- Batasan sistem. Terdiri dari *narrow system* (di dalam sistem) dan *wider system* (lingkungan sistem).
- Komponen dan subsistem dari *narrow system*.
- *Input* sistem
- *Output* sistem

Komponen sistem mencakup entitas, aktivitas, sumber daya, dan kontrol. Elemen-elemen ini masing-masing mendefinisikan siapa, apa, kapan, dan bagaimana pemrosesan entitas. Penjelasan komponen sistem akan dielaborasi (Harrell, et al., 2004):

1. Entitas

Entitas adalah item yang diamati dan diproses melalui sistem. Entitas yang berbeda mungkin memiliki karakteristik unik untuk mendefinisikannya, misalnya kualitas, prioritas, atau kondisi.

2. Aktivitas

Aktivitas adalah tugas yang dilakukan dalam sistem untuk memproses entitas. Kegiatan biasanya membutuhkan waktu dan sering menggunakan sumber daya.

3. *Resources* (Sumber daya)

Sumber daya merupakan bagaimana kegiatan dilakukan. Sumber daya memiliki ciri seperti memiliki kapasitas, kecepatan, dan waktu siklus. Sifat-sifat dari sumber daya adalah *dedicated* atau *shared*, *permanent* atau *consumable*, dan *mobile* atau *stationary*.

4. Kontrol

Kontrol mengatur bagaimana, kapan, dan di mana kegiatan dilakukan. Singkatnya, kontrol merupakan pengontrol sistem. Kontrol memberikan informasi dan logika keputusan mengenai bagaimana sistem seharusnya beroperasi.

Interaksi antar elemen-elemen sistem menyebabkan kompleksitas dalam sistem. Kompleksitas sistem tergantung pada interdependensi dan faktor variabilitas. Interdependensi atau saling ketergantungan menyebabkan perilaku suatu elemen mempengaruhi elemen lainnya. Sedangkan variabilitas adalah fitur sistem yang menghasilkan ketidakpastian. Variabilitas membuat efek saling ketergantungan yang tidak dapat diprediksi. Oleh karena itu, sistem akan menjadi lebih kompleks dan sulit diprediksi.

## 2.6. Simulasi

Simulasi adalah metode pemodelan sistem untuk meniru operasi dan masalah pada sistem nyata, yang terjadi seiring waktu, menggunakan perangkat lunak komputer. Simulasi memiliki kemampuan unik untuk menangkap perilaku dinamis sistem, oleh karena itu hasil simulasi dapat digunakan untuk mengevaluasi dan meningkatkan kinerja sistem. Selain itu, simulasi mengatur pendekatan untuk memvalidasi apakah keputusan yang diambil sudah merupakan keputusan terbaik atau tidak. Berikut merupakan karakteristik simulasi (Harrell, et al., 2004):

1. Adanya ketergantungan dalam elemen-elemen sistem (interdependensi).
2. Adanya variabilitas.
3. Cukup fleksibel untuk memodelkan kompleksitas sistem.
4. Menunjukkan perilaku dari waktu ke waktu.
5. Lebih murah, lebih hemat waktu, dan lebih sedikit gangguan daripada bereksperimen dengan sistem yang sebenarnya.
6. Memberikan informasi tentang pengukuran multi-kinerja.

Perlu dicatat bahwa tidak semua masalah sistem harus diselesaikan menggunakan simulasi. Menurut Harrell, et al (2004), penggunaan simulasi cocok jika memenuhi kriteria berikut:

1. Keputusan harus dibuat secara logis dan mempertimbangkan aspek kuantitatif.
2. Proses didefinisikan dengan baik dan repetitif.
3. Aktivitas yang terjadi dalam sistem saling ketergantungan dan ada variabilitas dalam elemen sistem.
4. Biaya diterapkannya suatu keputusan lebih tinggi daripada biaya melakukan simulasi.
5. Biaya percobaan langsung lebih tinggi daripada biaya melakukan simulasi.

### 2.6.1. Jenis Simulasi

Terdapat berbagai teknik simulasi untuk merangsang perilaku sistem secara umum, yaitu:

1. Statis atau dinamis

Simulasi statis atau dinamis dibedakan berdasarkan waktu. Simulasi statis tidak berdasarkan waktu. Kadang-kadang melibatkan *input* acak untuk menghasilkan *output* statistik atau disebut simulasi Monte Carlo. Sementara simulasi dinamis didasarkan pada perjalanan waktu. Saat waktu berubah, keadaan berubah dan akan diperbarui juga.

2. Stokastik

Jika dalam simulasi terdapat lebih dari satu variabel *input* acak, itu dapat diklasifikasikan menjadi simulasi stokastik atau probabilistik. Simulasi stokastik menghasilkan *output* acak dan oleh karena itu hanya memberikan titik data tentang bagaimana sistem mungkin berperilaku.

3. Diskrit atau Kontinu

Simulasi diskrit adalah simulasi di mana perubahan kondisi dapat dilihat pada titik waktu tertentu dan dipicu oleh peristiwa. Ini berarti perubahan status dalam model terjadi ketika beberapa peristiwa terjadi. Oleh karena itu, keadaan model adalah keadaan kolektif semua elemen dalam model pada suatu titik waktu. Sementara dalam simulasi kontinu, variabel keadaan berubah terus menerus sesuai dengan waktu. Misalnya suatu penelitian dianggap sebagai tipe simulasi dinamis, diskrit, dan stokastik. Dianggap dinamis karena mencakup peralihan waktu dan perubahan keadaan terjadi seiring waktu. Diskrit karena variabel status diperbarui karena dipicu oleh peristiwa. Terakhir, ini stokastik karena *input* acak dan beberapa replikasi simulasi dijalankan untuk mendapatkan perkiraan kinerja yang akurat, karena setiap proses bervariasi secara statistik.

### 2.6.2. Langkah-Langkah dalam Permodelan Simulasi

Dalam membangun model simulasi ada langkah-langkah utama yang umum yang akan dijelaskan di bawah ini (Altiok & Melamed, 2007)

1. Analisis Masalah dan Pengumpulan Informasi

Langkah awal dalam membangun model adalah menganalisis masalah yang solusinya adalah tujuan model. Untuk menganalisis masalah, peneliti harus mengumpulkan informasi struktural.

Mengumpulkan aktivitas informasi termasuk mengidentifikasi parameter input, pengukuran kinerja, batas, hubungan antara parameter dan variabel, aturan yang mengendalikan operasi sistem, dan aktivitas lainnya. Informasi yang memadai ini akan dipetakan. Dengan demikian, masalahnya dapat dianalisis. Selain itu, peneliti juga perlu menentukan hipotesis yang akan dinilai setelah menjalankan model simulasi.

2. Mengumpulkan data

Pengumpulan data diperlukan untuk memperkirakan parameter input untuk model. Data yang terkumpul harus mewakili peristiwa pemicu dari model, memiliki waktu tertentu, dan membedakan variabel input dari variabel respons. Peneliti dapat merumuskan asumsi pada distribusi variabel acak. Pengumpulan data juga diperlukan untuk memvalidasi model, di mana data yang dikumpulkan pada statistik *output* sistem dibandingkan dengan prediksi model.

3. Membangun model

Setelah masalah diamati dan data yang diperlukan telah dikumpulkan, peneliti dapat melanjutkan untuk membangun model simulasi menggunakan perangkat lunak komputer. Untuk mempermudah proses pembuatan model, peneliti dapat membuat model konseptual terlebih dahulu sebelum menerjemahkannya ke perangkat lunak komputer.

Prosedur untuk menghitung jumlah replikasi ( $n$ ) adalah :

- a. Menjalankan simulasi dengan jumlah replikasi awal ( $n$ )
- b. Mengumpulkan *output* dari simulasi dan menentukan level *half width* ( $hw$ ) dengan menilai *output* ARENA menggunakan persamaan berikut :

$$hw = \left[ \frac{(t_{n-1, \alpha/2}) s}{\sqrt{n}} \right]^2 \tag{2.6.1}$$

- c. Mengevaluasi nilai  $hw$ , apabila nilai  $hw$  dikategorikan cukup dan dapat diterima, maka harus menghitung jumlah replikasi baru atau nilai  $n'$  dengan formula berikut:

$$n' = \left[ \frac{z_{\alpha/2} \cdot s}{hw} \right]^2 \tag{2.6.2}$$

Namun apabila penulis mengharapkan nilai  $hw$  yang lebih kecil, maka hitung jumlah replikasi yang dibutuhkan dengan formulasi berikut :

$$n' = \left[ \frac{z_{\alpha/2} \cdot s}{hw'} \right]^2 \quad (2.6.3)$$

Nilai *half width* atau eror dapat juga ditentukan berdasarkan proporsinya terhadap rata-rata. Pendekatan ini dapat dicapai bahkan sebelum mengetahui nilai rata-rata sebelumnya. Misalnya, hasil simulasi yang diinginkan dengan nilai eror e% pada rata-rata variabel terukur, jadi nilai dari n' dapat diperoleh menggunakan formulasi berikut ini:

$$n' = \left[ \frac{z_{\alpha/2} \cdot s}{\left( \frac{e\%}{1+e\%} \right) \bar{x}} \right]^2 \quad (2.6.4)$$

Penjelasan simbol:

hw = *half width*

hw' = *desired/relative half width*

n = *replication number*

n' = *required replication number*

$\alpha$  = *significance level*

s = *sample standard deviation*

$\bar{x}$  = *population average*

e = *absolute error*

- d. Apabila parameter yang diamati lebih dari satu, maka n' harus dihitung berdasarkan tiap hw yang diinginkan dari setiap parameter-parameter tersebut. Jumlah replikasi dipilih dari nilai n tertinggi sehingga semua nilai hw dari semua parameter dapat tercapai.

#### 4. Model validasi

Kegiatan validasi model berfungsi untuk memastikan model apakah sesuai dengan data empiris atau pengukuran sistem yang dimodelkan dalam kehidupan nyata serta apakah model yang divalidasi telah cocok dengan parameter-parameter penting dalam sistem yang diamati. Proses modifikasi atau *improvement* dalam sistem harus dilakukan jika ada perbedaan yang signifikan antara model simulasi yang diusulkan dan sistem nyata

#### 5. Merancang dan melakukan eksperimen simulasi

Setelah model telah divalidasi, peneliti dapat melanjutkan untuk merancang percobaan guna memperkirakan kinerja model. Jumlah percobaan yang dilakukan bervariasi tergantung pada hipotesis yang dihasilkan. Untuk mencapai kinerja skenario yang memadai, setiap skenario dijalankan beberapa kali dan menggunakan set angka acak yang berbeda (replikasi). Kemudian hasilnya dirata-rata untuk mengurangi variabilitasnya.

#### 6. Menganalisa output

Analisis secara statistik dan logis dilakukan guna memilih desain alternatif mana yang memiliki pengukuran kinerja paling tinggi dan harus dipilih. Untuk membandingkan lebih dari dua skenario alternatif dengan ukuran kinerja tertentu, salah satu metode yang populer adalah menggunakan Analysis of Variance (ANOVA). ANOVA dapat digunakan untuk membandingkan beberapa sistem yang dirancang tanpa khawatir tingkat kepercayaan secara keseluruhan menurun karena jumlah skenario meningkat. ANOVA banyak digunakan untuk menilai dampak dari suatu faktor terhadap variabel respons. Metode ANOVA mengasumsikan setiap alternatif populasi terdistribusi secara normal dengan varian yang sama untuk semua populasi. Kemudian untuk mengetahui pasangan populasi mana yang memiliki populasi berbeda, prosedur Tukey Kramer diterapkan.

#### 7. Memberikan saran Akhir

Peneliti kemudian dapat menggunakan analisis yang telah dibuat untuk merumuskan rekomendasi akhir dari masalah di sistem.

## 2.7. Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan penelitian-penelitian yang telah dilakukan sebelumnya yang berhubungan dengan penelitian ini.

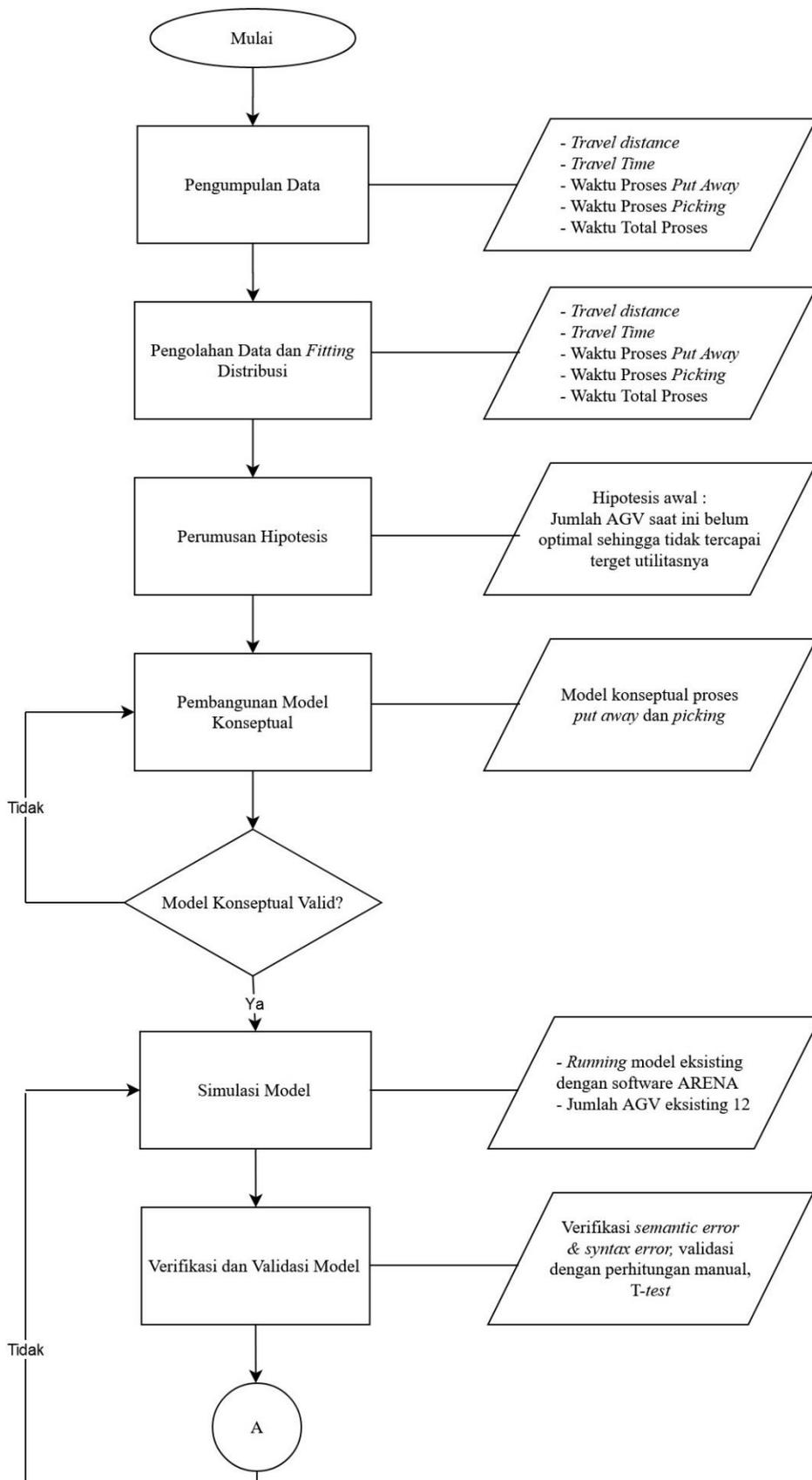
**Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu**

<b>No</b>	<b>Penelitian</b>	<b>Metode</b>	<b>Tujuan</b>
1.	<i>Simulation Study of AGV Dispatching in Teluk Lamong Container Terminal</i>	Simulasi	Penentuan jumlah AGV yang dibutuhkan
2.	<i>Estimation of Buffer Warehouse Capacity Requirement in a Fertilizer Company: A Simulation Study</i>	Simulasi	Penentuan Kebutuhan Kapasitas Gudang Penyangga di Perusahaan Pupuk

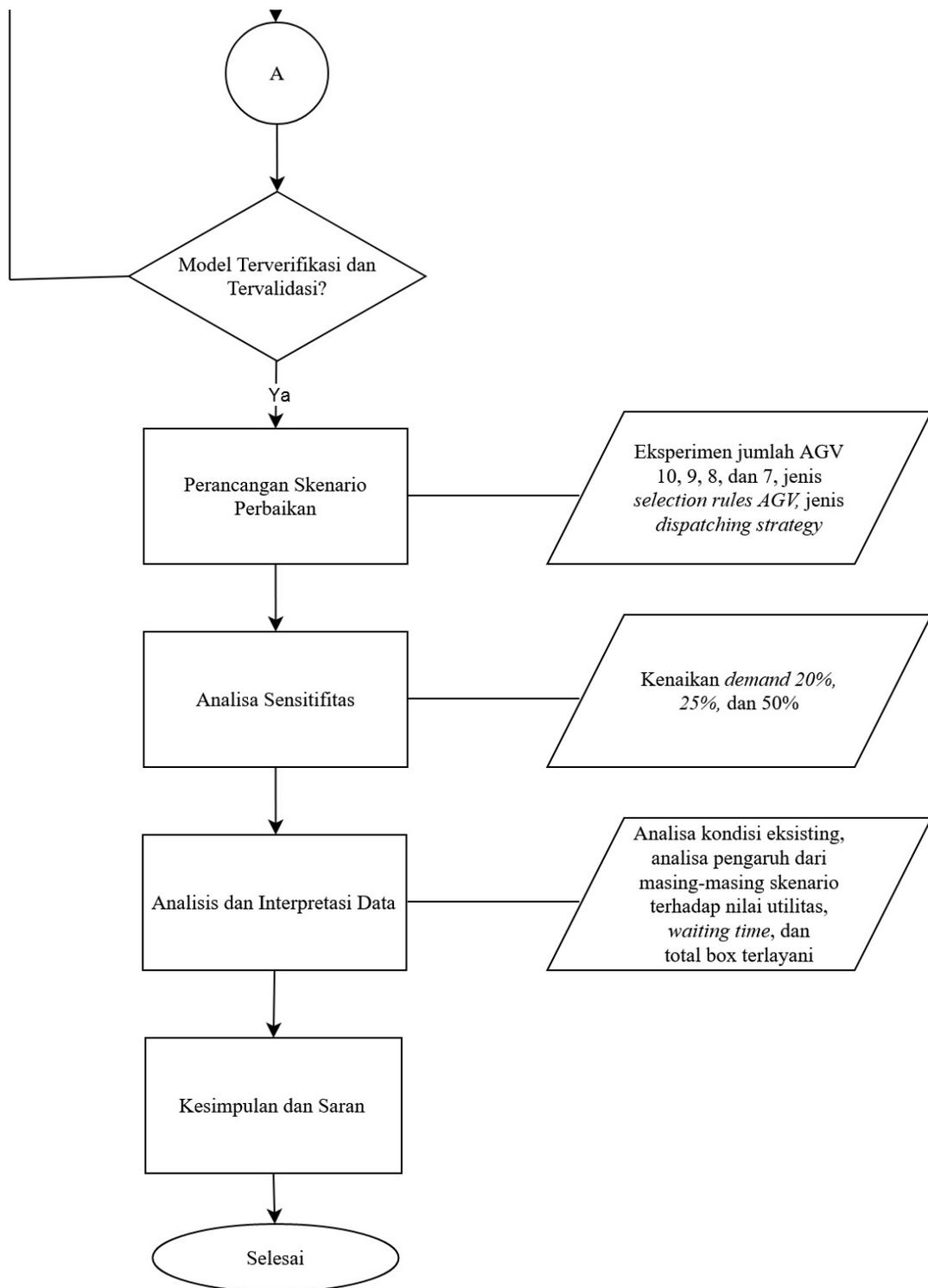
## **BAB 3**

### **METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan-tahapan yang digunakan dalam penelitian. Tahapan-tahapan tersebut disesuaikan dengan sistematika penelitian, sehingga proses penelitian yang dilakukan jelas, teratur, terarah dan berdasarkan kaidah-kaidah yang berlaku. Berikut merupakan *flowchart* dari proses pengerjaan penelitian.



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian (Lanjutan)

### 3.1. Tahap Awal dan Persiapan

Tahapan ini mencakup identifikasi permasalahan yang terjadi, merumuskan masalah berdasarkan identifikasi tersebut, pencarian studi literatur

terkait permasalahan, serta melakukan peninjauan langsung di perusahaan amatan.

### 3.1.1. Identifikasi Permasalahan

Pada tahap ini dilakukan identifikasi permasalahan yang terjadi di perusahaan amatan kemudian dilakukan perumusan masalah berdasarkan identifikasi yang telah dilakukan. Identifikasi permasalahan dilakukan dengan melakukan pengamatan langsung serta wawancara dengan manajer gudang terkait kondisi eksisting dan permasalahan yang dihadapi pada gudang *spareparts* PT. X. Adapun permasalahan yang ditemui yaitu terkait keterbatasan *space* untuk gudang *spareparts* yang menyebabkan pihak perusahaan harus melakukan otomasi dengan mengimplementasikan robot AGV sehingga mereduksi waktu proses *put away* dan *picking* yang akan meningkatkan kecepatan perputaran barang di gudang *spareparts*. Penentuan jumlah optimal AGV dan penentuan strategi penugasannya harus dilakukan mengingat kemungkinan terjadinya *deadlock* atau *traffic jam* apabila terlalu banyak AGV yang dioperasikan dalam gudang. Selain itu, investasi untuk AGV mahal sehingga apabila tidak ditentukan jumlah yang optimal maka termasuk pemborosan *resource*.

