



TESIS - TI 235401

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI KEJADIAN DISKRIT
UNTUK GUDANG *SPAREPARTS* TEROTOMASI *ROBOTIC
MOBILE FULFILLMENT SYSTEM* (RMFS) PADA INDUSTRI
MANUFAKTUR OTOMOTIF**

**APSARINI PRADIPTA
NRP. 6010231029**

Dosen Pembimbing
Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D
NIP. 1971092719999031002

DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2024

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)



THESIS - TI 235401

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI KEJADIAN DISKRIT
UNTUK GUDANG *SPAREPARTS* TEROTOMASI *ROBOTIC
MOBILE FULFILLMENT SYSTEM (RMFS)* PADA INDUSTRI
MANUFAKTUR OTOMOTIF**

APSARINI PRADIPTA

NRP. 6010231029

Supervisor

Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D

NIP. 1971092719999031002

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2024**



TESIS - TI 235401

**DEVELOPMENT OF A DISCRETE EVENT SIMULATION
MODEL FOR AN AUTOMATED SPARE PARTS WAREHOUSE
ROBOTIC MOBILE FULFILLMENT SYSTEM (RMFS) IN THE
AUTOMOTIVE MANUFACTURING INDUSTRY**

APSARINI PRADIPTA

NRP. 6010231029

Dosen Pembimbing

Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D

NIP. 1971092719999031002

**DEPARTEMEN TEKNIK SISTEM DAN INDUSTRI
FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI DAN REKAYASA SISTEM
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER SURABAYA
2024**

LEMBAR PENGESAHAN THESIS

Tesis disusun untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar

Magister Teknik (MT)

di

Institut Teknologi Sepuluh Nopember

Oleh:

APSARINI PRADIPTA

NRP: 6010231029

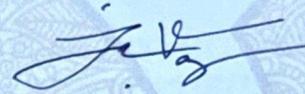
Tanggal Ujian: 28 Juni 2024

Periode Wisuda: September 2024

Disetujui oleh:

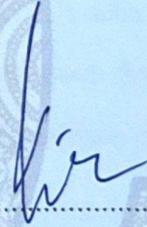
Pembimbing:

1. Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D.
NIP: 197109271999031002

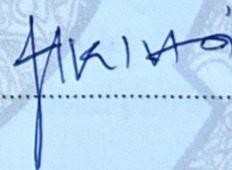


Penguji:

A. Niniet Indah Arvitrida., S.T., M.T., Ph.D., IPU.
NIP: 198407062009122007



B. Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D.
NIP: 197005231996011001



Kepala Departemen Teknik Sistem dan Industri

Fakultas Teknologi Industri

Nurhadi Siswanto, S.T., MSIE., Ph.D.

NIP: 197005231996011001



(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

PERNYATAAN ORISINALITAS

Saya yang bertanda tangan dibawah ini:

Nama : Apsarini Pradipta

NRP : 6010231029

Program Studi : S2 Teknik Industri

Menyatakan bahwa tesis dengan judul

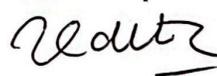
**“PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI KEJADIAN DISKRIT UNTUK
GUDANG SPAREPARTS TEROTOMASI ROBOTIC MOBILE
FULFILLMENT SYSTEM (RMFS) PADA INDUSTRI MANUFAKTUR
OTOMOTIF”**

Adalah benar-benar hasil karya sendiri, bersifat orisinal, dan semua referensi yang dikutip maupun dirujuk telah ditulis secara lengkap pada daftar pustaka. Apabila ternyata pernyataan ini tidak benar, saya bersedia menerima sanksi sesuai peraturan yang berlaku.

Surabaya, 24 Juli 2024

Yang membuat pernyataan

Ttd



Nama Lengkap Apsarini Pradipta
NRP 6010231029.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

**PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI KEJADIAN DISKRIT
UNTUK GUDANG *SPAREPARTS* TEROTOMASI *ROBOTIC
MOBILE FULFILLMENT SYSTEM (RMFS)* PADA INDUSTRI
MANUFAKTUR OTOMOTIF**

Nama : Apsarini Pradipta
NRP : 6010231029
Dosen Pembimbing : Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D