### 3.1.2. Studi Literatur dan Studi Lapangan

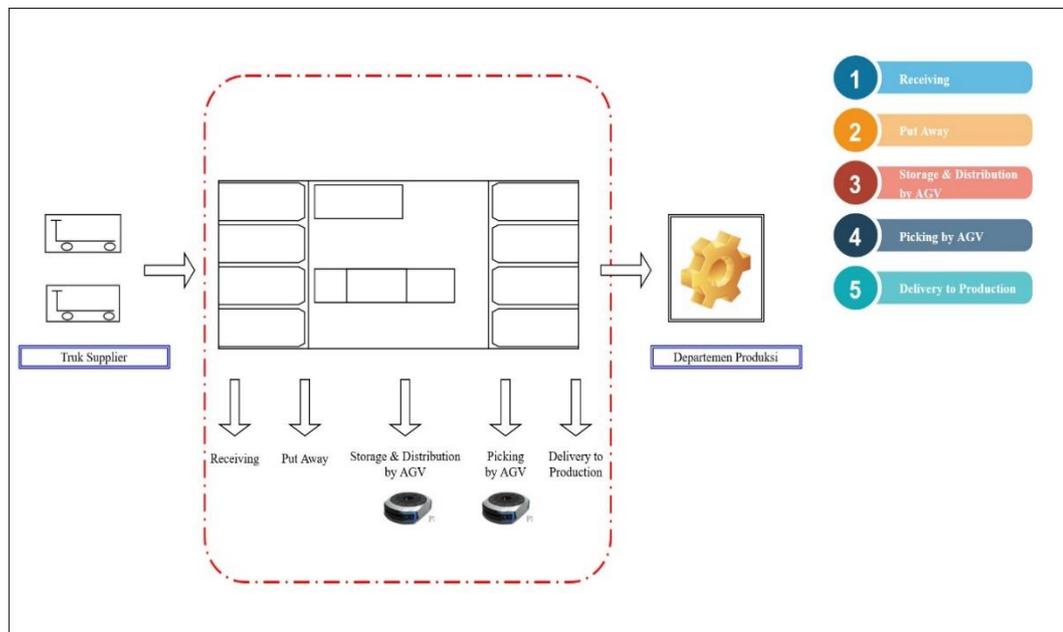
Studi literatur merupakan tahapan pencarian literatur atau referensi yang terkait dengan *warehouse management* dan simulasi seperti jenis-jenis gudang, jenis-jenis *material handling*, *robotic mobile fulfilment system* (RMFS), operasi-operasi yang ada di gudang, permodelan sistem, jenis simulasi, dan lain-lain. Literatur yang digunakan dalam penelitian tugas akhir ini berupa jurnal/paper ilmiah, buku, dan penelitian tugas akhir sebelumnya yang terkait dengan topik tugas akhir. Studi literatur penting dilakukan sebagai dasar teori dan pencarian metode yang akan digunakan untuk penyelesaian permasalahan.

Studi lapangan merupakan tahap peninjauan langsung yang dilakukan pada gudang *spareparts* PT. X. Tujuan dari studi lapangan adalah untuk mengamati secara langsung terkait sistem penyimpanan yang diterapkan pada gudang dan aktivitas-aktivitas yang terjadi di dalamnya. Selain pengumpulan data

primer dengan pengamatan dan wawancara langsung, juga dilakukan pengumpulan data sekunder yang didapatkan dari perusahaan.

### 3.2. Pengumpulan Data

Pada sub bab ini dilakukan pengumpulan data-data terkait yang diperlukan dalam penelitian tugas akhir ini. Data-data tersebut nantinya dijadikan input dalam model simulasi yang akan dibangun. Seperti yang sudah dipaparkan sebelumnya, pengambilan data dilakukan dengan wawancara langsung ke pihak manajer gudang, data historis, dan data-data lain yang terkait. Berikut merupakan gambaran dan batasan sistem yang diamati :



Gambar 3.2 Gambaran dan Batasan Sistem

Setelah mengidentifikasi gambaran sistem dan batasan yang akan diamati, langkah selanjutnya yaitu mengidentifikasi enam elemen masalah berdasarkan Daellenbach & McNickle (2005) yaitu *problem owner* (pemilik masalah), *objectives* (tujuan), *decision criterion* (kriteria keputusan), *performance measure* (ukuran performansi), *control input* (kontrol masukan), dan *context* (konteks).

1. *Decision maker/ problem owner*

Penentu kebijakan atau pemilik masalah dalam kasus ini yaitu Departemen Pergudangan PT. X.

2. *Objectives*

Tujuan dari penyelesaian masalah ini yaitu menentukan jumlah optimal robot AGV untuk gudang *spareparts* PT. X dan menentukan jenis strategi penugasan (*AGV dispatching strategy*).

3. *Decision Criterion*

Kriteria keputusan atau standar penilaian dari tujuan yang telah ditentukan yaitu nilai utilitas AGV paling tidak 90%.

4. *Performance measure*

Ukuran keberhasilan yang menjadi standar sistem yaitu utilitas robot AGV dan *waiting time* box dalam mendapat pelayanan.

5. *Control inputs* atau *alternative courses of action*

*Control input* dari permasalahan yang akan diselesaikan yaitu penerapan *storage policy* untuk *spareparts* yang disimpan.

6. *Context*

*Context* merupakan pihak yang dapat mempengaruhi pengambil keputusan. *Context* dalam permasalahan ini yaitu Departemen Pergudangan dan Departemen Produksi PT. X.

### 3.2.1. *Elemen Sistem*

Setelah mengidentifikasi elemen permasalahan, langkah selanjutnya ada menentukan komponen dari sistem yang diamati. Komponen sistem meliputi entitas, aktivitas, sumber daya (*resources*), dan kontrol. Elemen-elemen tersebut secara berurutan menunjukkan siapa, apa, kapan, dan bagaimana suatu entitas diproses (Harrel, et al., 2004).

1. Entitas

Entitas merupakan item yang mengalami proses di dalam suatu sistem. Item atau entitas yang diproses dalam sistem ini adalah *spareparts* sepeda motor.

2. Aktivitas

Aktivitas merupakan kegiatan yang membutuhkan waktu dan menggunakan *resource*. Aktivitas-aktivitas yang terjadi di dalam sistem meliputi kegiatan penerimaan (*receiving*), pengambilan (*put away*), penyimpanan (*storage and distribution by AGV*), dan pengambilan order (*picking*).

### 3. *Resources*

*Resource* merupakan sumber daya yang digunakan dalam memproses entitas. *Resources* dalam sistem ini yaitu robot AGV.

### 4. *Controls*

Kontrol yang diterapkan dalam sistem meliputi *time-windows* gudang, batas *stock level*, dan aturan pengambilan barang FIFO.

#### 3.2.2. *Variabel Sistem*

Setelah mengidentifikasi elemen-elemen sistem, selanjutnya variabel-variabel dalam sistem harus ditentukan untuk mengetahui bagaimana elemen-elemen di dalam sistem saling berinteraksi dan mempengaruhi tujuan sistem (*system objectives*).

Variabel sistem terdiri dari variabel keputusan (*decision variables*), variabel respon (*response variables*), dan variabel status (*status variables*) (Siswanto, et al., 2018). Berikut merupakan paparan dari ketiga variabel dalam sistem.

#### 1. *Decision Variables*

Variabel keputusan bersifat *independent* dan *controllable*. Variabel keputusan dalam penelitian ini yaitu jumlah optimal robot AGV yang dibutuhkan gudang *spareparts* PT. X dan strategi penugasannya.

#### 2. *Response Variables*

Variabel respons merupakan variabel yang dipengaruhi oleh variabel keputusan. Dalam penelitian ini yang merupakan variabel respons adalah nilai utilitas AGV, *waiting time* tiap box dalam mendapat pelayanan, dan total box yang terlayani.

#### 3. *State Variables*

Variabel status merupakan kondisi sistem pada suatu titik waktu. Dalam penelitian ini, variabel statusnya adalah level stok (*inventory*) pada masing-masing rak, status pekerja (*idle/busy*), dan status AGV (*idle/busy*).

### 3.2.3. Data Simulasi

Tipe data dapat dikelompokkan menjadi tiga, yaitu data struktural, data operasional, data numerik. Berikut merupakan data-data yang dibutuhkan untuk melakukan simulasi pada penelitian ini menggunakan *software* ARENA.

#### a. Data struktural

Data struktural merupakan data semua objek di sistem yang akan disimulasikan. Data ini merujuk kepada konfigurasi sistem dan *layout* meliputi spesifikasi AGV, *layout* gudang, spesifikasi rak penyimpanan.

#### b. Data operasional

Data operasional didefinisikan sebagai data yang mengandung informasi baik logis maupun *behavioural* dari sistem yang diamati. Dalam penelitian ini yang termasuk data operasional adalah waktu antar kedatangan *box* dari *supplier*, waktu antar pengiriman ke unit produksi, dan *time windows* dari gudang itu sendiri.

#### c. Data Numerik

Data numerik merupakan semua data kuantitatif dalam sistem. Dalam penelitian ini yang termasuk data numerik yaitu kapasitas gudang, luas gudang, jumlah *inbound* per hari, jumlah *outbound* per hari, kecepatan AGV, daya tahan baterai AGV, kapasitas rak penyimpanan, waktu proses *put away*, waktu proses *picking*, waktu *travel* dari *pickup location* ke *drop-off location*.

## 3.3. Pengolahan Data dan *Fitting* Distribusi

Setelah dilakukan pengumpulan data, proses selanjutnya yaitu pengolahan data. Langkah pertama dalam mengolah data yaitu penyesuaian data. Data-data yang *outlier* dihilangkan atau tetap dimasukkan dalam penghitungan namun dilakukan penyesuaian dengan cara mengkonfirmasi kepada pihak manajer PT. X. Setelah data sesuai, dilakukan *fitting distribution* untuk mengetahui data-data

yang telah dikumpulkan memiliki jenis pola dan distribusi apa sehingga *output* simulasi yang dihasilkan lebih mendekati kondisi nyata sistem.

### **3.4. Simulasi**

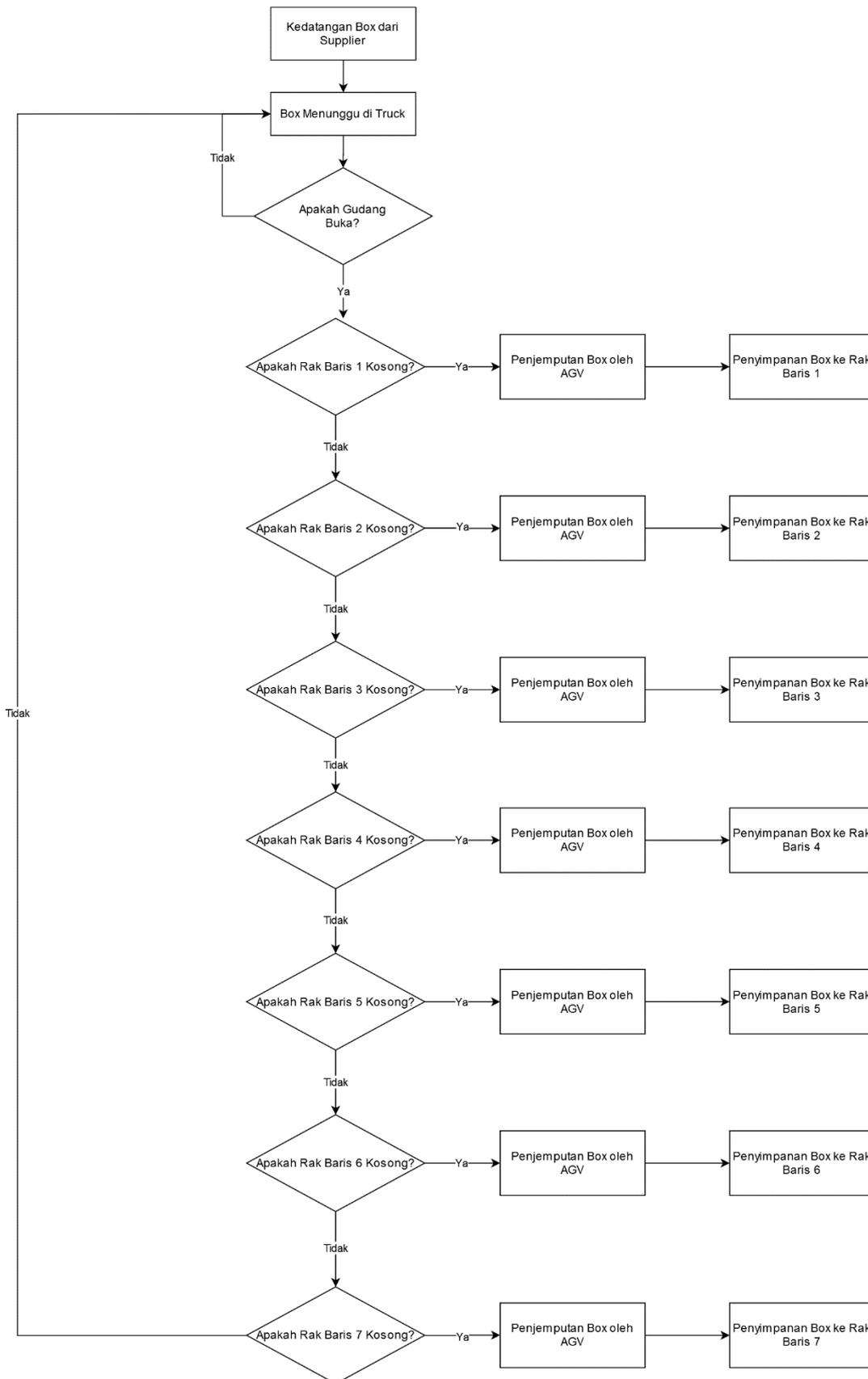
Langkah selanjutnya pada penelitian ini yaitu menjalankan proses simulasi menggunakan *software* ARENA.

#### *3.4.1. Perumusan Hipotesis*

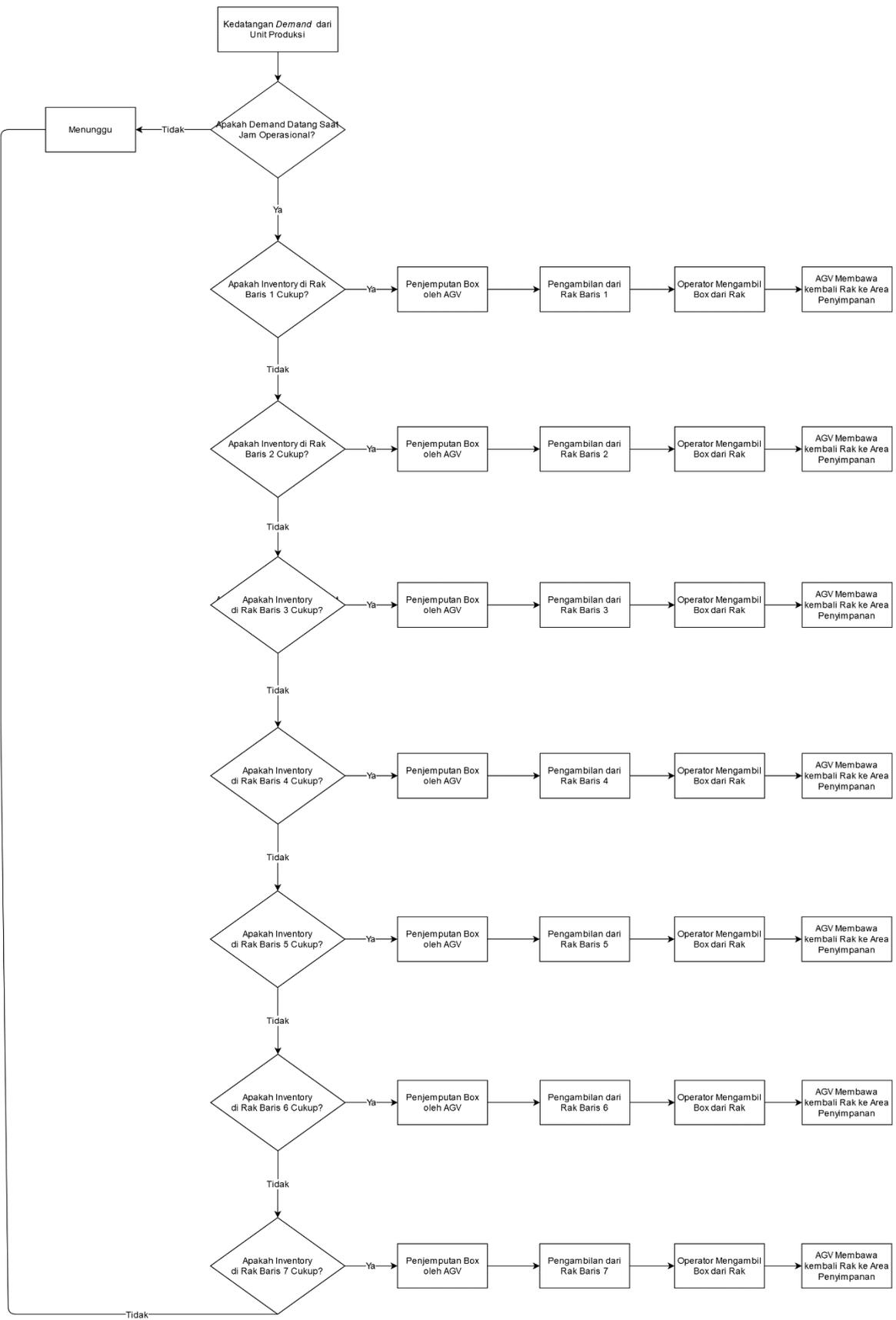
Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini yaitu jumlah robot AGV yang telah dibeli oleh PT. X tidak sesuai dengan jumlah optimal yang seharusnya dibutuhkan sehingga tidak tercapai nilai utilitas yang ditargetkan.

#### *3.4.2. Perancangan Model Konseptual*

Langkah selanjutnya yaitu membangun model konseptual. Model konseptual yaitu kerangka yang menunjukkan hubungan logis antara faktor/variabel yang telah diidentifikasi untuk menganalisis masalah penelitian (Sinulingga, 2014). Model konseptual digunakan untuk memahami alur aktivitas di dalam suatu sistem. Berikut ini merupakan gambar model konseptual untuk aktivitas *put away* dan *picking*.



**Gambar 3.3 Model Konseptual Proses *Put Away***



**Gambar 3.4 Model Konseptual Proses *Picking***

### 3.4.3. Simulasi Model

Model simulasi dalam penelitian ini menggunakan *software* ARENA berdasarkan model konseptual yang telah dibangun. Data-data yang telah dilakukan penyesuaian dan telah diketahui *fitting* distribusinya dimasukkan ke dalam *software*. Kemudian simulasi akan berjalan. Namun mengingat *input* yang dimasukkan adalah *random*, maka *output* yang dihasilkan juga akan *random*. Oleh karena itu, jika percobaan dilakukan hanya sekali maka tidak representatif sehingga dilakukan replikasi yang nantinya akan didapatkan *range* estimasi hasil. Makin kecil *range* estimasi, makin baik informasi yang diperoleh. Langkah pertama yang dilakukan yaitu menentukan jumlah replikasi awal ( $n$ ), lalu akan didapatkan nilai *half width* ( $hw$ ). Kemudian memasukkan nilai  $hw$  yang diinginkan atau *relative half width* ( $hw'$ ) dengan mencari nilai *error* ( $e$ ). Kemudian dapat dilakukan perbandingan nilai  $hw$  dengan  $hw'$ . Jika nilai  $hw$  lebih kecil daripada  $hw'$ , maka jumlah replikasi awal ( $n$ ) dapat ditetapkan sebagai jumlah replikasi.

### 3.4.4. Verifikasi dan Validasi

Tahap verifikasi dan validasi dilakukan untuk mengevaluasi model yang telah dirancang. Pada proses verifikasi, model simulasi dicek untuk memastikan bahwa tidak ada eror yang terjadi dan model konsisten dengan model konseptual yang telah disusun. Proses verifikasi model dapat dilakukan dengan cara *debug*, menilai apakah *output* model masuk akal, dan dilakukan animasi simulasi untuk memastikan logika simulasi model yang dibuat.

Proses validasi yaitu membandingkan *output* simulasi dengan *output* nyata di sistem. Model simulasi dikatakan valid apabila tidak terdapat perbedaan signifikan dengan kondisi nyata. Perbedaan statistik diantara kedua sistem dilakukan dengan melakukan penghitungan *Paired t Test*. T test digunakan untuk melihat apakah model yang dibuat dengan sistem nyata memiliki parameter populasi yang sama. *Null hypothesis* adalah parameter apabila *range* kedua data tidak memiliki perbedaan signifikan. Apabila penghitungan *t value* ada di *range* negatif ke positif *t critical two tail*, artinya *null hypothesis* dapat diterima dan model valid.

#### 3.4.5. *Perancangan Skenario Perbaikan*

Setelah model simulasi terverifikasi dan dinyatakan valid, perbaikan dari sistem yang ada saat ini dikembangkan dengan merancang sejumlah skenario untuk mengestimasi performansi model. Tiap skenario dilakukan beberapa kali replikasi, kemudian setelah itu dapat diketahui skenario terbaiknya.

#### 3.4.6. *Analisa Sensitivitas*

Pada subbab ini akan dilakukan analisa sensitivitas yang bertujuan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter sistem terhadap perubahan kinerja sistem. Dengan melakukan analisa sensitivitas, perusahaan mampu mengantisipasi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi. Parameter yang akan diubah yaitu kenaikan *demand* sebesar 20%, 25%, dan 50%. Angka tersebut didapat dari kemungkinan-kemungkinan yang masih relevan dengan kemampuan perusahaan dalam mengakomodasi kenaikan permintaan.

#### 3.4.7. *Analisis dan Interpretasi*

Setelah melakukan *running* simulasi, dilakukan proses analisis dan interpretasi dari hasil yang telah didapatkan. Analisis dilakukan dengan membandingkan kebijakan penerapan jumlah AGV dan masing-masing dampaknya terhadap performansi sistem yang dapat dilihat dari nilai utilitas AGV, *waiting time* box dalam mendapat pelayanan, serta total box terlayani.

#### 3.4.8. *Kesimpulan dan Rekomendasi*

Setelah dilakukan penilaian masing-masing skenario dan analisisnya, dapat diambil kesimpulan dan rekomendasi perbaikan untuk objek penelitian yaitu PT. X.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses pembangunan model simulasi hingga proses mendapatkan hasil simulasi yang terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, pembangunan model simulasi eksisting, validasi dan verifikasi model, penyusunan skenario, serta hasil simulasi.

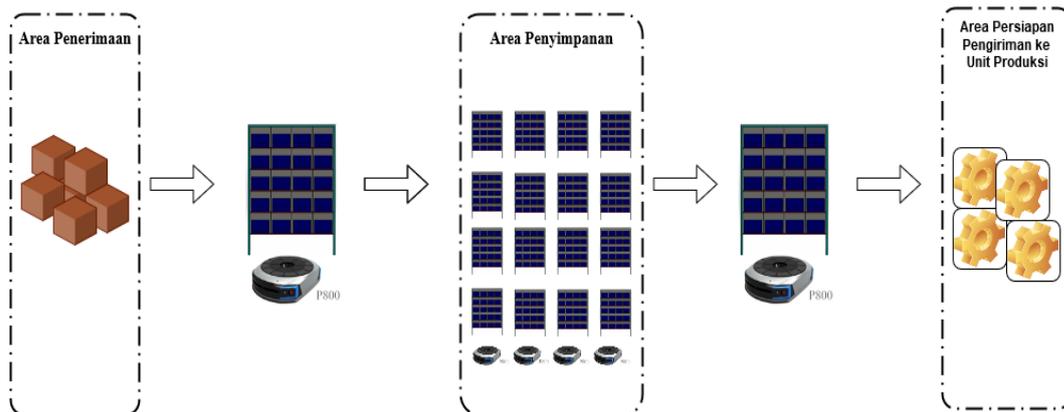
#### **4.1. Pengumpulan Data**

Pada subbab ini akan dipaparkan data-data yang digunakan dalam tugas akhir ini meliputi gambaran umum perusahaan, spesifikasi rak dan AGV, jumlah *inbound*, jumlah *outbound*, data jarak antara *workstation* dengan rak, dan perhitungan waktu tempuh.

##### *4.1.1. Gambaran Umum Perusahaan*

PT. X merupakan perusahaan produksi motor yang mendominasi pasar motor di Indonesia. Oleh karena itu, untuk menunjang kelancaran produksi dan menjamin ketersediaan komponen penyusun motor yang diproduksi, PT. X memiliki gudang *spareparts* dengan ukuran 16,1 m x 30 m yang terletak di Kalihurip, Karawang, Jawa Barat. Gudang *spareparts* dari PT. X ini menyimpan tiga jenis barang yaitu *sparepartss*, *medium parts*, dan *big parts*. *Sparepartss* terdiri dari jenis *engine* dan *frame* yang berukuran kecil-kecil seperti baut, mur, dan lain sebagainya. *Medium parts* terdiri dari jenis *engine* dan *frame* yang berukuran sedang seperti kabel-kabel. *Big parts* terdiri dari jenis *engine* dan *frame* yang berukuran besar seperti *body motor*, roda, dan lain sebagainya. Pada tugas akhir ini, gudang yang akan dijadikan objek amatan yaitu gudang *sparepartss*. Pada gudang *sparepartss*, terdapat empat aktivitas operasional yaitu *receiving* (penerimaan), *put-away* (peletakan/penataan ke rak), *storage* (penyimpanan), dan *order picking* (pemenuhan permintaan). Dalam membantu melaksanakan aktivitas operasional tersebut, gudang *sparepartss* mengimplementasikan robot AGV sebagai *material handling* untuk menangani aktivitas *put-away* dan *order picking* sehingga gudang ini disebut juga sebagai area otomasi. Tentunya,

penentuan jumlah AGV yang optimal dibutuhkan agar tidak ada proses yang mengalami *bottleneck*. Gudang *sparepartss* memiliki jam kerja yang terbagi menjadi 2 shift. Shift pertama pukul 07.00 – 16.00 dan shift kedua pukul 16.00 – 24.00. Sehingga memiliki total 17 jam operasional. Berikut merupakan gambaran aktivitas dari gudang *spareparts*.



Gambar 4.1 Alur Aktivitas pada Gudang *Spareparts*

#### 4.1.2. Spesifikasi Rak dan AGV

Rak yang digunakan dalam area penyimpanan juga harus standar dan *compatible* dengan robotnya. Rak tersebut bernama *pods* dengan jumlah total yaitu 105 *pods*. Rak memiliki dimensi 2400 x 1020 x 1270 m. Rak terdiri dari lima tingkatan, masing-masing tingkat untuk 4 box, dan *mirror* (depan belakang) sehingga kapasitas 1 rak adalah 40 *box*. Sifat penyimpanan di area otomasi yaitu *non-dedicated*, sehingga *box* berisi jenis apapun bebas diletakkan di rak manapun.

Sedangkan AGV, terdapat 12 buah AGV yang dimiliki oleh gudang *spareparts* dan berikut merupakan spesifikasi dari AGV.

Tabel 4.1 Spesifikasi AGV

Spesifikasi	Nilai
Berat	180 kg
Panjang	104 cm
Lebar	82 cm
Tinggi	28 cm
Kecepatan	1.5 m/s
Mode <i>Charging</i>	<i>Automatic charging</i>
Baterai	<i>Li-ion, 38.3 ah</i>

#### 4.1.3. Jumlah Inbound (Box dari Supplier)

*Inbound* merupakan box dari *supplier* yang diterima oleh pihak gudang yang nantinya akan disimpan di ruang penyimpanan. Jumlah *inbound* bervariasi setiap harinya. Berikut merupakan data *inbound* selama tiga bulan dari bulan Januari 2020 hingga Maret 2020.

Tabel 4.2 Jumlah *Inbound* per Hari

Januari 2020									
Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound
1	3104	8	2700	15	2805	22	2700	29	2551
2	3146	9	3121	16	2942	23	1690	30	2785
3	2756	10	2557	17	2364	24	2790	31	2883
4	3273	11	3073	18	3085	25	2900		
5	2528	12	2936	19	2860	26	2794		
6	3111	13	2700	20	3023	27	3084		
7	2565	14	2742	21	2952	28	2794		
Februari 2020									
Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound
1	2770	8	2846	15	2599	22	2838		
2	2700	9	2900	16	2612	23	2666		
3	2730	10	2929	17	2867	24	2700		
4	2740	11	2700	18	2868	25	2541		
5	2700	12	2811	19	3030	26	2700		
6	3144	13	2996	20	3361	27	2627		
7	2700	14	2700	21	2998	28	2822		
Maret 2020									
Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound	Hari	Inbound
1	2880	8	3008	15	2830	22	2482	29	2700
2	2641	9	2796	16	2772	23	2836	30	2946
3	3113	10	2888	17	2614	24	2516	31	2815
4	2709	11	2901	18	2643	25	2473		
5	2522	12	2618	19	2700	26	2438		
6	2651	13	2849	20	2586	27	3141		
7	2700	14	2987	21	2832	28	2858		

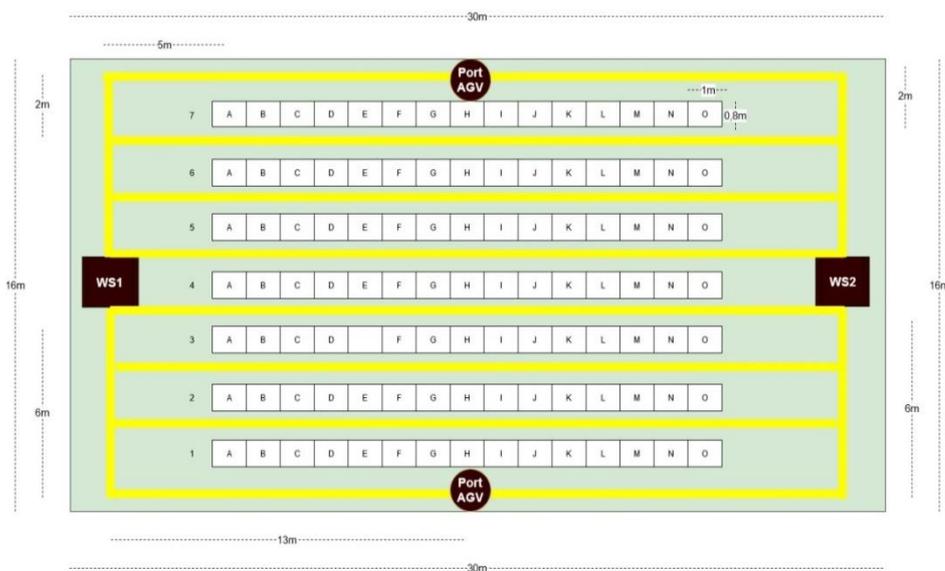
#### 4.1.4. Jumlah Outbound

*Outbound* merupakan jumlah kemasan yang akan dikirimkan ke unit produksi. Pihak perusahaan telah menetapkan jumlah *outbound* konstan setiap

harinya yaitu 9900 kemasan. Satu kemasan diartikan sebagai satu kali *picking*, artinya dalam sehari terdapat 9900 aktivitas *picking*.

#### 4.1.5. Data Jarak Antara Workstation dengan Rak

Pada gudang PT. X terdapat 105 rak sehingga memiliki jarak yang berbeda-beda antara *workstation* (tempat penerimaan box) dengan masing-masing rak. WS1 merupakan *workstation put away*, dimana box-box yang datang dari truk *supplier* akan diterima kemudian AGV yang *available* akan ditugaskan untuk menjemput box-box tersebut dengan membawa rak (*pods*). Operator pada WS1 (*workstation 1*) akan melakukan proses *put away* atau meletakkan box ke dalam rak. Kapasitas satu rak yaitu 40 box. Setelah rak penuh, AGV akan membawa rak tersebut kembali ke tempatnya semula. Lokasi rak dibagi menjadi tujuh lorong dengan penamaan urut A hingga O. Misalnya, WS1 ke R1A merupakan jarak antara *workstation 1* ke rak lorong 1A. Sedangkan WS2 merupakan *workstation picking* yang akan memproses pesanan box dari unit produksi. Operator pada WS2 akan menugaskan AGV yang *available* untuk menjemput rak yang berisi box sesuai pesanan, kemudian rak tersebut akan dibawa menuju WS2, kemudian operator akan mengambil box yang ada di rak tersebut. Box-box yang diambil oleh operator akan ditata ke dalam kereta palet untuk selanjutnya dikirim ke unit produksi. Berikut merupakan *layout* dari gudang *spareparts*.



Gambar 4.2 *Layout Gudang Spareparts*

Dan berikut merupakan tabel yang menunjukkan jarak masing-masing rak menuju *workstation put away* (WS1) dan *workstation picking* (WS2) dengan satuan jarak meter (m).

**Tabel 4.3 Jarak Antara Workstation Put Away dengan Rak**

Jarak	R1A	R1B	R1C	R1D	R1E	R1F	R1G	R1H	R1I	R1J	R1K	R1L	R1M	R1N	R1O
WS1	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85

Jarak	R2A	R2B	R2C	R2D	R2E	R2F	R2G	R2H	R2I	R2I	R2K	R2L	R2M	R2N	R2O
WS1	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83

Jarak	R3A	R3B	R3C	R3D	R3E	R3F	R3G	R3H	R3I	R3J	R3K	R3L	R3M	R3N	R3O
WS1	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

Jarak	R4A	R4B	R4C	R4D	R4E	R4F	R4G	R4H	R4I	R4J	R4K	R4L	R4M	R4N	R4O
WS1	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

Jarak	R7A	R7B	R7C	R7D	R7E	R7F	R7G	R7H	R7I	R7J	R7K	R7L	R7M	R7N	R7O
WS1	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85

Jarak	R6A	R6B	R6C	R6D	R6E	R6F	R6G	R6H	R6I	R6J	R6K	R6L	R6M	R6N	R6O
WS1	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83

Jarak	R5A	R5B	R5C	R5D	R5E	R5F	R5G	R5H	R5I	R5J	R5K	R5L	R5M	R5N	R5O
WS1	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

**Tabel 4.4 Jarak antara Workstation Picking dengan Rak**

Jarak	R1O	R1N	R1M	R1L	R1K	R1J	R1I	R1H	R1G	R1F	R1E	R1D	R1C	R1B	R1A
WS2	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85

Jarak	R2O	R2N	R2M	R2L	R2K	R2J	R2I	R2H	R2G	R2F	R2E	R2D	R2C	R2B	R2A
WS2	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83

Jarak	R3O	R3N	R3M	R3L	R3K	R3J	R3I	R3H	R3G	R3F	R3E	R3D	R3C	R3B	R3A
WS2	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

Jarak	R4O	R4N	R4M	R4L	R4K	R4J	R4I	R4H	R4G	R4F	R4E	R4D	R4C	R4B	R4A
WS2	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

Jarak	R7O	R7N	R7M	R7L	R7K	R7J	R7I	R7H	R7G	R7F	R7E	R7D	R7C	R7B	R7A
WS2	43	46	49	52	55	58	61	64	67	70	73	76	79	82	85

Jarak	R6O	R6N	R6M	R6L	R6K	R6J	R6I	R6H	R6G	R6F	R6E	R6D	R6C	R6B	R6A
WS2	41	44	47	50	53	56	59	62	65	68	71	74	77	80	83

Jarak	R5O	R5N	R5M	R5L	R5K	R5J	R5I	R5H	R5G	R5F	R5E	R5D	R5C	R5B	R5A
WS2	39	42	45	48	51	54	57	60	63	66	69	72	75	78	81

#### 4.1.6. Penghitungan Waktu Tempuh Antara Workstation dengan Rak

Setelah didapatkan *layout* gudang dan diketahui masing-masing jarak antar rak menuju *workstation put away* (WS1) dan *workstation picking* (WS2) pada subbab sebelumnya, maka dapat dilakukan penghitungan untuk waktu tempuhnya. AGV yang digunakan memiliki kecepatan konstan sebesar 1,5 m/detik. Dengan menggunakan rumus dibawah ini, maka diperoleh masing-masing waktu tempuhnya. Berikut merupakan rumus dan contoh penghitungan untuk waktu tempuh dari WS1 menuju rak Lorong 1A.

$$\text{Waktu Tempuh} = \frac{\text{Jarak}}{\text{Kecepatan}}$$

$$\begin{aligned}\text{Waktu Tempuh} &= \frac{43 \text{ meter}}{1,5 \text{ m/s}} \\ &= 28,67 \text{ detik}\end{aligned}$$

Berikut merupakan tabel hasil rekap penghitungan masing-masing waktu tempuh yang dibutuhkan AGV dari masing-masing *workstation* menuju rak.

**Tabel 4.5 Waktu Tempuh dari Workstation Put Away ke Rak**

Waktu	R1A	R1B	R1C	R1D	R1E	R1F	R1G	R1H	R1I	R1J	R1K	R1L	R1M	R1N	R1O
WS1	28.67	30.67	32.67	34.67	36.67	38.67	40.67	42.67	44.67	46.67	48.67	50.67	52.67	54.67	56.67

Waktu	R2A	R2B	R2C	R2D	R2E	R2F	R2G	R2H	R2I	R2I	R2K	R2L	R2M	R2N	R2O
WS1	27.33	29.33	31.33	33.33	35.33	37.33	39.33	41.33	43.33	45.33	47.33	49.33	51.33	53.33	55.33

Waktu	R3A	R3B	R3C	R3D	R3E	R3F	R3G	R3H	R3I	R3J	R3K	R3L	R3M	R3N	R3O
WS1	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54

Waktu	R4A	R4B	R4C	R4D	R4E	R4F	R4G	R4H	R4I	R4J	R4K	R4L	R4M	R4N	R4O
WS1	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54

Waktu	R7A	R7B	R7C	R7D	R7E	R7F	R7G	R7H	R7I	R7J	R7K	R7L	R7M	R7N	R7O
WS1	28.67	30.67	32.67	34.67	36.67	38.67	40.67	42.67	44.67	46.67	48.67	50.67	52.67	54.67	56.67

Waktu	R6A	R6B	R6C	R6D	R6E	R6F	R6G	R6H	R6I	R6J	R6K	R6L	R6M	R6N	R6O
WS1	27.33	29.33	31.33	33.33	35.33	37.33	39.33	41.33	43.33	45.33	47.33	49.33	51.33	53.33	55.33

Waktu	R5A	R5B	R5C	R5D	R5E	R5F	R5G	R5H	R5I	R5J	R5K	R5L	R5M	R5N	R5O
WS1	26	28	30	32	34	36	38	40	42	44	46	48	50	52	54

**Tabel 4.6 Waktu Tempuh dari *Workstation Picking* ke Rak**

Waktu	R1A	R1B	R1C	R1D	R1E	R1F	R1G	R1H	R1I	R1J	R1K	R1L	R1M	R1N	R1O
WS2	56.67	54.67	52.67	50.67	48.67	46.67	44.67	42.67	40.67	38.67	36.67	34.67	32.67	30.67	28.67

Waktu	R2A	R2B	R2C	R2D	R2E	R2F	R2G	R2H	R2I	R2J	R2K	R2L	R2M	R2N	R2O
WS2	55.33	53.33	51.33	49.33	47.33	45.33	43.33	41.33	39.33	37.33	35.33	33.33	31.33	29.33	27.33

Waktu	R3A	R3B	R3C	R3D	R3E	R3F	R3G	R3H	R3I	R3J	R3K	R3L	R3M	R3N	R3O
WS2	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26

Waktu	R4A	R4B	R4C	R4D	R4E	R4F	R4G	R4H	R4I	R4J	R4K	R4L	R4M	R4N	R4O
WS2	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26

Waktu	R7A	R7B	R7C	R7D	R7E	R7F	R7G	R7H	R7I	R7J	R7K	R7L	R7M	R7N	R7O
WS2	56.67	54.67	52.67	50.67	48.67	46.67	44.67	42.67	40.67	38.67	36.67	34.67	32.67	30.67	28.67

Waktu	R6A	R6B	R6C	R6D	R6E	R6F	R6G	R6H	R6I	R6J	R6K	R6L	R6M	R6N	R6O
WS2	55.33	53.33	51.33	49.33	47.33	45.33	43.33	41.33	39.33	37.33	35.33	33.33	31.33	29.33	27.33

Waktu	R5A	R5B	R5C	R5D	R5E	R5F	R5G	R5H	R5I	R5J	R5K	R5L	R5M	R5N	R5O
WS2	54	52	50	48	46	44	42	40	38	36	34	32	30	28	26

## 4.2. Pembangunan Model Simulasi

Pada penelitian ini, simulasi *discrete event* dirancang untuk mengevaluasi kinerja dari kondisi eksisting sistem dan mendapatkan skenario terbaik yang nantinya akan diajukan sebagai saran perbaikan dari sistem yang ada saat ini. Simulasi dilakukan menggunakan *software* ARENA.

### 4.2.1. Fitting Distribution

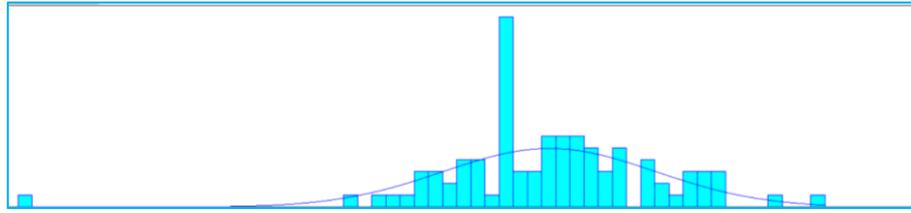
*Input analyzer* berguna untuk menentukan distribusi terbaik dari data input yang didapat sewaktu pengamatan. Distribusi data berfungsi untuk menunjukkan semua nilai yang mungkin atau interval dari suatu data dan menyatakan seberapa sering suatu nilai terjadi. Data yang diolah untuk diketahui distribusinya yaitu waktu antar kedatangan truk, jumlah box setiap kali kedatangan, waktu antar kedatangan *demand* dari unit produksi, serta waktu proses *put away* dan waktu proses *picking*.

#### 1. Waktu antar Kedatangan Truk

Gudang *sparepartss* memiliki jam operasional yaitu pukul 07.00 – 24.00 sehingga memiliki total 17 jam operasional. Selama jam operasional tersebut, terdapat rata-rata 30 truk *supplier* yang datang setiap harinya. Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan pihak manajemen gudang, truk-truk tersebut datang secara *random* dengan rata-rata waktu kedatangannya yaitu 34 menit sekali. Dengan begitu, dapat disimpulkan bahwa waktu antar kedatangan truk yaitu berdistribusi eksponensial dengan rata-rata 34 menit.

#### 2. Jumlah Box Masuk (*Inbound*)

Jumlah box yang diangkut setiap truk bervariasi jumlahnya. Berdasarkan hasil dari *input analyzer*, jumlah box setiap kali datang memiliki distribusi dengan *square error* sebesar 0,021643. Nilai *square error* tidak melebihi *p-value* sebesar 0,0551 sehingga distribusi yang representatif yaitu normal dengan rata-rata 93 dan standar deviasi sebesar 7,51 atau dibulatkan menjadi 8 karena dalam satuan box maka angka harus berupa *integer*.



Gambar 4.3 Hasil *Fitting* Distribusi Jumlah *Inbound*

3. Waktu antar Kedatangan Demand dari Unit Produksi

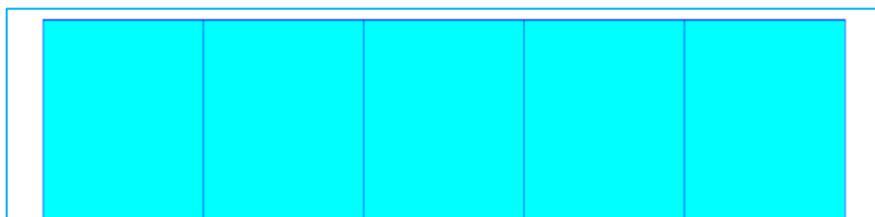
Gudang *spareparts* menyimpan box-box yang datang dari *supplier*. Satu box tersebut terdiri dari 5 kemasan. Kemasan-kemasan ini yang nantinya akan dikirim ke unit produksi dengan jumlah yang bervariasi tergantung *demand* dari unit produksi. Berdasarkan wawancara yang dilakukan dengan pihak manajemen gudang, jumlah kemasan yang dikirim ke unit produksi yaitu 9900 kemasan per hari. Pengiriman kemasan tersebut tidak dilakukan dalam sekali pengiriman, namun dalam 11 kali pengiriman setiap harinya sehingga terdapat 900 kemasan dalam sekali pengiriman. Waktu pengiriman *constant* setiap 92 menit sekali.