ABSTRAK

Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS) merupakan sistem *material handling* yang diterapkan pada gudang terotomasi. Dalam implementasinya, RMFS menghadapi beberapa masalah keputusan yang diklasifikasikan menjadi 3 tingkat yaitu level *strategic*, *tactical*, dan *operational*. Dalam penelitian ini dibahas mengenai penentuan *storage area* yang dibutuhkan. Keputusan tersebut termasuk pada keputusan *strategic* dalam implementasi RMFS. Tujuan penelitian untuk mengevaluasi kapasitas gudang eksisting dan membutuhkan kapasitas tambahan atau tidak. Kontribusi penelitian ini adalah melakukan evaluasi dari beberapa skenario perbaikan yang berpotensi meningkatkan kapasitas gudang dengan DES dan cakupan penelitian mulai proses *put away* hingga *picking*. Penentuan kebutuhan ekspansi kapasitas gudang akan dipengaruhi oleh *demand* yang dikelola, *pods inventory* yang digunakan, dan AGV yang beroperasi. Dari beberapa skenario perbaikan yang diberlakukan, penambahan 8 *pods inventory* dengan setiap *pods* ditambah 2 tingkatan rak, menjadi skenario perbaikan terpilih untuk gudang *spareparts* PT.X. Dengan perbaikan tersebut, utilitas gudang berada pada kisaran 84,1%, 104217 *polybox* terlayani per bulan, dan durasi produk tertahan akibat *overload* selama 2,1 jam per hari. Pengembangan model simulasi kejadian diskrit menggunakan *Software ARENA*.
Kata kunci: *Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS)*, *Automated Guide Vehicle (AGV)*, *Simulasi Kejadian Diskrit*. *Pods inventory*.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

**DEVELOPMENT OF A DISCRETE EVENT SIMULATION
MODEL FOR AN AUTOMATED SPARE PARTS WAREHOUSE
ROBOTIC MOBILE FULFILLMENT SYSTEM (RMFS) IN THE
AUTOMOTIVE MANUFACTURING INDUSTRY**

Name : Apsarini Pradipta
NRP : 6010231029
Supervisor : Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D

ABSTRACT

Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS) is a material handling system applied in automated warehouses. In its implementation, RMFS faces several decision problems that are classified into three levels: strategic, tactical, and operational. In this research, we discuss determining the storage area needed. This decision includes strategic decisions in implementing RMFS. The aim of the research is to evaluate the capacity of existing warehouses and whether additional capacity is needed or not. The contribution of this research is to evaluate several improvement scenarios that have the potential to increase warehouse capacity with DES, and the scope of the research starts from the put away process to picking. Determining the need for warehouse capacity expansion will be influenced by managed demand, inventory pods used, and AGVs in operation. Of the several improvement scenarios implemented, the addition of 8 inventory pods with each pod plus 2 levels of shelves, became the selected improvement scenario for the PT.X spare parts warehouse. With these improvements, warehouse utility is in the range of 84.1%, 104,217 polyboxes are served per month, and the duration of product delays due to overload is 2.1 hours per day. Development of a discrete event simulation model using ARENA Software.

***Keywords:** Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS), Automated Guide Vehicle (AGV), Discrete Event Simulation. Pods inventory.*

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

KATA PENGANTAR

Puji syukur kehadirat Allah SWT. Atas limpahan rahmat dan karunia-Nya, penulis dapat melakukan penelitian Tesis berjudul **”PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI UNTUK GUDANG *SPAREPARTS* TEROTOMASI *ROBOTIC MOBILE FULFILLMENT SYSTEM* (RMFS) PADA INDUSTRI MANUFAKTUR OTOMOTIF”**. Penelitian ini dapat dilakukan sebagai salah satu persyaratan memperoleh gelar master pada Departemen Teknik Sistem dan Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember (ITS) Surabaya. Dalam pengerjaannya, penulis dibantu dan didukung oleh beberapa pihak. Oleh sebab itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada pihak-pihak terkait, yaitu:

1. Kedua orang tua penulis, Bapak Dadang Samuel, S.T., M.M. (Alm.) dan Ibu Didien Kusumaningtyas, S.E. yang senantiasa memberikan dorongan doa, motivasi, dan segala bentuk kebutuhan lainnya kepada penulis.
2. Prof. Iwan Vanany., S.T., M.T., Ph.D. selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, masukan, dan dukungan dalam pengerjaan penelitian Tesis.
3. PT. X yang memberikan izin pengambilan data penelitian dan informasi terkait.
4. Dosen Penguji 1 dan Dosen Penguji 2 yang telah memberikan masukan dalam seminar proposal dan sidang akhir.
5. Bapak/Ibu Dosen serta Karyawan DTSI ITS atas segala ilmu, bimbingan, dan motivasi selama penulis menjalani program studi magister S-2 di DTSI ITS.
6. Teman-teman yang membantu dalam proses penelitian tesis ini baik dari segi tenaga, ilmu, maupun dorongan motivasi.

Penulis sadar bahwa penyusunan penelitian tesis ini masih jauh dari sempurna. Oleh karena itu, penulis terbuka untuk kritik maupun saran membangun dari pembaca. Peneliti berharap semoga penelitian ini dapat bermanfaat bagi pembaca.