4. Waktu Total *Put Away*

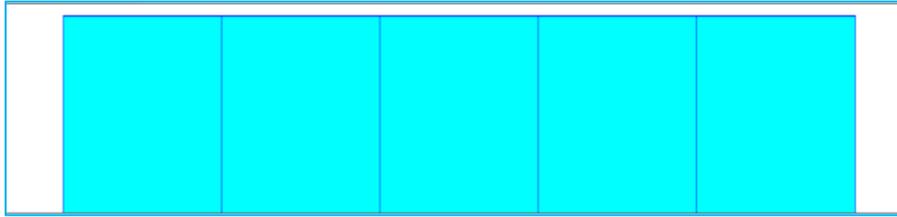
Proses *put away* memiliki waktu yang bervariasi tergantung letak rak yang diambil. Makin jauh rak yang diambil dari *workstation put away* maka makin lama waktu perjalanan (*travel time*) dari AGV sehingga untuk menyelesaikan proses *put away* tersebut makin lama. Waktu total *put away* didapat dari waktu perjalanan AGV (*travel time*) ditambah dengan waktu *put away* itu sendiri. Berikut rumus untuk mendapatkan waktu total proses *put away*.

$$\text{Waktu Total Put Away} = \text{Travel Time AGV} + \text{Processing Time}$$

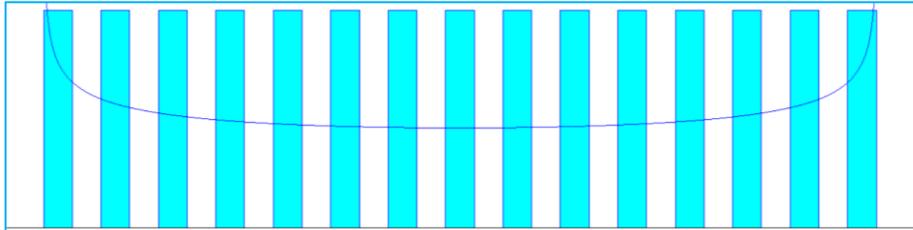
Dengan rumus tersebut, didapatkan rekap waktu total untuk proses *put away* dengan lokasi rak yang berbeda-beda yang ditampilkan pada lampiran. Berikut merupakan hasil *input analyzer* untuk distribusi waktu total *put away*.



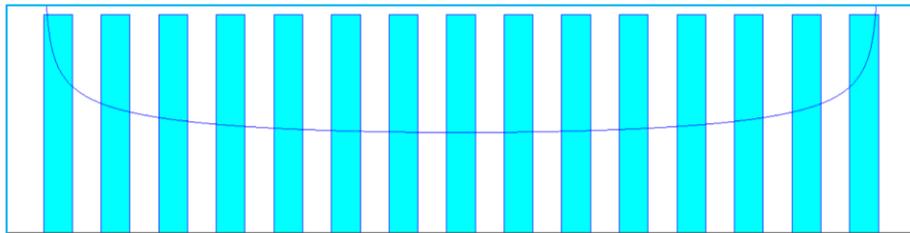
Gambar 4.4 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 1



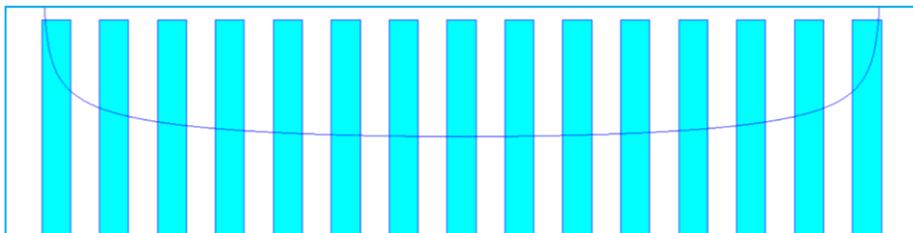
**Gambar 4.5 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 2**



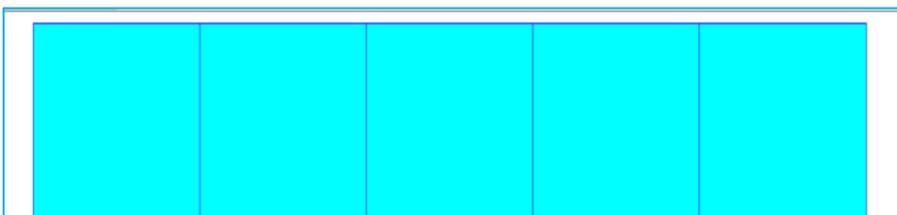
**Gambar 4.6 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 3**



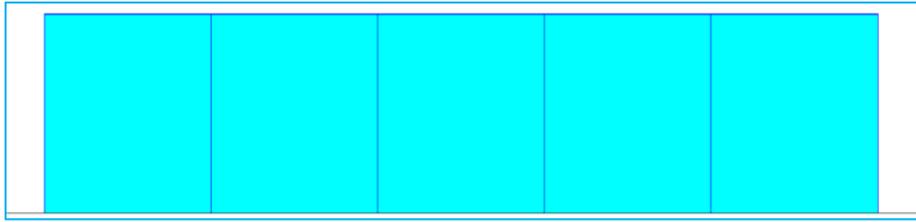
**Gambar 4.7 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 4**



**Gambar 4.8 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 5**



**Gambar 4.9 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 6**



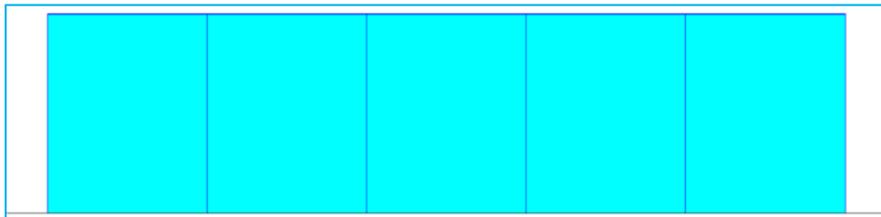
**Gambar 4.10 Waktu Total Proses *Put Away* pada Rak Baris 7**

5. Waktu Total *Picking*

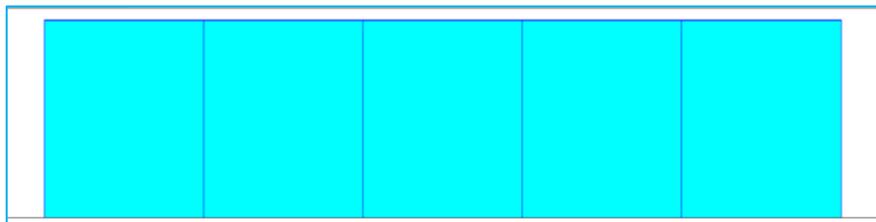
Proses *picking* memiliki waktu yang bervariasi tergantung box yang akan diambil berada pada lokasi rak keberapa. Makin jauh letak rak tersebut dari *workstation picking* maka makin lama waktu perjalanan (*travel time*) yang dibutuhkan AGV sehingga untuk menyelesaikan proses *picking* tersebut makin lama. Waktu total proses *picking* didapat dari waktu perjalanan AGV (*travel time*) ditambah dengan waktu *picking* yang dilakukan operator. Berikut rumus untuk mendapatkan waktu total proses *picking*.

$$\text{Waktu Total Picking} = \text{Travel Time AGV} + \text{Processing Time}$$

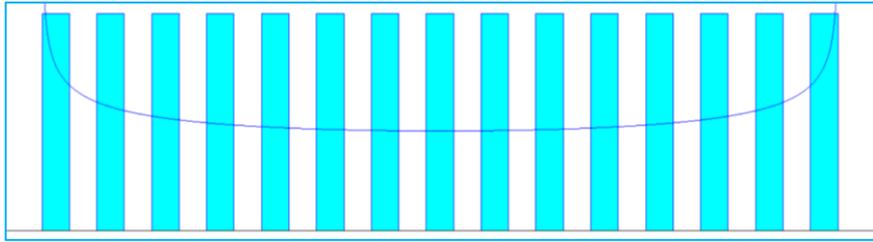
Dengan rumus tersebut, didapatkan rekap waktu total untuk proses *picking* dengan lokasi rak yang berbeda-beda yang ditampilkan pada lampiran. Berikut merupakan hasil *input analyzer* untuk distribusi waktu total *picking*.



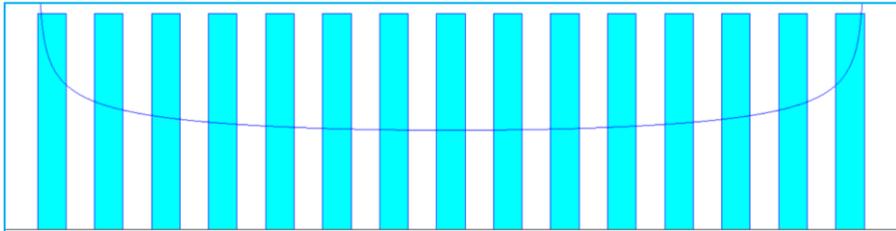
**Gambar 4.11 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 1**



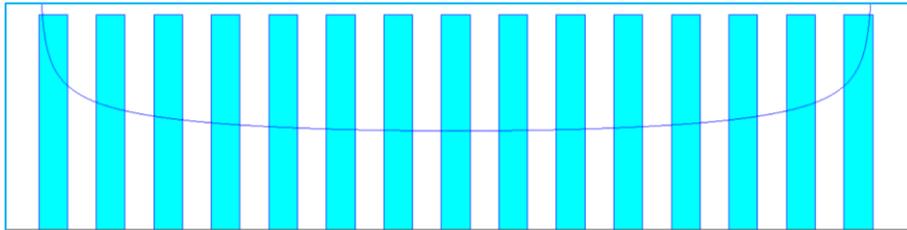
**Gambar 4.12 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 2**



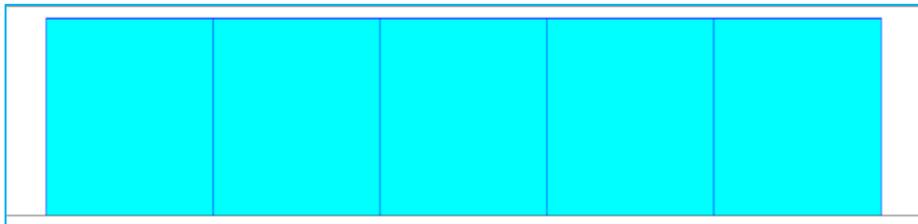
**Gambar 4.13 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 3**



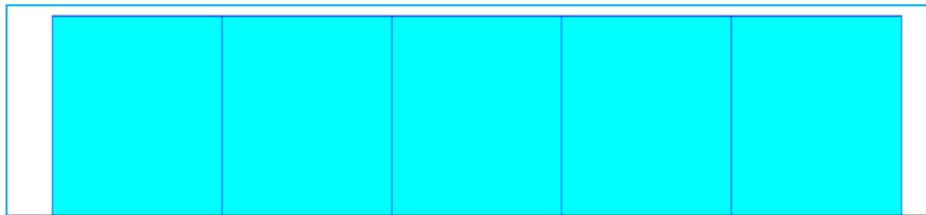
**Gambar 4.14 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 4**



**Gambar 4.15 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 5**



**Gambar 4.16 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 6**



**Gambar 4.17 Waktu Total Proses *Picking* pada Rak Baris 7**

6. Rangkuman Data *Fitting Distribution*

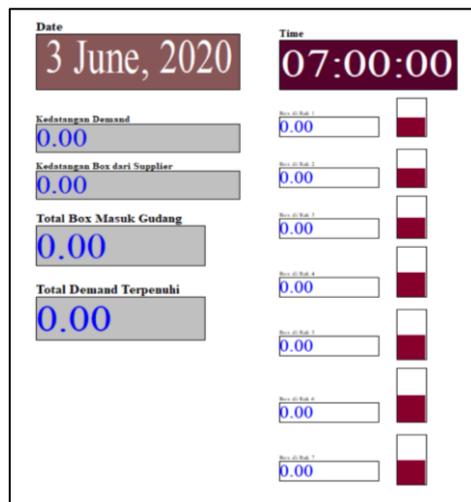
Berikut merupakan rekapitulasi dari masing-masing data yang dilakukan *fitting distribution* menggunakan software *input analyzer* pada ARENA.

**Tabel 4.7 Rekap Hasil *Fitting* Distribusi**

<b>Data</b>	<b>Hasil <i>Fitting</i> Distribution</b>	<b>Unit</b>
Jumlah Box Masuk	$55.5 + 57 * \text{BETA}(4.43, 2.68)$	Buah
Waktu Total Put Away Rak Baris 1	UNIF(43, 72)	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 2	UNIF(42, 71)	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 3	$40.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 4	$40.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 5	$40.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 6	UNIF(42, 71)	Detik
Waktu Total Put Away Rak Baris 7	UNIF(43, 72)	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 1	UNIF(37, 66)	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 2	((UNIF(36, 65)	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 3	$34.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 4	$34.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 5	$34.5 + 29 * \text{BETA}(0.814, 0.814)$	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 6	UNIF(36, 65)	Detik
Waktu Total <i>Picking</i> Rak Baris 7	UNIF(37, 66)	Detik

4.2.2. *Pembangunan Model Simulasi Eksisting*

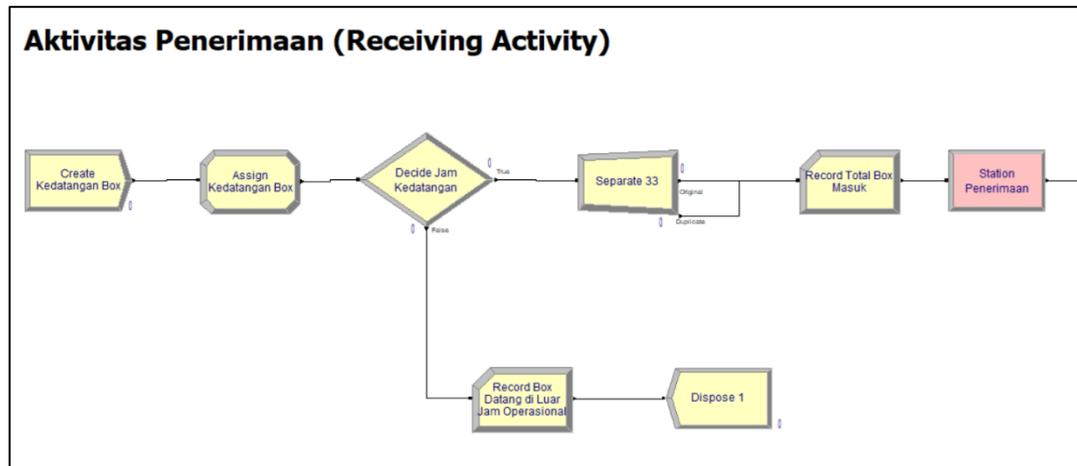
Setelah dilakukan pengumpulan data dan *fitting* distribusi yang dibutuhkan sebagai input simulasi, langkah selanjutnya yaitu pembangunan model simulasi untuk kondisi eksisting menggunakan *software* ARENA. Terdapat tiga sub-model yang akan disimulasikan terkait aktivitas pada gudang *spareparts* PT. X. Masing-masing akan dijelaskan secara detail berikut ini.



**Gambar 4.18 Tampilan Awal Simulasi**

## 1. Kedatangan Box dari Supplier

Aktivitas pertama yang disimulasikan pada gudang *spareparts* PT.X yaitu aktivitas penerimaan box yang datang dari *supplier* atau disebut sebagai *receiving activity*. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan dalam sub-model ini.



Gambar 4.19 Model Simulasi Aktivitas Penerimaan

- “Create” modul dibuat untuk membangkitkan kedatangan entitas di model simulasi. Dalam hal ini yaitu penanda kedatangan box dari supplier yang dibawa menggunakan truk. Waktu antar kedatangan truk setiap harinya telah dipaparkan pada sub-bab sebelumnya yaitu *random* dengan rata-rata 34 menit. Artinya, waktu antar kedatangan mengikuti distribusi eksponensial. Box yang datang merupakan entitas yang akan diproses dalam sistem.
- “Assign” modul dibuat untuk memberikan nilai atribut kepada entitas maupun variabel untuk sistem atau entitas itu sendiri. Atribut tersebut yaitu jumlah box yang diangkut setiap truk dalam setiap kedatangan. Jumlah tersebut bervariasi dan telah dilakukan *fitting* distribusi pada subbab sebelumnya.
- Gudang *spareparts* memiliki jam kerja sehingga truk yang datang harus berada pada rentang waktu jam kerja yaitu pukul 07.00-24.00. Diluar jam tersebut, truk yang datang membawa box tidak dapat dilayani. Oleh karena itu digunakan modul “Decide” untuk keputusan ini. Tipe yang digunakan dalam modul *decide* yaitu *2-way by condition* yang berarti hanya akan ada dua kondisi yaitu *true* dan *false*.
- “Separate Modul” digunakan untuk menduplikat entitas yang masuk. Satu truk mengangkut jumlah box yang berbeda-beda, sehingga modul ini menggambarkan jumlah box yang diangkut dalam setiap truk yang datang.

- e) “Record” modul digunakan untuk memunculkan data statistik pada model simulasi. Tipe data yang akan dimunculkan yaitu jumlah entitas yang masuk. Dalam hal ini yaitu merekam berapa total box yang masuk ke area penerimaan.
- f) “Station” modul digunakan sebagai gambaran pergerakan entitas dalam sistem. Dalam hal ini yaitu pergerakan box dari truck menuju area penerimaan.

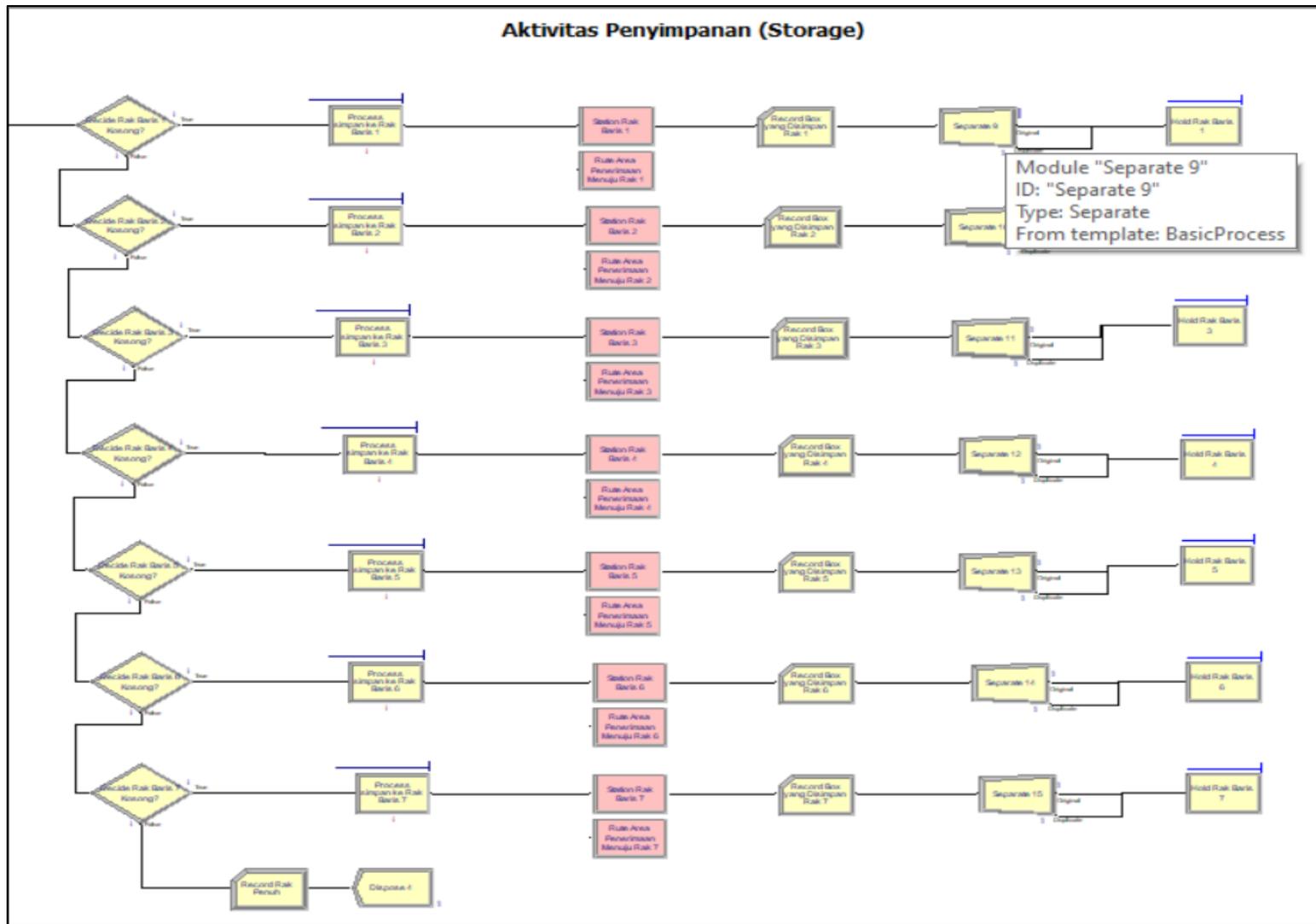
## 2. Aktivitas Penyimpanan

Aktivitas kedua yang digambarkan dalam simulasi ini yaitu aktivitas penyimpanan atau *storage activity*. Box-box yang telah diterima pada area penerimaan selanjutnya akan diproses untuk disimpan ke dalam rak-rak. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan dalam sub-model ini.

- a) “Decide” modul berguna untuk menentukan alur pengambilan keputusan dalam proses aktivitas penyimpanan. Tipe yang digunakan dalam modul *decide* yaitu *2-way by condition* yang artinya hanya akan ada dua keputusan yaitu *true* atau *false*. Rak penyimpanan dibagi menjadi tujuh cluster yaitu rak baris 1 hingga 7. Sebelum box disimpan, akan dipastikan terlebih dahulu apakah box dapat disimpan di rak baris 1, 2, dan seterusnya. Apabila rak baris tertentu masih memiliki kapasitas penyimpanan, maka box akan disimpan di rak baris tersebut.
- b) “Assign” modul pada sub-model ini digunakan untuk memberikan nilai pada variabel sistem. Tipe yang digunakan pada modul ini yaitu tipe *variable* yang berarti bahwa variabel status akan diperbarui oleh setiap entitas dalam modul. Variabel status tersebut yaitu jumlah box yang disimpan di masing-masing baris rak.
- c) “Process” modul berfungsi memodelkan aktivitas yang dikenai pada entitas dengan durasi tertentu, dalam hal ini yaitu aktivitas penyimpanan. *Action* yang dipakai yaitu *seize delay release* yang berarti bahwa entitas menangkap *resource* (AGV), ditahan beberapa lama untuk digunakan lalu dilepas dalam satu proses. Aturan pemilihan AGV yaitu *smallest number busy* yang berarti bahwa pemilihan *resource* berdasarkan *resource* mana yang tidak sibuk pada saat tersebut. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses penyimpanan bervariasi dan sudah diketahui hasil distribusi datanya dengan *fitting distribution* pada sub-bab sebelumnya. Aktivitas penyimpanan termasuk ke dalam *value added activity*.

- d) “Station” modul digunakan sebagai gambaran pergerakan entitas dalam sistem. Dalam hal ini yaitu pergerakan box dari area penerimaan menuju rak baris 1,2,3,4,5,6 atau 7.
- e) “Record” modul digunakan untuk memunculkan data statistik pada model simulasi. Tipe data yang akan dimunculkan yaitu jumlah entitas yang masuk. Dalam hal ini yaitu merekam berapa total box yang disimpan pada masing-masing rak.
- f) “Separate” modul digunakan untuk menduplikat entitas yang masuk. Satu box yang disimpan, di dalamnya mengandung lima kemasan. Sehingga dibutuhkan modul ini untuk mendefinisikan hal tersebut.
- g) “Hold” modul digunakan untuk menahan entitas yang menggambarkan bahwa box-box yang sudah tersimpan di rak akan ditahan sementara sampai box tersebut dipanggil menuju proses selanjutnya.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)



Gambar 4.20 Model Simulasi Aktivitas Penyimpanan

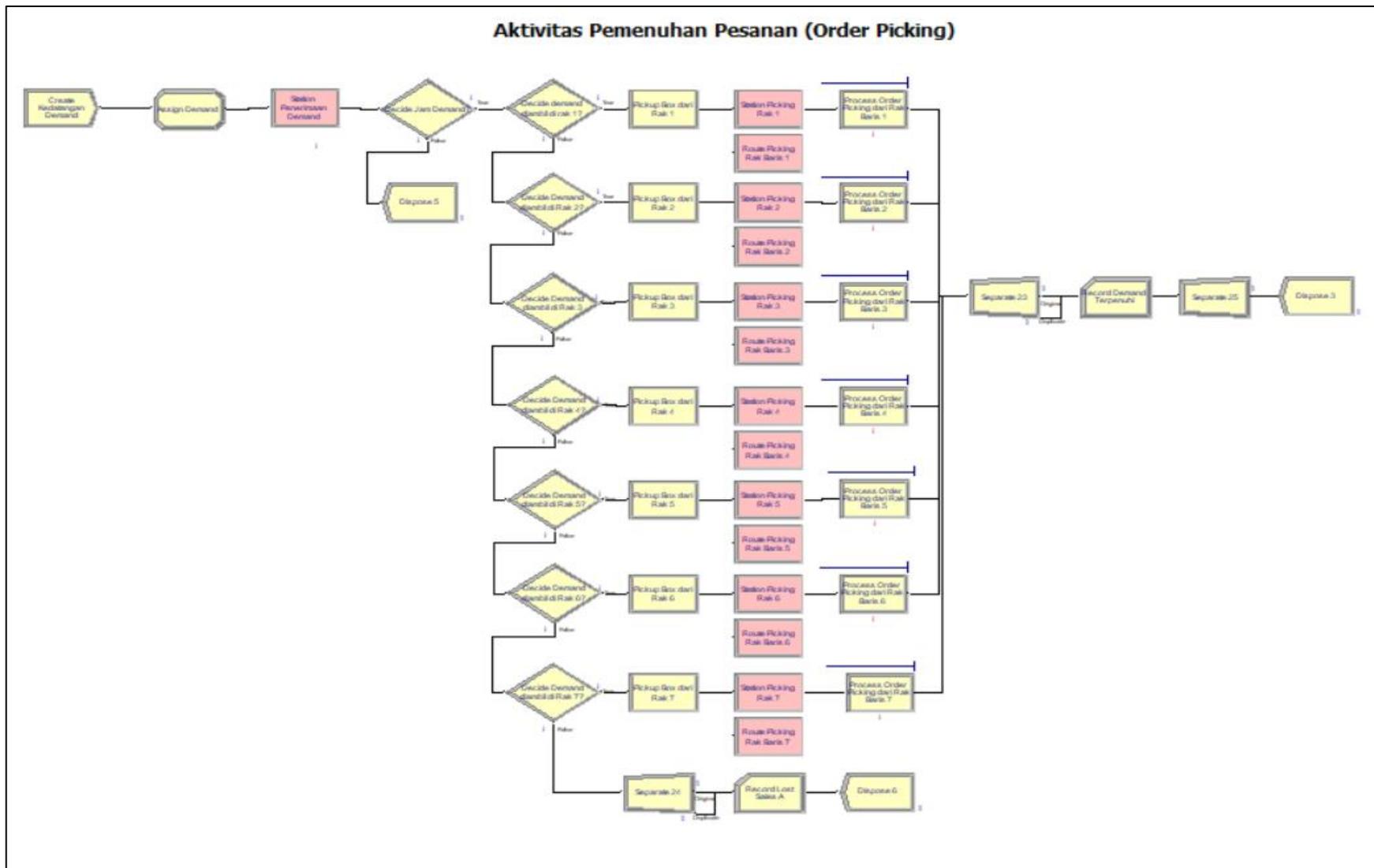
### 3. Aktivitas Pemenuhan Pesanan

Aktivitas ketiga yang digambarkan dalam simulasi ini yaitu aktivitas pemenuhan pesanan atau biasa disebut *order picking*. Pesanan tersebut datang dari unit produksi. Box-box yang sudah disimpan di dalam ruang penyimpanan (*storage area*) akan diambil kembali untuk kemudian dikirim ke unit produksi. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan dalam pembangunan sub-model ini.

- a) “Create” modul dibuat untuk membangkitkan kedatangan entitas di model simulasi. Dalam hal ini yaitu penanda kedatangan permintaan box dari unit produksi. Waktu antar kedatangan permintaan tersebut telah dipaparkan pada sub-bab sebelumnya yaitu *constant* dengan rata-rata 92 menit.
- b) “Assign” modul dibuat untuk memberikan nilai atribut kepada entitas maupun variabel untuk sistem atau entitas itu sendiri. Atribut tersebut yaitu jumlah permintaan box dari unit produksi. Jumlah tersebut konstan sebanyak 900 kemasan setiap kali ada permintaan dari unit produksi.
- c) “Station” modul digunakan sebagai gambaran pergerakan entitas dalam sistem. Dalam hal ini yaitu permintaan box dari unit produksi akan diterima oleh stasiun penerimaan *demand*.
- d) “Decide” modul digunakan untuk pengambilan keputusan apakah permintaan dari unit produksi dapat dilayani atau tidak. Tipe yang digunakan dalam modul *decide* yaitu *2-way by condition* yang artinya hanya akan ada dua keputusan yaitu *true* atau *false*. Apabila permintaan tersebut datang pada rentang *working hours* maka akan dilayani, dan tidak jika sebaliknya.
- e) “Decide” modul pada hal ini digunakan untuk pengambilan keputusan apakah permintaan box dari unit produksi akan diambil pada rak 1,2,3,4,5,6 atau 7. Keputusan ini disesuaikan dengan ketersediaan box yang ada di masing-masing rak tersebut apakah memenuhi jumlah yang diminta unit produksi.
- f) “Pickup” modul digunakan untuk mengambil sejumlah entitas berurutan dari suatu antrian, dalam hal ini yaitu box-box yang disimpan di rak-rak.
- g) “Station” modul digunakan sebagai gambaran pergerakan entitas dalam sistem. Dalam hal ini yaitu pergerakan box yang akan diambil dari rak-rak penyimpanan.
- h) “Process” modul berfungsi memodelkan aktivitas yang dikenai pada entitas dengan durasi tertentu, dalam hal ini yaitu aktivitas *order picking*. *Action* yang dipakai yaitu *seize delay release* yang berarti bahwa entitas menangkap *resource* (AGV), ditahan beberapa lama untuk digunakan lalu dilepas dalam satu proses.

Aturan pemilihan AGV yaitu *smallest number busy* yang berarti bahwa pemilihan *resource* berdasarkan *resource* mana yang tidak sibuk pada saat tersebut. Waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses penyimpanan bervariasi dan sudah diketahui hasil distribusi datanya dengan *fitting distribution* pada sub-bab sebelumnya. Aktivitas penyimpanan termasuk ke dalam *value added activity*.

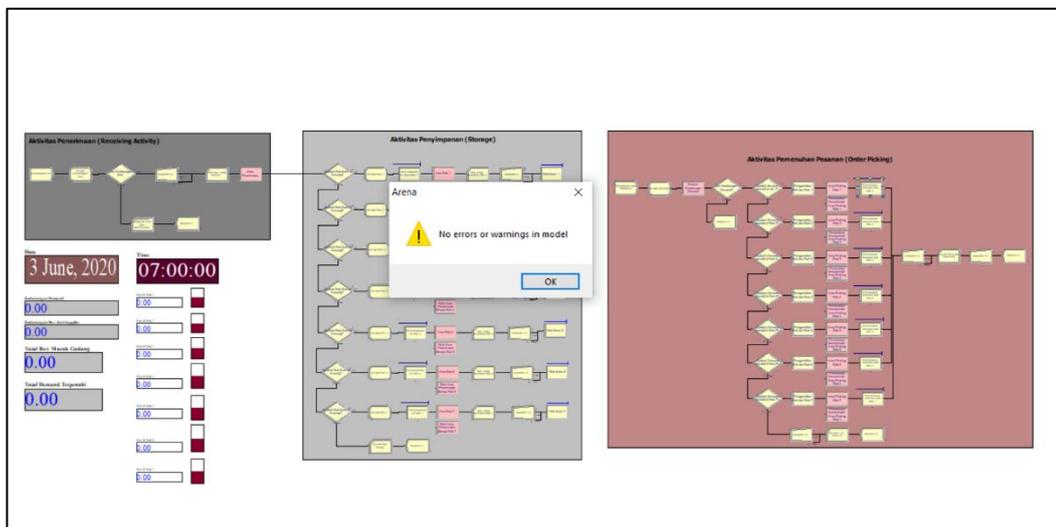
- i) “Separate” modul digunakan untuk menduplikat entitas yang melewati modul ini karena proses *picking* tadi dianggap satu *batch* pengambilan sehingga agar dapat diketahui pasti berapa *demand* yang terpenuhi maka harus dipisahkan lebih dahulu.
- j) “Record” modul digunakan untuk memunculkan data statistik pada model simulasi. Tipe data yang akan dimunculkan yaitu jumlah *demand* yang terpenuhi. Dalam hal ini yaitu merekam berapa total permintaan box dari unit produksi yang mampu dipenuhi.
- k) “Dispose” merupakan modul sebagai titik akhir dimana entitas akan keluar dari sistem setelah melalui rangkaian aktivitas sebelumnya.



Gambar 4.21 Model Simulasi Aktivitas Pemenuhan Pesanan

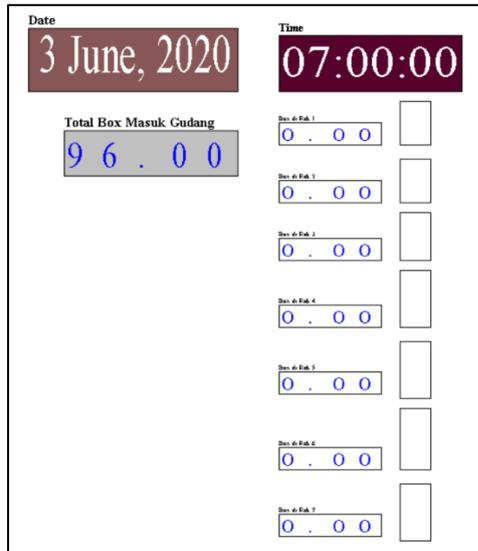
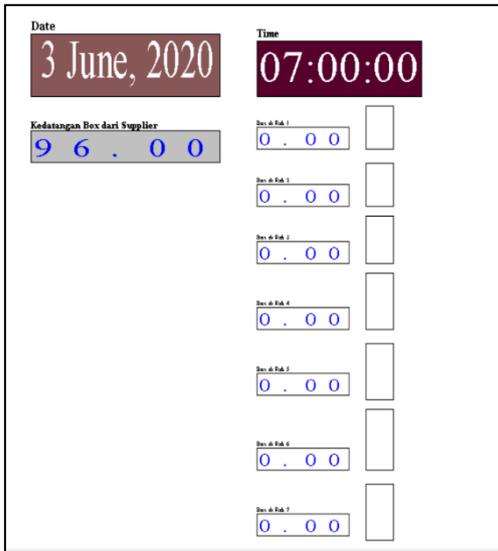
### 4.2.3. Verifikasi Model

Menurut Kelton, et al. (2006) verifikasi merupakan proses untuk mengonfirmasi apakah model simulasi yang telah dibuat benar dan sesuai yang dimaksudkan atau dalam kata lain memastikan logika model benar. Terdapat dua macam verifikasi yaitu *syntax error* dan *semantic error*. Pada *syntax error* merupakan error yang terjadi karena kesalahan penulisan atau *grammatically error*. Biasanya pada *syntax error* terjadi karena faktor ketidakteelitian yang tidak disengaja oleh pembuat model. Berikut merupakan hasil verifikasi *syntax error*.

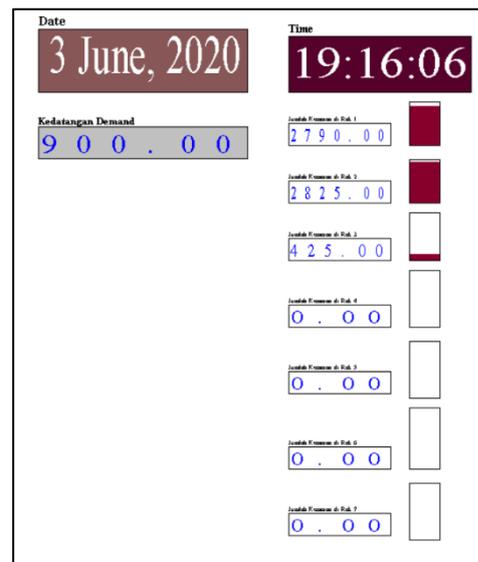
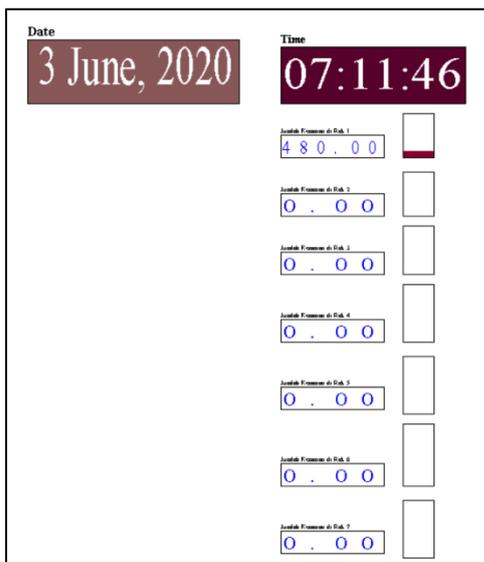


Gambar 4.22 Verifikasi *Syntax Error*

Sementara jenis verifikasi lainnya yaitu *semantic error*. Kesalahan verifikasi ini terjadi karena faktor kesalahan logika yang terjadi oleh penulis. Berikut merupakan verifikasi *semantic error* mengenai jam buka gudang dan jumlah kedatangan box dari *supplier*.



**Gambar 4.23 Verifikasi Jumlah Kedatangan Box dari Supplier dan Total Box masuk yang Gudang**



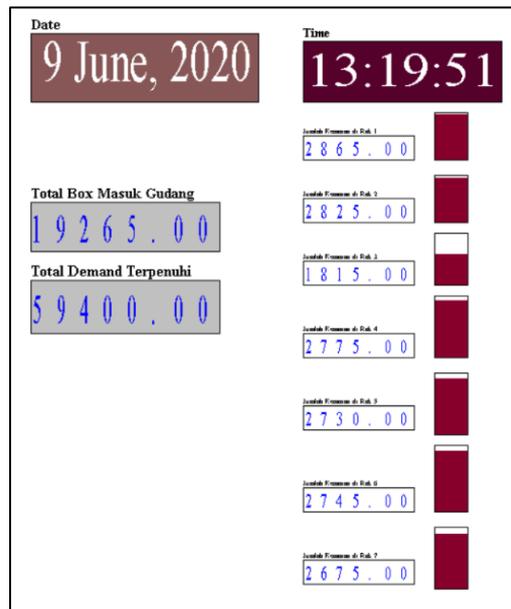
**Gambar 4.24 Verifikasi Status Rak dan Jumlah Kedatangan Demand**

Dari gambar di atas, dapat dilihat bahwa simulasi aktivitas yang di gudang *spareparts* dimulai pukul 07.00 yang mana sesuai dengan jam buka gudang *spareparts* pada kenyataannya. Kemudian, terdapat 96 box yang datang dari *supplier*, dan 96 box pula yang dikonfirmasi masuk ke dalam gudang. Artinya, logika model simulasi yang dibuat telah sesuai.

Setelah box dikonfirmasi telah masuk ke gudang, maka terjadi perubahan status pada rak. Dapat dilihat pada level rak 1, menunjukkan angka 480 kemasan.

Artinya, box tersebut telah diletakkan pada rak baris 1 dan telah dikonversi menjadi kemasan. 1 box terdiri dari 5 kemasan, maka benar jika 96 box masuk ke rak 1 sama artinya dengan 480 kemasan.

Selanjutnya, yaitu verifikasi mengenai jumlah kedatangan *demand* yaitu sebesar 900 kemasan. Dapat dilihat pada gambar di atas bahwa kedatangan *demand* yaitu 900 sehingga model simulasi dinyatakan sesuai.



**Gambar 4.25 Verifikasi Kapasitas Maksimum Rak**

Selanjutnya yaitu verifikasi mengenai kapasitas masing-masing baris rak. Kapasitas masing-masing baris rak yaitu 3000 kemasan. Pada gambar di atas, dapat dilihat bahwa masing-masing level pada rak baris 1 hingga 7 tidak melebihi 3000 kemasan. Artinya, model sudah sesuai.

#### 4.2.4. Validasi Model

Menurut Kelton, et al. (2006) validasi merupakan proses memeriksa apakah *behaviour* atau perilaku sistem yang dibuat sama dengan *real* sistem. Parameter yang digunakan sebagai bahan validasi yaitu utilitas dari AGV. Alasan penggunaan parameter ini karena utilitas merupakan salah satu indikator kunci (*key indicator*) dari evaluasi performansi gudang.

### 1. Jumlah Replikasi

Langkah pertama dari validasi yaitu menentukan jumlah replikasi yang tepat. Berdasarkan Kelton, et al. (2006) dibutuhkan replikasi sebanyak-banyaknya pada model yang disimulasikan mengingat salah satu sifat dari simulasi yaitu kerandoman. Oleh karena itu, dilakukan replikasi untuk mengakomodir hal tersebut agar memperkecil variansi *output* yang tinggi. Berikut merupakan penghitungan matematis untuk jumlah replikasi yang dibutuhkan pada simulasi model gudang *spareparts*.

**Tabel 4.8 Hasil Rekapitulasi Replikasi**

<b>Replikasi</b>	<b>Rata-Rata Utilitas pada Arena</b>
1	64,17
2	64,00
3	64,17
4	64,25
5	63,92
6	64,25
7	64,33
8	64,25
9	64,03
10	64,12
<b>Rata-rata</b>	64,15
<b>Deviasi</b>	0,13

Dari data di atas, dapat dihitung rata-rata seluruh hasil utilitas yaitu 64,15 dengan standar deviasi yaitu sebesar 0,13. Sehingga nilai *hw* (error) dapat dihitung dengan rumus berikut.

$$\text{Half width} = \frac{(T_{n-1, \alpha/2}) s}{\sqrt{n}}$$

Nilai  $T_{n-1, \alpha/2} = 2,26$  (diperoleh dari table *student's -t* atau menggunakan fungsi excel  $T.INV.2T(\text{probability}, \text{deg\_freedom})$  dengan probabilitas sebesar 0,05 dan *degree of freedom*  $(10-1=9)$ .

$$n = 10, \text{ df} = 9, s = 0,13$$

$$\text{Half width} = \frac{(2,26) 0,13}{\sqrt{10}} = 0,09$$

Pada awal simulasi, telah ditentukan nilai eror absolut atau eror yang pemodel inginkan yaitu 0,1. Kesimpulannya, jumlah replikasi dinyatakan cukup karena nilai *hw* (*half width*) lebih kecil daripada absolut eror.

## 2. Penghitungan Matematis

Langkah kedua untuk memvalidasi model simulasi yaitu membandingkan hasil penghitungan matematis dengan hasil simulasi. Berikut merupakan penghitungan utilitas secara manual.

### a) *Put Away*

Jumlah Box Datang per hari	= 2152
<i>Travel Time</i> per box	= 41 detik
<i>Processing Time</i> per box	= 15 detik

$$\begin{aligned} \text{Waktu Put Away} &= \text{Travel Time AGV} + \text{Processing Time} \\ &= 56 \text{ detik/box} \end{aligned}$$

Karena terdapat 2152 box yang mengalami proses *put away*, maka total waktu yang dibutuhkan per hari yaitu 56 detik x 2152 box = 33,48 jam.

### b) *Picking*

Jumlah pengambilan permintaan ( <i>picking</i> ) per hari	= 9900 kali
<i>Travel Time</i> per <i>picking</i>	= 41 detik
<i>Processing Time</i> per <i>picking</i>	= 9 detik

$$\begin{aligned} \text{Waktu Picking} &= \text{Travel Time AGV} + \text{Processing Time} \\ &= 50 \text{ detik/picking} \end{aligned}$$

Karena terdapat 9900 kali *picking*, maka total waktu yang dibutuhkan per hari untuk aktivitas *picking* yaitu 137,5 jam.

$$\begin{aligned} \text{c) Total waktu proses per hari} &= \text{Total waktu } \textit{put away} + \text{total} \\ &\text{waktu } \textit{picking} \\ &= 171 \text{ jam} \end{aligned}$$

Karena simulasi akan dilakukan untuk 336 hari, maka total waktu proses per hari akan dikalikan dengan 336 sehingga :

$$\begin{aligned} \text{Total waktu per tahun} &= 171 \text{ jam} \times 336 \\ &= 57.448 \text{ jam} \end{aligned}$$

d) Penghitungan Utilitas selama 336 Hari

$$\textit{Utilitas} = \frac{\text{Total Waktu Proses dalam Setahun}}{\text{Total Working Hours per Tahun} \times \text{Total AGV Eksisting}}$$

$$\textit{Utilitas} = \frac{57.448 \text{ jam}}{[(24 \text{ jam} \times 336) - (2 * 336)] \times 12 \text{ AGV}}$$

$$= 63,93\% \sim 64\%$$

Hasil penghitungan secara manual menunjukkan jika utilitas dari masing-masing AGV yaitu sebesar 63,93% yang dapat dibulatkan menjadi 64% dan pada simulasi ARENA dengan input yang sama seperti di atas menghasilkan utilitas sebesar 64,17% yang mana apabila dibulatkan menjadi 64%. Oleh karena itu, dinyatakan model simulasi valid. Berikut merupakan rekapan perbandingan antara penghitungan manual dengan hasil simulasi.

**Tabel 4.9 Penghitungan Matematis**

Penghitungan Matematis				
Put Away		Picking		
Jumlah Box Datang per Hari	2152		Jumlah Picking per Hari	9900
Travelling Time	41	Dtk	Travelling Time	41 Dtk
Put Away Time	15	Dtk	Put Away Time	9 Dtk
Process Time	56	Dtk	Process Time	50 Dtk
Total Process Time	120512	Dtk	Total Process Time	495000 Dtk
	33.4756	Jam		137.5 Jam
Total Process Time in a Day				170.98 Jam
Total Process Time in a year				57447.79 Jam
Total Working Hours				24 Jam
Total Working Hours in a year				7488 Jam
Total AGV eksisting				12
Rata-Rata Utilitas Penghitungan Manual			63.93%	
Rata-Rata Utilitas Hasil Arena			64.17%	

**Tabel 4.10 Rekap Perbandingan Output ARENA dengan Penghitungan Matematis**

Replika si	Total Box Terlayani	Total Picking	Rata-Rata Utilitas pada Arena	Rata-Rata Utilitas Penghitungan Manual
1	2152	9900	64.17	63.93
2	2151	9900	64.00	64.36
3	2149	9900	64.17	64.35
4	2152	9900	64.25	64.37
5	2152	9900	63.92	64.37
6	2122	9900	64.25	64.21
7	2157	9900	64.33	64.39
8	2154	9900	64.25	64.00
9	2159	9900	64.03	63.97
10	2149	9900	64.12	63.92

### 3. T-Test

Fungsi dari T-Test yaitu untuk memeriksa apakah variansi dari dua sampel memiliki perbedaan signifikan atau tidak (Groebner et al.,2011). Hipotesis null yaitu tidak terdapat perbedaan signifikan antara kedua sampel sedangkan hipotesis alternatif yaitu terdapat perbedaan signifikan antara kedua sampel. T-Test dilakukan menggunakan fitur *Data Analysis* dari *Microsoft Excel*.

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2$$

t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

	<i>Rata-Rata Utilitas Model Simulasi</i>	<i>Rata-Rata Utilitas Real Sistem</i>
Mean	64.14833333	64.2309213
Variance	0.017375926	0.037037778
Observations	10	10
Hypothesized	Mean	
Difference	0	
df	16	
t Stat	-1.119599281	
P(T<=t) one-tail	0.139705414	
t Critical one-tail	1.745883676	
P(T<=t) two-tail	0.279410829	
t Critical two-tail	2.119905299	

**Gambar 4.26 Hasil T-Test Two-Sample Assuming Equal**

Dari tabel di atas, diketahui bahwa nilai t-stat yaitu sebesar -1.119599 yang berada pada range positif dan negatif dari t *critical two tail*  $(-2.1199) < t \text{ Stat} < (2.1199)$ . Sehingga, hipotesis null diterima dan kesimpulannya yaitu tidak terdapat perbedaan signifikan antara kedua sampel.

## **BAB 5**

### **SKENARIO PERBAIKAN DAN ANALISIS**

Pada bab ini akan dilakukan analisis kondisi eksisting, penyusunan skenario perbaikan, serta analisa dari masing-masing skenario perbaikan beserta pengaruhnya terhadap kondisi sistem.

#### **5.1. Analisa Kondisi Eksisting**

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai analisis kondisi sistem pada gudang *spareparts* saat ini. Terdapat 12 buah robot AGV yang dijalankan sebagai *material handling* pada gudang. AGV tersebut ditugaskan untuk aktivitas *put away* dan *picking*. Strategi pengiriman AGV (*AGV Dispatching Strategy*) pada kondisi eksisting yaitu *undedicated*. Artinya, 12 AGV tersebut bebas bergerak dan tidak ada aturan bahwa AGV tertentu hanya boleh melayani pengangkutan box untuk aktivitas *put away* saja atau *picking* saja. AGV dapat digunakan kapan saja dan untuk aktivitas apa saja sesuai kebutuhan.

Dilakukan simulasi untuk kondisi eksisting menggunakan *software* ARENA sebanyak 10 kali replikasi dan satu tahun operasi gudang yang terdiri dari 336 hari (360 hari dalam setahun dikurangi dengan 24 hari libur nasional). Indikator yang digunakan untuk menilai sistem yaitu rata-rata utilitas AGV, jumlah box terlayani tiap bulannya, dan rata-rata *waiting time* selama sebulan. Utilitas merupakan tingkat kegunaan AGV atau seberapa lama AGV digunakan (*busy*) dibanding total waktu yang tersedia. Jumlah box terlayani merupakan total box yang terlayani pada proses *put away* ditambah total box yang terlayani pada proses *picking*. Sedangkan *waiting time* diartikan sebagai waktu tunggu yang dibutuhkan box untuk mendapat pelayanan dari AGV. Satuan waktu dari *waiting time* yaitu jam. Berikut merupakan tabel rekapitulasi dari indikator-indikator tersebut pada kondisi eksisting sistem.

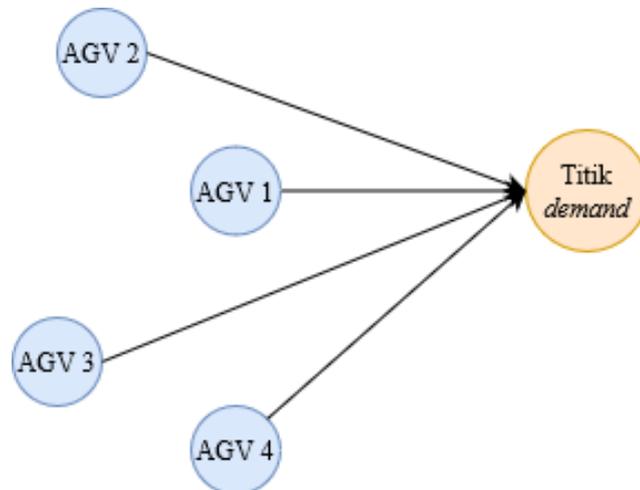
**Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil Simulasi Kondisi Eksisting**

<b>Replikasi</b>	<b>Rata-Rata Utilitas pada Arena</b>	<b>Jumlah Box Terlayani/Bulan</b>	<b>Rata-rata Waiting Time</b>
1	64,17%	361.572	5,14
2	64,00%	361.540	5,47
3	64,17%	361.483	3,24
4	64,25%	361.571	4,03
5	63,92%	361.569	3,63
6	64,25%	356.174	4,96
7	64,33%	361.696	5,53
8	64,25%	362.523	2,97
9	64,03%	361.540	5,39
10	64,12%	361.545	4,39
<b>Rata-rata</b>	64,15%	361.121	4,48

Berdasarkan rekapitulasi di atas dengan 10 kali replikasi, rata-rata utilitas AGV yaitu sebesar 64,15%. AGV dapat melayani box rata-rata 361.121 buah untuk aktivitas *put away* maupun *picking* selama satu bulan. Sehingga dalam sehari AGV melayani sebanyak 12.034 box dengan rata-rata waktu tunggu sebesar 4,48 jam per bulan atau setara dengan 8,96 menit tiap harinya. Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa makin sedikit box yang dapat dilayani maka tidak menjamin bahwa rata-rata *waiting time* akan makin kecil pula. Contohnya yaitu pada replikasi ke delapan, jumlah box yang terlayani justru paling banyak diantara replikasi lainnya yaitu sebesar 362.523 buah namun menghasilkan rata-rata *waiting time* paling kecil yaitu 2,97 jam. Berbeda dengan replikasi ke tujuh yang menunjukkan bahwa jumlah box terlayani yaitu sebesar 361.696 buah dengan rata-rata *waiting time* yang justru paling besar yaitu 5,53 jam. Padahal, jumlah box tersebut lebih sedikit jika dibandingkan dengan replikasi ke delapan. Kondisi ini mungkin terjadi karena strategi pengiriman AGV (*dispatching strategy*) pada kondisi eksisting bersifat *undedicated*, sehingga pergerakan AGV yang bebas tersebut memungkinkan terjadinya *deadlock* atau *traffic jam*. *Deadlock* atau *traffic jam* yaitu kondisi dimana dua buah AGV atau lebih saling bertemu pada *path* atau lintasan yang sama, atau bertemu pada persimpangan lintasan sehingga AGV tersebut tidak dapat bergerak. *Traffic control policy* dapat diimplementasikan untuk memastikan AGV dapat berjalan lancar dan kondisi *deadlock* tidak terjadi.

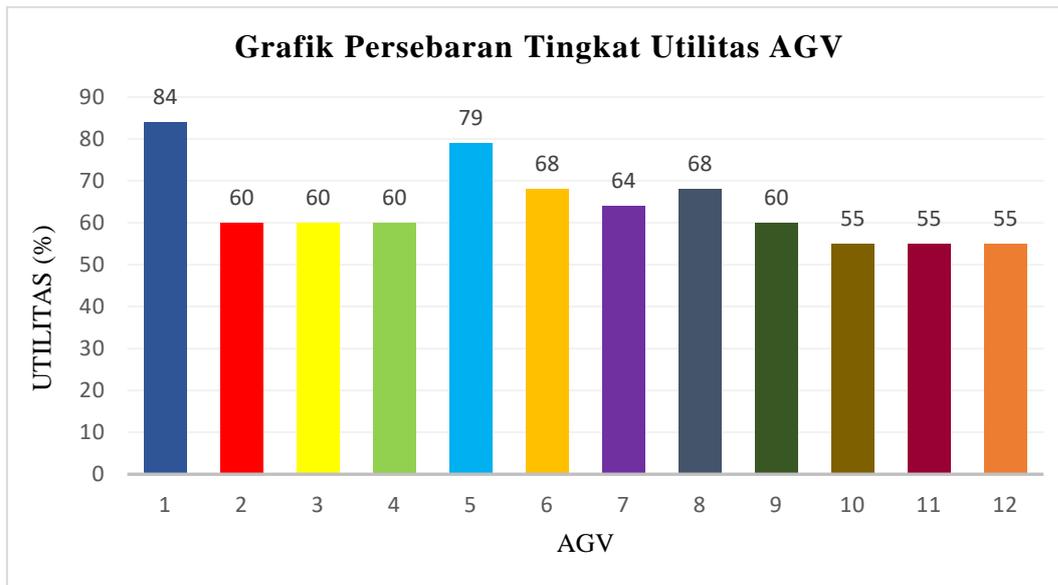
*Traffic policy* tersebut dapat berupa pengaturan zona, pembatasan *resource*, dan lain sebagainya. Namun, pada penelitian ini tidak mempertimbangkan *traffic control policy*. Sehingga kondisi *deadlock* ini tidak dapat diperkirakan dan bisa terjadi kapan saja.

Selanjutnya yaitu terkait *AGV selection rules* pada model ARENA yang digunakan yaitu berjenis *smallest number distance*. Pemilihan *rules* tersebut karena AGV ditugaskan berdasarkan kedekatan jarak dengan stasiun atau rak tertentu yang akan dijemput. Misalnya pada gambar di bawah ini, AGV 1 akan dipilih karena lokasinya pada saat itu lebih dekat dengan titik *demand* yang harus diambil. Berikut merupakan ilustrasi dari penjelasan terkait *AGV selection rule*.



**Gambar 5.1 Ilustrasi Pemilihan AGV Kondisi Eksisting**

Berdasarkan aturan pemilihan tersebut, hasil simulasi menghasilkan tingkat utilitas yang berbeda-beda pada tiap AGV. Berikut merupakan grafik yang menggambarkan persebaran tingkat utilitas 12 AGV pada replikasi ke dua dengan rata-rata 64%.



Gambar 5.2 Grafik Persebaran Tingkat Utilitas AGV pada Kondisi Eksisting

## 5.2. Perancangan Skenario Perbaikan

Pada subbab ini, akan dilakukan perancangan skenario untuk perbaikan sistem eksisting gudang *spareparts* PT. X. Tujuan dari perancangan skenario ini yaitu menentukan jumlah optimum AGV dengan memperhatikan tiga indikator yaitu rata-rata utilitas AGV, total box terlayani, serta rata-rata *waiting time*. Terdapat dua variabel yang akan digunakan untuk merancang skenario yaitu jumlah AGV dan aturan pemilihan AGV (*AGV selection rules*). Aturan pemilihan AGV yang akan digunakan pada penyusunan skenario yaitu:

1. *Smallest Number Busy* : Digunakan Ketika jumlah resources lebih dari satu. AGV akan digunakan berdasarkan tingkat availabilitas. Misal, ketika AGV 1 telah digunakan selama 10 jam sedangkan AGV 2 telah digunakan selama lima jam, maka AGV 2 akan dipilih karena tingkat kesibukannya lebih rendah.
2. *Random* : Akan secara *random* memilih AGV asalkan AGV tersebut *available*.
3. *Cyclical* : Akan memilih AGV yang *available* berdasarkan siklus. Misal 1-2-3-1-2-3.

### 5.2.1. Eksperimentasi Jumlah dan Selection Rules AGV

Pada subbab ini akan dilakukan eksperimen jumlah AGV dan dilihat bagaimana pengaruhnya terhadap rata-rata utilitas AGV, total box yang mampu dilayani, rata-rata waktu tunggu untuk tiap box, serta *lost sales* atau jumlah *demand* unit produksi yang tidak mampu dipenuhi.

#### 1. Jumlah AGV 10

Pada eksperimentasi ini, dilakukan pengurangan jumlah AGV dari 12 menjadi 10. Selain itu, akan diterapkan pula *selection rules* yang berbeda-beda dan akan dilihat respon dari penetapan kebijakan masing-masing aturan tersebut terhadap sistem. Tidak dilakukan perubahan lainnya dalam sistem termasuk strategi *dispatching* masih bersifat *undedicated*. Berikut merupakan tabel yang akan menunjukkan pengaruh dari penetapan 10 AGV dan kebijakan pemilihan AGV yang berbeda-beda.

**Tabel 5.2 Rekap Hasil Simulasi 10 AGV**

<b>Jumlah AGV</b>	<b>Selection Rule</b>	<b>Utilitas</b>	<b>Jumlah Box Terlayani/Bulan</b>	<b>Rata-rata Waiting Time (Jam)</b>
10	Smallest Number Busy	76%	361.450	4,67
	Random	76%	360.982	4,26
	Cyclical	76%	361.445	4,43

Dapat dilihat pada tabel tersebut, bahwa semua *selection rules* tidak membawa pengaruh pada utilitas AGV karena memberikan nilai utilitas yang sama yaitu 76%. Namun membawa pengaruh pada perbedaan jumlah box yang mampu terlayani dan rata-rata *waiting time*. Pada jenis *selection rules smallest number busy*, jumlah box yang terlayani paling banyak diantara ketiganya yaitu sebesar 361.450 box per bulannya dengan rata-rata *waiting time* yang paling tinggi pula diantara ketiganya yaitu 4,67 jam per bulan. Sedangkan untuk *random selection*, jumlah box yang terlayani paling sedikit diantara ketiganya yaitu sebesar 360.982 dengan rata-rata *waiting time* juga paling kecil yaitu 4,26 jam dan jumlah *lost*

*sales* paling banyak yaitu 1671 box. Sedangkan untuk *cyclical selection*, jumlah box yang terlayani yaitu sebesar 361.445 box dengan rata-rata *waiting time* per bulannya sebesar 4,43 jam dan jumlah *demand* yang tidak mampu dipenuhi sebesar 1.028 box.

Pada kasus ini, dapat disimpulkan bahwa makin banyak jumlah box yang dilayani oleh AGV maka makin besar pula rata-rata *waiting time* untuk tiap boxnya. Perbedaan jumlah box yang terlayani terjadi karena kondisi rak penyimpanan pada saat tertentu bisa saja penuh, sehingga box yang telah menunggu untuk disimpan, tidak dapat disimpan pada saat itu dan berakhir diletakkan di ruang tunggu saja. Asumsi yang digunakan dalam penelitian ini yaitu ketika rak penuh, maka box tidak dapat dilanjutkan ke proses penyimpanan dan harus keluar dari sistem.

Terdapat perbedaan tingkat utilitas yaitu sebesar 11,83% jika dibandingkan dengan sistem eksisting yang rata-rata utilitasnya yaitu sebesar 64,17%. Dan rata-rata *waiting time* per bulan pada saat diterapkan 10 AGV menghasilkan waktu 0,08 jam lebih lama dibandingkan penerapan 12 AGV atau setara dengan 4,8 menit lebih lama.

## 2. Jumlah AGV 9

Pada eksperimentasi ini, dilakukan pengurangan jumlah AGV dari 10 menjadi 9 dan diterapkan tiga *selection rules* yang berbeda sama seperti eksperimen sebelumnya yaitu *smallest number busy*, *random*, dan *cyclical*. Strategi *dispatching* masih sama yaitu *undedicated strategy*. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan respon dari penetapan Sembilan AGV dan pengaruh dari kebijakan masing-masing aturan pemilihan AGV (*selection rules*) terhadap sistem.

**Tabel 5.3 Rekap Hasil Simulasi 9 AGV**

Jumlah AGV	Selection Rule	Utilitas	Jumlah Box Terlayani	Rata-rata Waiting Time
9	Smallest Number Busy	82%	361.767	5,07
	Random	82%	361.767	5,07
	Cyclical	82%	361.767	5,07

Dapat dilihat pada tabel di atas bahwa masing-masing aturan pemilihan (*selection rules*) tidak memberikan perbedaan utilitas yang dihasilkan karena sama nilainya yaitu sebesar 82%. Terjadi kenaikan utilitas sebesar 6% dari eksperimen sebelumnya yang diterapkan 10 AGV. Lalu untuk jumlah box yang terlayani, ketiganya menghasilkan jumlah yang sama yaitu sebesar 361.767 box per bulannya dengan rata-rata *waiting time* yang sama juga yaitu sebesar 5,07 jam per bulannya. Hal ini mungkin saja terjadi, karena jumlah box yang masuk ke gudang tiap harinya memiliki pola distribusi tertentu dan ARENA dalam memproses data tersebut bersifat *random*. Sehingga kemungkinan besar ketika melakukan *running* untuk jenis *selection rules smallest number busy*, data yang digunakan ARENA sama atau berbeda dengan ketika melakukan *running* pada *random selection* dan *cyclical selection*. Oleh karena itu, dapat menghasilkan *output* yang sama ataupun beda. Rata-rata *waiting time* yang dihasilkan memiliki selisih 0,62 jam lebih lama atau setara dengan 37,2 menit lebih lama dari eksperimen sebelumnya yang menerapkan 10 AGV.

### 3. Jumlah AGV 8

Pada eksperimentasi ini, dilakukan pengurangan jumlah AGV dari 9 menjadi 8 dan diterapkan tiga *selection rules* yang berbeda sama seperti eksperimen sebelumnya yaitu *smallest number busy*, *random*, dan *cyclical*. Strategi *dispatching* masih sama yaitu *undedicated strategy*. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan respon dari penetapan delapan AGV dan pengaruh dari kebijakan masing-masing aturan pemilihan AGV (*selection rules*) terhadap sistem.

**Tabel 5.4 Rekap Hasil Simulasi 8 AGV**

<b>Jumlah AGV</b>	<b>Selection Rule</b>	<b>Utilitas</b>	<b>Jumlah Box Terlayani</b>	<b>Rata-rata Waiting Time</b>
8	Smallest Number Busy	92%	361.153	6,51
	Random	92%	360.732	6,02
	Cyclical	92%	361.153	6,51

Berdasarkan tabel di atas, ketiga *selection rules* memberikan nilai utilitas yang sama yaitu sebesar 92% atau terjadi kenaikan utilitas sebesar 10% dari eksperimen sebelumnya ketika diterapkan 9 AGV. Pada jenis *selection rules smallest number busy* dan *cyclical* keduanya menghasilkan nilai yang sama pada jumlah box terlayani yaitu sebesar 361.153 box per bulan dan rata-rata *waiting time* juga sama sebesar 6,51 jam per bulannya. Kemudian untuk jenis *random*, jumlah box yang terlayani yaitu sebanyak 360.732 box per bulannya dengan rata-rata *waiting time* 6,02 jam per bulan. Kesimpulan yang dapat diambil masih sama seperti eksperimen sebelumnya bahwa makin banyak jumlah box yang terlayani maka makin lama waktu tungguanya. Kemudian untuk rata-rata *waiting time* per bulannya, terdapat selisih 1,28 jam lebih lama dari penerapan 9 AGV.

#### 4. Jumlah AGV 7

Pada eksperimentasi ini, dilakukan pengurangan jumlah AGV dari 8 menjadi 7 dan diterapkan tiga *selection rules* yang berbeda sama seperti eksperimen sebelumnya yaitu *smallest number busy*, *random*, dan *cyclical*. Strategi *dispatching* masih sama yaitu *undedicated strategy*. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan respon dari penetapan delapan AGV dan pengaruh dari kebijakan masing-masing aturan pemilihan AGV (*selection rules*) terhadap sistem.

**Tabel 5.5 Rekap Hasil Simulasi 7 AGV**

<b>Jumlah AGV</b>	<b>Selection Rule</b>	<b>Utilitas</b>	<b>Jumlah Box Terlayani</b>	<b>Rata-rata Waiting Time</b>
7	Smallest Number Busy	100%	361.100	13,67
	Random	100%	362.798	16,23
	Cyclical	100%	361.100	13,67

Berdasarkan tabel di atas, dapat dilihat bahwa ketiga jenis *selection rules* memberikan nilai utilitas yang sama yaitu sebesar 100%. Terjadi kenaikan nilai utilitas sebesar 8% dari nilai utilitas pada eksperimen sebelumnya yang menerapkan delapan AGV. Namun, kenaikan tingkat

utilitas ini tentu berdampak pada rata-rata kenaikan *waiting time* per bulannya sebesar 14,52 jam.

Berdasarkan tabel tersebut, jenis *selection smallest number busy* dan *cyclical* menghasilkan jumlah box terlayani bernilai sama yaitu sebesar 361.100 box per bulannya, dengan rata-rata *waiting time* yang sama juga sebesar 13,67 jam per bulan. Sedangkan untuk *random selection*, jumlah box yang terlayani paling banyak diantara ketiganya yaitu sebesar 362.798 box per bulan dengan rata-rata *waiting time* yang justru lebih kecil yaitu sebesar 16,23 jam per bulan.

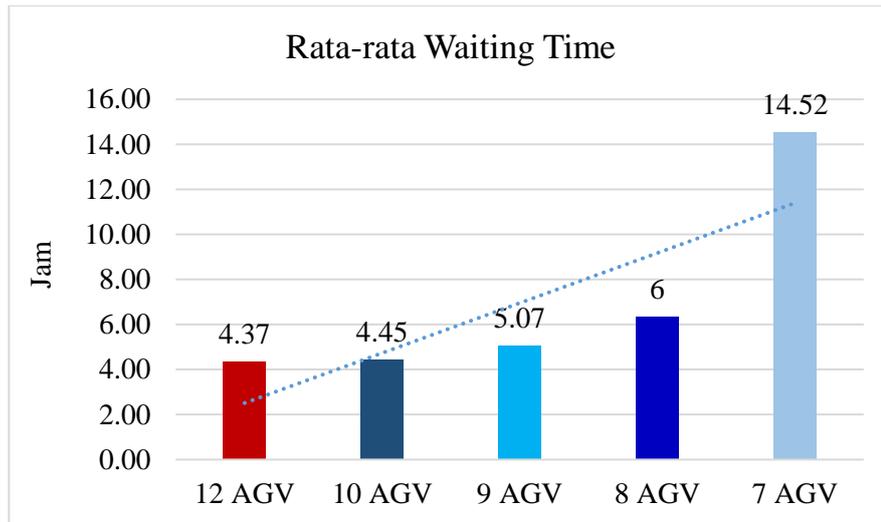
### **5.3. Analisa Hasil Keseluruhan**

Pada subbab ini akan dipaparkan analisa keseluruhan antara sistem pada kondisi eksisting dan hasil skenario.

Terdapat beberapa faktor yang mempengaruhi performansi dari operasi gudang diantaranya adalah *dispatching strategy*, jenis *layout*, *routing strategy*, dan jumlah AGV. *Dispatching strategy* yaitu terkait sistem pemilihan AGV untuk ditugaskan, baik itu *dedicated* yang hanya mampu melayani satu tugas saja (*single task*) maupun *undedicated* yang mampu melayani lebih dari satu tugas (*multi task*).

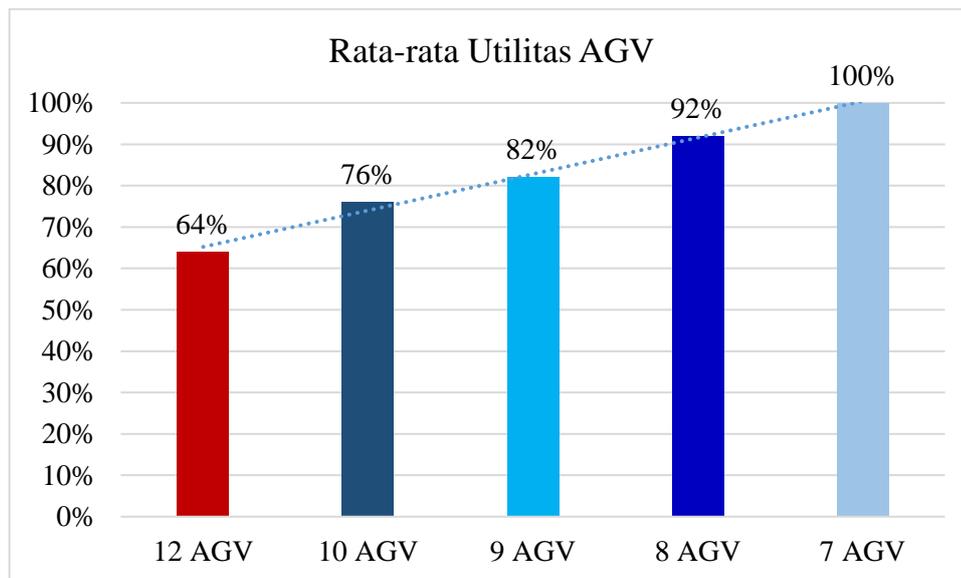
Selanjutnya, terkait *layout* dari gudang juga berpengaruh terhadap performansi gudang. PT. X memiliki jenis *bidirectional layout*. Jenis layout tersebut terbukti meningkatkan performansi gudang dengan mengurangi *travel distance* dari AGV karena memungkinkan untuk menempuh *shortcuts* atau jalan pintas (jarak terdekat). Namun, keuntungan tersebut memiliki resiko besar juga akibat kemungkinan terjadinya pertemuan dua atau lebih AGV pada lintasan yang sama (Hsueh,2010). Pertemuan tersebut dikenal sebagai *deadlock* atau *traffic jam*. Kejadian *deadlock* bersifat *uncertain*, tidak dapat diprediksi waktunya. Hal tersebut yang menyebabkan ketidakpastian pula pada rata-rata *waiting time* yang dibutuhkan tiap box untuk dilayani. Berdasarkan perancangan skenario pada subbab sebelumnya, makin banyak jumlah box yang terlayani belum tentu menghasilkan rata-rata *waiting time* yang makin besar begitu pula makin sedikit jumlah box yang terlayani belum tentu menghasilkan rata-rata *waiting time* yang

makin kecil. Namun, hal yang dapat dipastikan yaitu makin banyak jumlah AGV maka *waiting time* tiap box dalam mendapat pelayanan makin kecil karena *resource* yang dikerahkan untuk menangani box makin banyak. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan rekap perbandingan *waiting time* yang dihasilkan dari penerapan jumlah AGV yang berbeda-beda.



**Gambar 5.3 Rata-rata *Waiting Time***

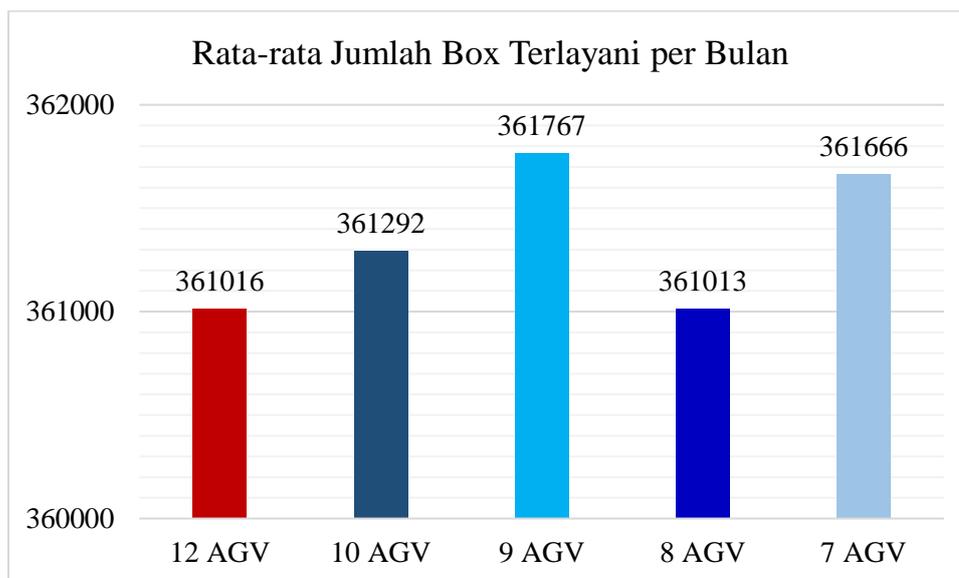
Grafik warna merah menunjukkan sistem eksisting yang menerapkan 12 AGV. Penerapan AGV dengan jumlah tersebut menghasilkan *waiting time* 4,37 jam per bulan. Dapat dilihat juga bahwa garis kecenderungan (*trendline*) untuk *waiting time* naik dari kiri ke kanan. Perbedaan yang sangat tajam terjadi pada saat penerapan 7 AGV yang mana nilai *waiting time* mencapai angka 14,52 jam. Hanya dilakukan pengurangan 1 AGV saja dari skenario sebelumnya, namun menghasilkan *waiting time* hampir 2,5 kali lipat lebih lama. Artinya, skenario penerapan 7 AGV tidak akan dipilih dalam penelitian ini karena menghasilkan *waiting time* tertinggi yang dapat menyebabkan lambatnya laju perputaran barang (*turnover*) di dalam gudang sehingga akan berakibat pula pada turunnya *service level* gudang.



**Gambar 5.4 Rata-rata Utilitas AGV**

Selanjutnya yaitu terkait rata-rata utilitas yang dihasilkan dari masing-masing kebijakan penerapan jumlah AGV. Dapat dilihat pada grafik di bawah ini bahwa kecenderungan grafik (*trendline*) naik dari kiri ke kanan. Artinya, makin sedikit jumlah AGV yang diterapkan, makin tinggi tingkat utilitasnya. Skenario penerapan tujuh AGV memberikan nilai utilitas 100%. Namun dalam perspektif manufaktur, utilitas 100% tidak mencerminkan bahwa suatu sistem memiliki performansi yang baik. Utilitas 100% justru menyebabkan lamanya *waiting time* dan turunnya *service level* (Mcgraw Hill, 2001). Apabila ditinjau lebih jauh lagi, lamanya *waiting time* menimbulkan rendahnya laju perputaran (*turnover*) dalam gudang sehingga akan menyebabkan penumpukan *inventory* pada gudang. Hal tersebut tentu berkaitan dengan peningkatan *operational cost* yang dikeluarkan pihak gudang. Berdasarkan Tom DeMarco dalam bukunya pada tahun 2001, *waiting times start to skyrocket after 80% utilization or so*, artinya yaitu waktu tunggu yang dihasilkan akan meningkat tajam jika utilitas di atas 80% di terapkan. Hal tersebut terbukti seperti yang dapat dilihat pada grafik di atas, bahwa penerapan utilitas 100% meningkatkan *waiting time* 2,5 kali lipat lebih besar dari pada penerapan utilitas 92%. Oleh karena itu, skenario penerapan tujuh AGV tidak dipilih karena beberapa hal tersebut.

Pihak manajemen gudang *spareparts* PT. X memiliki target utilitas sebesar 90%. Berdasarkan grafik di bawah, skenario penerapan delapan AGV memberikan nilai 92% utilisasi. Nilai tersebut memenuhi target, dan apabila ditinjau dari segi *waiting time* yang dihasilkan masih dalam *range* enam jam per bulannya, dan nilai tersebut dapat diterima perusahaan. Sehingga, skenario yang disarankan yaitu penerapan 8 AGV. Selanjutnya yaitu terkait jumlah box yang terlayani per bulannya. Variabel ini tidak terlalu dipertimbangkan dalam pengambilan keputusan terkait berapa jumlah AGV yang optimal diimplementasikan. Namun, variabel ini menjadi data pendukung serta bahan verifikasi pada perusahaan. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan dampak dari penerapan jumlah AGV yang berbeda-beda terhadap total box yang mampu dilayani sistem.



**Gambar 5.5 Rata-rata Jumlah Box Terlayani per Bulan**

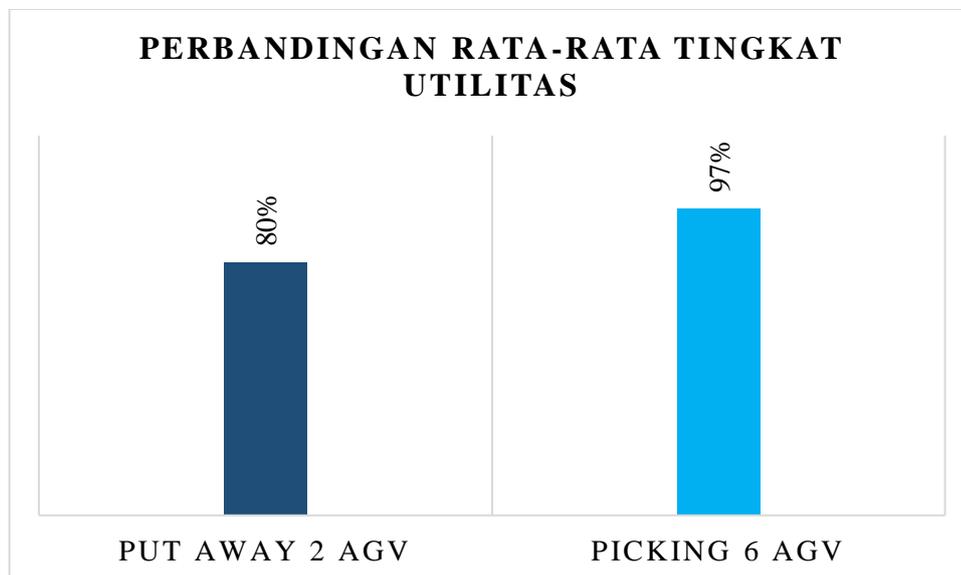
Untuk jumlah box yang terlayani tidak bisa menggunakan *trendline*, karena data box yang masuk ke gudang (*inbound*) memiliki distribusi data sehingga menyebabkan ketidakpastian. Oleh karena itu, makin banyak AGV tidak menjamin makin banyak box yang terlayani. Total box terlayani per bulannya yaitu antara 360.732 hingga 362.797 box dan pada skenario penerapan delapan AGV memenuhi *range* angka tersebut sehingga keputusan penerapan delapan AGV tetap dapat diterima.

#### 5.4. Keputusan Skenario Terbaik

Pada subbab ini, akan dijelaskan mengenai hasil keputusan skenario terbaik. Berdasarkan penjelasan pada subbab sebelumnya, telah disimpulkan bahwa skenario penerapan delapan AGV merupakan skenario terbaik apabila ditinjau dari rata-rata *waiting time*, rata-rata utilitas, dan jumlah box terlayani tiap bulannya. Pada subbab ini, akan dilakukan perubahan AGV *dispatching strategy* yang semula *undedicated* menjadi *dedicated*. Hal ini dilakukan untuk memberikan alternatif pilihan dan dampaknya masing-masing jenis strategi terhadap sistem di gudang.

Tabel 5.6 Hasil Simulasi 8 AGV dengan *Strategi Dedicated*

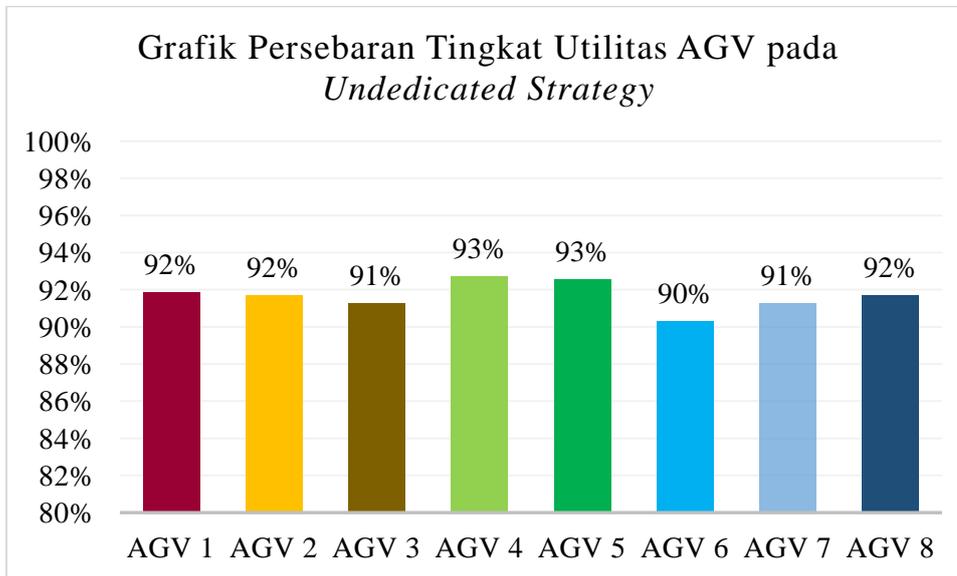
Jumlah AGV	<i>Dedicated Strategy</i>	
	<i>Put Away</i>	<i>Picking</i>
8	2	6
Rata-Rata Utilitas	80%	97%



Gambar 5.6 Perbandingan Tingkat Utilitas *Strategi Dedicated*

Berdasarkan grafik di atas, pengalokasian dua buah AGV untuk aktivitas *put away* menghasilkan rata-rata tingkat utilitas sebesar 80% dan pengalokasian enam buah AGV untuk aktivitas *picking* menghasilkan rata-rata utilitas sebesar

97%. Sedangkan di bawah ini akan ditunjukkan sebaran tingkat utilitas masing-masing AGV apabila tetap mempertahankan strategi *undedicated*.



**Gambar 5.7 Grafik Persebaran Tingkat Utilitas AGV pada Strategi Undedicated**

Dari kedua grafik tersebut dapat dilihat bahwa *dedicated strategy* menghasilkan tingkat utilitas yang tidak seragam pada AGV nya sedangkan *undedicated strategy* menghasilkan persebaran tingkat utilitas yang lebih merata. Untuk keputusan terkait AGV *dispatching strategy* penulis menyarankan untuk tetap mempertahankan strategi yang saat ini diterapkan gudang *spareparts* PT.X yaitu *undedicated strategy*.

### 5.5. Analisa Sensitivitas

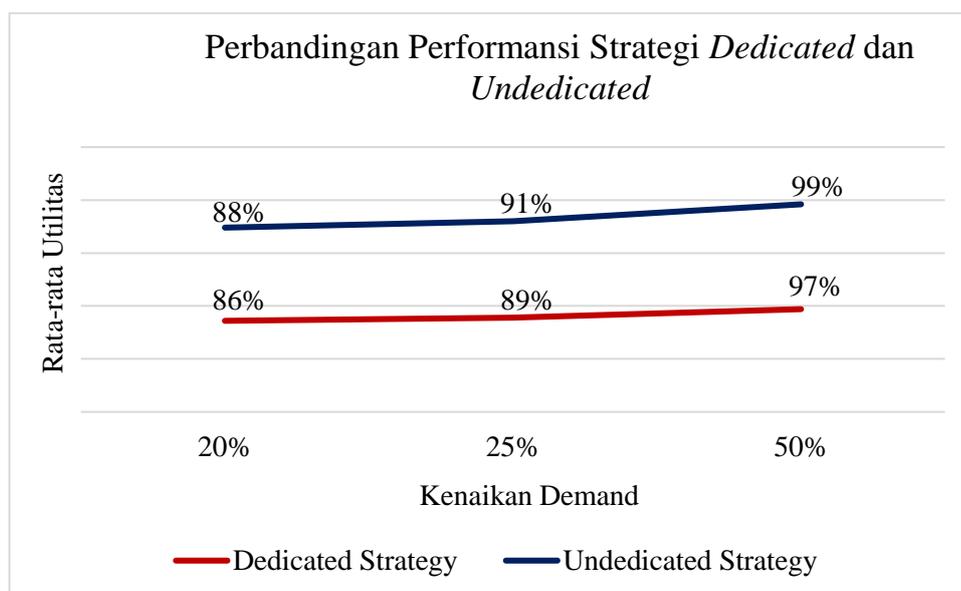
Pada subbab ini akan dilakukan analisa sensitivitas yang bertujuan untuk mengetahui akibat dari perubahan parameter sistem terhadap perubahan kinerja sistem. Dengan melakukan analisa sensitivitas, perusahaan mampu mengantisipasi perubahan-perubahan yang mungkin terjadi. Parameter yang akan diubah yaitu kenaikan *demand* sebesar 20%, 25%, dan 50%. Angka tersebut didapat dari kemungkinan-kemungkinan yang masih relevan dengan kemampuan perusahaan dalam mengakomodasi kenaikan permintaan. PT. X memiliki keterbatasan *space* pada gudang *spareparts* yang mereka miliki, sehingga terjadinya kenaikan

*demand* sebesar lebih dari 50% berarti mengharuskan perusahaan untuk mampu menyimpan *supply* yang ditingkatkan pula sebanding dengan kenaikan *demand*. Berikut merupakan tabel yang menunjukkan bagaimana dampak kenaikan *demand* terhadap jumlah kebutuhan AGV.

**Tabel 5.7 Analisa Sensitivitas**

Jumlah AGV	Kenaikan Demand	Dedicated		Undedicated	
		Rata-Rata Utilitas	Rata-rata Waiting Time	Rata-rata Utilitas	Rata-rata Waiting Time
10	20%	86%	4,65	88%	4,78
	25%	89%	6,14	91%	6,36
	50%	97%	17,96	99%	14,46

Dapat dilihat pada tabel di atas, bahwa kenaikan *demand* hingga 50% masih mampu diakomodasi dengan penambahan dua AGV dari sebelumnya yang berjumlah delapan. Ditampilkan juga perbedaan penerapan *dispatching strategy* dan dampaknya terhadap tingkat utilitas dan *waiting time* box dalam mendapat pelayanan dari AGV. Strategi *dedicated* memberikan nilai utilitas yang lebih tinggi dibandingkan dengan *undedicated*. Namun perbedaan tersebut tidak signifikan. Berikut merupakan grafik yang menunjukkan perbedaan performansi antara strategi *dedicated* dan *undedicated* terhadap nilai utilitas.

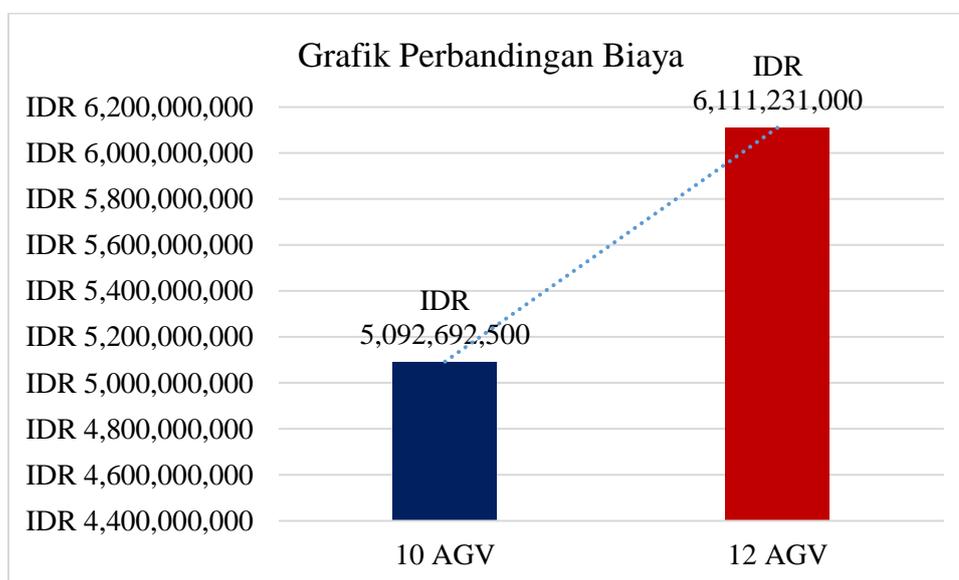


**Gambar 5.8 Grafik Perbandingan Performansi Strategi *Dedicated* dan *Undedicated***

Dapat diambil kesimpulan bahwa penerapan 10 AGV pada gudang *spareparts* PT. X merupakan skenario terbaik yang direkomendasikan penulis. Delapan buah AGV dapat dioperasikan sehari-hari dan dua buah AGV sebagai *spare* AGV yang dapat digunakan ketika terjadi kenaikan *demand*. Kemudian terkait strategi *dispatching* yang dapat digunakan, penulis tetap merekomendasikan untuk mempertahankan strategi *undedicated* karena dari segi utilitas memberikan nilai utilitas yang seragam pada tiap AGV.

### 5.6. Analisa Biaya AGV

Pada subbab sebelumnya, telah disimpulkan bahwa keputusan terbaik yaitu apabila perusahaan mengoperasikan 10 AGV dengan strategi *undedicated*. Apabila perusahaan menerapkan keputusan tersebut, maka terdapat penghematan sebanyak dua buah AGV dari yang semula berjumlah 12 AGV. Penghematan dari segi biaya akan ditampilkan dalam grafik berikut.



Gambar 5.9 Grafik Perbandingan Biaya

Investasi yang harus dikeluarkan gudang *spareparts* PT. X untuk membeli 12 AGV yaitu 6.111.231.000,00 rupiah sedangkan untuk membeli 10 buah AGV

membutuhkan 5.092.692.500 rupiah. Data terkait harga AGV per unit didapatkan dari situs resmi Alibaba. Sehingga penghematan biaya yang terjadi yaitu sebesar 1.018.538.500,00 rupiah apabila perusahaan hanya mengoperasikan 10 buah AGV. Biaya tersebut belum termasuk biaya *maintenance*, biaya asuransi, biaya bahan bakar, dan pajak dari AGV, dimana semakin banyak AGV yang diimplementasikan maka akan semakin besar biaya yang dikeluarkan.

(Halaman ini sengaja dikosongkan)

## **BAB 6**

### **KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan dipaparkan mengenai kesimpulan penelitian serta saran baik untuk perusahaan maupun penelitian selanjutnya.

#### **6.1. Kesimpulan**

Berikut merupakan kesimpulan yang didapatkan setelah melakukan penelitian.

1. Hasil *running* simulasi kondisi eksisting dengan menerapkan 12 AGV menghasilkan nilai rata-rata utilitas sebesar 64,15% dan rata-rata *waiting time* sebesar 4,48 jam per bulannya dengan menerapkan *undedicated strategy* dalam penugasan AGVnya.
2. Perancangan skenario perbaikan dibuat dengan mengubah jumlah AGV, menerapkan *selection rules* yang berbeda, mengubah strategi penugasan AGV yang semula *undedicated* menjadi *dedicated*.
3. Skenario yang menghasilkan performansi terbaik didapatkan ketika jumlah AGV delapan dengan rata-rata utilitas sebesar 92% dan rata-rata *waiting time* sebesar 6,34 jam per bulan dimana angka tersebut mendekati target perusahaan.
4. Strategi penugasan AGV (*AGV dispatching strategy*) terbaik yaitu *undedicated* karena menghasilkan nilai utilitas yang merata pada tiap AGV.
5. Penambahan dua buah AGV sebagai cadangan mampu mengantisipasi kenaikan *demand* sebesar 20%, 25%, dan 50% dari analisa sensitivitas yang didapat sehingga jumlah optimal AGV yang dibutuhkan yaitu 10 AGV.
6. Penghematan dari segi biaya investasi apabila perusahaan menerapkan kebijakan 10 AGV yaitu sebesar Rp 1.018.538.500,00.

## 6.2. Saran

Berikut merupakan saran yang dapat diberikan setelah penelitian selesai dilakukan.

1. Gudang *spareparts* PT. X direkomendasikan untuk menerapkan 10 AGV mengingat keuntungan-keuntungan yang didapat seperti mencegah *deadlock/traffic jam* yang mengganggu aliran dalam gudang, *waiting time* yang kecil, dan penghematan dari segi biaya investasi dan perawatan.
2. Simulasi model akan lebih optimal apabila memperhatikan reliabilitas AGV yang menurun dari waktu ke waktu dan mempertimbangkan jam istirahat pekerja.
3. Dalam penelitian selanjutnya lebih baik menggunakan data *inbound* dan *demand* selama setahun penuh jika tidak ada keterbatasan akses data mengingat motor merupakan produk *seasonal-trend* sehingga akan lebih representatif jika data dapat mengakomodasi semua musim.

## DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. T., Chapman, S. N. & Clive, L. M., 2008. *Introduction to Materials Management*. 6th ed. New Jersey: Pearson.
- Ballou, R., 2004. *Business Logistics/Supply Chain Management Planning, Organizing and Controlling the Supply chain..* 5th ed. New Jersey: Pearson/Prentice Hall.
- Borgemo, Ebba dan Jabrane, Zineb. (2018), *Evaluating Usage of Automated Guided Vehicles with Respect to Warehouse Layout Changes*, A Case Study Project, Department of Engineering Logistics, Lund University
- Chopra, S. & Meindl, P., 2007. *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. 3rd ed. New Jersey: Pearson.
- Daellenbach, H. G. & McNickle, D. C., 2005. *Management Science: Decision Making through System Thinking*. New York: Palgrave Macmillan.
- Dias, Luis MS. (2016), "Discrete Simulation Software Ranking- a Top List of the Worldwide most Popular and Used Tools", *Proceedings of the 2016 Winter Simulation Conference*, University of Minho, Braga
- Feng, Lijuan dan Liu, Xinglu. (2018), "Picking Station Location in Traditional and Flying-V Aisle Warehouse for Robotic Mobile Fulfillment System", *Proceeding of the 2018 IEEE IEEM*, Tsinghua University, China
- Lamballais, T. (2016), "*Estimating Performance in a Robotic Mobile Fulfillment System*". *European Journal of Operational Research*, hal 1-15.
- Li, Jun-tao. dan Liu, Hong-jian. (2016), "Design Optimization of Amazon Robotics". *Science Publishing Group*, vol. 4, No. 2, hal. 48-52.
- Li, Juntao., Ruiping Yuan., Tingting Dong. (2016), "*Research on The Collision-Free Path Planning of Multi-AGVs System Based on Improved A\* Algorithm*". *American Journal of Operations Research*, vol. 4, hal 442-449.
- Pujawan, I. N. & ER, M., 2010. *Supply Chain Management*. 2nd ed. Surabaya: Guna Widya.

- Qi, Mingyao dan Li, Xiaowen. (2018), *On the Evaluation of AGVs-based Warehouse Operation Performance*, Research Center for Modern Logistics, Graduate School at Shenzhen, Tsinghua University, China
- Richards, G., 2014. *Warehouse Management: A complete guide to improving efficiency and minimizing costs in the modern warehouse*. 2nd ed. London: Kogan Page Limited.
- Siswanto, N., Latiffianti, E. & Wiratno, S. E., 2018. *Simulasi Sistem Diskrit: Implementasi dengan Software ARENA*. 1st ed. Surabaya: ITS Tekno Sains.
- Viharos, Andor Balint dan Nemeth, Istvan. (2018), “*Simulation and Scheduling of AGV based Robotic Assembly Systems*”. IFAC Conference Paper Archive, hal 1415-1420.
- Viviansyah, Salsabila Faradina Fairuz. (2019), *Estimation of Buffer Warehouse Capacity Requirement in a Fertilizer Company: A Simulation Study*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.
- Waskita, Bagus Salira Yuda. (2016), *Model Optimasi Storage Assignment untuk Order-Picking di Gudang Raw Material PT X*, Tugas Akhir, Institut Teknologi Sepuluh Nopember, Surabaya.

## LAMPIRAN

### 1. Lampiran Waktu Total *Put Away* pada Masing-masing Rak dalam Satuan Detik

Waktu	R1A	R1B	R1C	R1D	R1E	R1F	R1G	R1H	R1I	R1J	R1K	R1L	R1M	R1N	R1O
WS1	43.67	45.67	47.67	49.67	51.67	53.67	55.67	57.67	59.67	61.67	63.67	65.67	67.67	69.67	71.67

Waktu	R2A	R2B	R2C	R2D	R2E	R2F	R2G	R2H	R2I	R2I	R2K	R2L	R2M	R2N	R2O
WS1	42.33	44.33	46.33	48.33	50.33	52.33	54.33	56.33	58.33	60.33	62.33	64.33	66.33	68.33	70.33

Waktu	R3A	R3B	R3C	R3D	R3E	R3F	R3G	R3H	R3I	R3J	R3K	R3L	R3M	R3N	R3O
WS1	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69

Waktu	R4A	R4B	R4C	R4D	R4E	R4F	R4G	R4H	R4I	R4J	R4K	R4L	R4M	R4N	R4O
WS1	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69

Waktu	R7A	R7B	R7C	R7D	R7E	R7F	R7G	R7H	R7I	R7J	R7K	R7L	R7M	R7N	R7O
WS1	43.67	45.67	47.67	49.67	51.67	53.67	55.67	57.67	59.67	61.67	63.67	65.67	67.67	69.67	71.67

Waktu	R6A	R6B	R6C	R6D	R6E	R6F	R6G	R6H	R6I	R6J	R6K	R6L	R6M	R6N	R6O
WS1	42.33	44.33	46.33	48.33	50.33	52.33	54.33	56.33	58.33	60.33	62.33	64.33	66.33	68.33	70.33

Waktu	R5A	R5B	R5C	R5D	R5E	R5F	R5G	R5H	R5I	R5J	R5K	R5L	R5M	R5N	R5O
WS1	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63	65	67	69

2. Lampiran Waktu Total *Picking* pada Masing-masing Rak dalam Satuan Detik

Jarak	R1O	R1N	R1M	R1L	R1K	R1J	R1I	R1H	R1G	R1F	R1E	R1D	R1C	R1B	R1A
WS2	37.67	39.67	41.67	43.67	45.67	47.67	49.67	51.67	53.67	55.67	57.67	59.67	61.67	63.67	65.67

Jarak	R2O	R2N	R2M	R2L	R2K	R2J	R2I	R2H	R2G	R2F	R2E	R2D	R2C	R2B	R2A
WS2	36.33	38.33	40.33	42.33	44.33	46.33	48.33	50.33	52.33	54.33	56.33	58.33	60.33	62.33	64.33

Jarak	R3O	R3N	R3M	R3L	R3K	R3J	R3I	R3H	R3G	R3F	R3E	R3D	R3C	R3B	R3A
WS2	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63

Jarak	R4O	R4N	R4M	R4L	R4K	R4J	R4I	R4H	R4G	R4F	R4E	R4D	R4C	R4B	R4A
WS2	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63

Jarak	R7O	R7N	R7M	R7L	R7K	R7J	R7I	R7H	R7G	R7F	R7E	R7D	R7C	R7B	R7A
WS2	37.67	39.67	41.67	43.67	45.67	47.67	49.67	51.67	53.67	55.67	57.67	59.67	61.67	63.67	65.67

Jarak	R6O	R6N	R6M	R6L	R6K	R6J	R6I	R6H	R6G	R6F	R6E	R6D	R6C	R6B	R6A
WS2	36.33	38.33	40.33	42.33	44.33	46.33	48.33	50.33	52.33	54.33	56.33	58.33	60.33	62.33	64.33

Jarak	R5O	R5N	R5M	R5L	R5K	R5J	R5I	R5H	R5G	R5F	R5E	R5D	R5C	R5B	R5A
WS2	35	37	39	41	43	45	47	49	51	53	55	57	59	61	63

3. Nilai Utilitas Tiap AGV pada Skenario 10 AGV, 9 AGV, 8 AGV, dan 7 AGV dengan Jenis *Selection Rules* yang Berbeda-beda

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Smallest Number Busy										Average	Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10		
1	89%	86%	81%	75%	68%	70%	73%	70%	65%	65%	75%	361557
2	88%	90%	80%	75%	74%	69%	71%	61%	68%	66%	75%	361524
3	90%	85%	79%	77%	72%	73%	69%	69%	65%	67%	75%	362572
4	92%	84%	79%	80%	75%	70%	69%	71%	65%	65%	76%	360711
5	95%	87%	82%	74%	70%	69%	71%	65%	65%	66%	75%	361684
6	91%	86%	83%	75%	72%	68%	68%	69%	71%	69%	76%	362112
7	89%	89%	80%	74%	69%	66%	70%	73%	69%	64%	75%	359988

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Random										Average	Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10		
1	74%	74%	74%	78%	77%	75%	74%	72%	73%	75%	75%	361758
2	76%	74%	76%	79%	76%	77%	71%	74%	75%	75%	76%	359652
3	77%	73%	75%	76%	78%	71%	73%	70%	75%	76%	75%	362169
4	76%	70%	78%	69%	75%	73%	74%	76%	77%	71%	74%	360657
5	71%	75%	70%	72%	76%	79%	76%	75%	76%	74%	74%	361523
6	72%	77%	73%	77%	75%	76%	73%	72%	70%	75%	75%	358932
7	77%	76%	73%	74%	70%	75%	75%	77%	75%	69%	74%	362184

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Cyclical											Average	Box
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Terlayani		
1	73%	76%	79%	76%	75%	72%	76%	75%	68%	71%	75%	361557	
2	72%	75%	78%	71%	73%	71%	73%	74%	77%	77%	73%	361524	
3	78%	71%	74%	73%	73%	78%	76%	76%	70%	73%	75%	362572	
4	73%	76%	71%	78%	75%	74%	75%	76%	78%	73%	75%	360711	
5	78%	74%	79%	75%	72%	75%	75%	69%	71%	74%	75%	361681	
6	75%	77%	71%	75%	78%	78%	74%	70%	75%	77%	75%	362112	
7	78%	74%	70%	69%	74%	74%	72%	74%	81%	74%	73%	359961	

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Smallest Number Busy											Average	Box
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Terlayani		
1	95%	90%	90%	82%	83%	77%	77%	73%	77%		83%	362981	
2	95%	84%	88%	82%	81%	75%	77%	77%	79%		82%	361550	
3	92%	91%	85%	84%	77%	78%	75%	79%	78%		82%	361800	
4	93%	90%	84%	79%	87%	81%	74%	74%	75%		82%	361760	
5	95%	92%	87%	86%	79%	74%	76%	78%	75%		82%	361830	
6	93%	90%	87%	83%	80%	75%	77%	82%	79%		83%	360706	
7	93%	92%	88%	81%	81%	75%	79%	77%	77%		83%	361742	

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Random										Average	Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10		
1	82%	82%	82%	81%	84%	83%	81%	82%	85%		82%	362981
2	80%	86%	81%	82%	86%	79%	82%	82%	80%		82%	361550
3	81%	80%	81%	79%	86%	84%	82%	81%	84%		82%	361800
4	82%	81%	80%	86%	81%	82%	83%	80%	85%		82%	361760
5	85%	83%	84%	83%	82%	83%	82%	79%	81%		83%	361830
6	85%	82%	85%	85%	81%	82%	83%	83%	82%		83%	360706
7	84%	83%	80%	85%	83%	82%	80%	84%	82%		82%	361742

Replikasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Cyclical										Average	Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10		
1	82%	82%	82%	81%	84%	83%	81%	82%	85%		82%	362981
2	80%	86%	81%	82%	86%	79%	82%	82%	80%		82%	361550
3	81%	80%	81%	79%	86%	84%	82%	81%	85%		82%	361800
4	82%	81%	80%	86%	81%	82%	83%	80%	85%		82%	361760
5	85%	81%	84%	83%	82%	83%	84%	79%	81%		83%	361830
6	85%	82%	85%	85%	81%	82%	82%	83%	83%		83%	360706
7	84%	83%	80%	85%	83%	82%	80%	84%	82%		82%	361742

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Smallest Number Busy										Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average	
1	98%	97%	95%	93%	94%	93%	86%	85%			93%	359298
2	98%	97%	93%	95%	91%	91%	92%	85%			93%	360656
3	100%	96%	94%	91%	92%	88%	85%	82%			91%	361477
4	98%	99%	96%	94%	92%	89%	89%	85%			93%	362135
5	98%	97%	95%	94%	92%	89%	85%	85%			92%	362124
6	100%	98%	97%	94%	90%	91%	89%	85%			93%	361574
7	98%	97%	96%	92%	91%	87%	85%	90%			92%	360806

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Random										Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average	
1	93%	93%	95%	96%	91%	91%	93%	95%			93%	361733
2	94%	93%	90%	94%	95%	92%	90%	95%			93%	362189
3	91%	93%	93%	92%	91%	91%	93%	93%			92%	360976
4	93%	93%	91%	92%	93%	94%	92%	91%			93%	360573
5	88%	90%	88%	92%	93%	88%	91%	88%			90%	356451
6	92%	93%	92%	91%	92%	88%	89%	90%			91%	362217
7	92%	87%	90%	92%	93%	88%	91%	90%			90%	360984

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Cyclical										Box Terlayani	
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average		
1	92%	95%	94%	96%	95%	92%	90%	87%				93%	359298
2	90%	97%	92%	87%	94%	93%	94%	93%				92%	360656
3	93%	92%	87%	90%	89%	95%	89%	93%				91%	361477
4	95%	93%	92%	93%	88%	94%	91%	95%				93%	362135
5	94%	92%	94%	92%	91%	91%	89%	90%				92%	362124
6	94%	93%	93%	90%	94%	93%	93%	95%				93%	361574
7	93%	91%	91%	93%	92%	90%	91%	94%				92%	360806

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Smallest Number Busy										Box Terlayani	
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average		
1	100%	100%	99%	99%	99%	99%	99%					99%	360073
2	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%					99%	359093
3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%					100%	363838
4	99%	99%	99%	98%	96%	96%	98%					98%	357983
5	100%	100%	99%	99%	99%	99%	99%					99%	363858
6	100%	99%	98%	99%	97%	99%	99%					99%	361207
7	99%	99%	99%	99%	98%	98%	99%					99%	361651

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Random										Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average	
1	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%				99%	361865
2	100%	100%	100%	100%	100%	99%	100%				100%	364462
3	98%	99%	99%	98%	98%	100%	100%				99%	363718
4	100%	100%	99%	99%	99%	99%	100%				99%	362320
5	100%	100%	100%	100%	99%	99%	99%				100%	361006
6	99%	100%	100%	100%	100%	99%	99%				100%	363294
7	100%	100%	99%	99%	99%	99%	99%				99%	362918

Replikasi	Utilisasi	Utilisasi dengan Jenis Selection Rules : Cyclical										Box Terlayani
	AGV 1	AGV 2	AGV 3	AGV 4	AGV 5	AGV 6	AGV 7	AGV 8	AGV 9	AGV 10	Average	
1	100%	99%	99%	99%	99%	99%	99%				99%	360073
2	90%	99%	99%	99%	99%	99%	99%				98%	359093
3	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%				100%	363838
4	99%	99%	97%	98%	97%	99%	98%				98%	357983
5	99%	99%	99%	99%	99%	99%	99%				99%	363858
6	100%	99%	99%	99%	98%	98%	99%				99%	361207
7	99%	99%	99%	99%	99%	99%	98%				99%	361651

## BIOGRAFI PENULIS



Amelia Isnue Bahria lahir pada tanggal 23 Maret di Kota Magelang, Jawa Tengah. Pendidikan pertama penulis ditempuh di SD Muhammadiyah 1 Alternatif Kota Magelang (2004-2010). Kemudian penulis melanjutkan sekolah di SMP Negeri 1 Kota Magelang (2010-2013) dan SMA Negeri 1 Kota Magelang (2013-2016). Penulis kemudian melanjutkan pendidikan di Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) mengambil jurusan Teknik Industri dari tahun 2016 hingga 2020. Penulis mengambil konsentrasi pada bidang *Logistics and Supply Chain Management* dan menjadi asisten laboratorium di laboratorium tersebut selama dua tahun kepengurusan. Penulis pernah mengikuti beberapa *short-program* yang diselenggarakan oleh ITS International Office yaitu Dalian Scientific and Cultural Camp (2018) dan National Chung Cheng University Winter School Program (2018). Selain itu penulis pernah mengikuti salah satu konferensi di bidang *supply chain* yaitu *Young Engineers and Scientist Summit* (YESsummit) pada tahun 2017. Penulis melaksanakan kerja praktik di PT. Pertamina Geothermal Energy Jakarta di bagian *procurement* dan melakukan analisa terhadap MRP (*material requirement planning*) pada tahun 2019.