Surabaya, Juli 2024

Apsarini Pradipta

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

DAFTAR ISI

LEMBAR PENGESAHAN	Error! Bookmark not defined.
ABSTRAK	v
ABSTRACT	vii
KATA PENGANTAR	ix
DAFTAR ISI	xi
DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
BAB 1 PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan	6
1.4 Batasan dan Asumsi	7
1.4.1 Batasan	7
1.4.2 Asumsi	7
1.5 Manfaat	8
1.6 Kaidah Penulisan	8
BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA	11
2.1 Pergudangan	11
2.1.1 Ukuran dan Dimensi Gudang	15
2.2 <i>Robotic Mobile Fulfillment System (RMSF)</i>	16
2.3 <i>Automated Guided Vehicles (AGV)</i>	19
2.4 Sistem Penugasan AGV	21
2.5 Permodelan Sistem	22
2.6 Simulasi	25

2.6.1	Metode Simulasi	26
2.6.2	Model Simulasi	26
2.6.3	Langkah-langkah Dalam Membentuk Model Simulasi	27
2.7	Penelitian Terdahulu	29
BAB 3	METODOLOGI PENELITIAN	39
3.1	Tahap Persiapan	43
3.1.1	Gap Analysis	43
3.1.2	Observasi Lapangan	43
3.1.3	Studi Literatur	43
3.2	Tahap Pengumpulan dan Pengelolaan Data	43
3.2.1	Pengumpulan Data	44
3.2.2	Pengelolaan Data	49
3.2.3	Perumusan Hipotesis	50
3.3	Tahap Permodelan Sistem	50
3.3.1	Pembuatan Model Konseptual	50
3.3.2	Simulasi Model	53
3.3.3	Perhitungan Jumlah Replikasi	54
3.3.4	Verifikasi dan Validasi	54
3.3.5	Numerical Experiment	57
3.4	Evaluasi Performansi Setiap Skenario	58
3.5	Kesimpulan dan Saran	58
BAB 4	PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	60
4.1	Pengumpulan Data	60
4.1.1.	Gambaran Umum Gudang Spareparts	60
4.1.2	Jumlah dan Spesifikasi AGV	62

4.1.3 Jumlah dan Spesifikasi Pods inventory	63
4.1.4 Jumlah Box untuk Proses Receiving Harian	63
4.1.5 Jumlah Box untuk Proses Picking Harian	64
4.1.6 Waktu antar Kedatangan Receiving	65
4.1.7 Waktu antar Kedatangan Picking	65
4.1.8 Jarak antara Work Station dan Rak Penyimpanan	66
4.1.9 Perhitungan Waktu Tempuh	74
4.1.10 Waktu Total Proses Put away	74
4.1.11 Waktu Total Proses Picking	76
4.2 Pengolahan Data	78
4.2.1 Jumlah Box untuk Proses Receiving Harian	78
4.2.2 Selisih Waktu antar Kedatangan Receiving	78
4.2.3 Selisih Waktu antar Kedatangan Picking	79
4.2.4 Total Waktu Proses Put away dan Picking	79
4.2.5 Rangkuman Hasil Fitting Distribution	82
4.2 Pengembangan Model Simulasi	83
4.2.1 Kegiatan Receiving	83
4.2.2 Kegiatan Staging dan Put away	85
4.2.3 Kegiatan Picking	80
4.3 Verifikasi Model	80
4.4 Perhitungan Jumlah Replikasi	84
4.5 Validasi Model	86
BAB 5 SKENARIO PERBAIKAN DAN ANALISIS HASIL	89
5.1 Analisa Kondisi Eksisting	89
5.2 Perancangan Skenario Perbaikan	91

5.3	Analisa Hasil Skenario Perbaikan	92
5.3.1	Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Rata-Rata Utilitas Gudang 93	
5.3.2	Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Jumlah Polybox Terlayani	95
5.3.3	Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Durasi Produk terhold akibat Overload	96
5.4	Keputusan Skenario Terpilih	98
BAB 6	KESIMPULAN DAN SARAN	99
6.1	Kesimpulan	99
6.2	Saran	101
LAMPIRAN	102
DAFTAR PUSTAKA	116
BIOGRAFI PENULIS	122

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Permasalahan dalam Desain Gudang	15
Gambar 2.2 <i>Robotic Mobile Fulfillment System</i> dan Ilustrasi Alur Proses RMFS	17
Gambar 2.3 Ilustrasi Layout RMFS	18
Gambar 2.4 Hirarki <i>Decision Problem</i> Implementasi RMFS	18
Gambar 2.5 Ilustrasi AGV	20
Gambar 2.6 Ilustrasi Operasional Gudang dengan AGV	21
Gambar 3.1 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian	40
Gambar 3.2 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian (lanjutan)	41
Gambar 3.3 <i>Flowchart</i> Metodologi Penelitian (lanjutan)	42
Gambar 3.4 Gambaran dan Batasan Sistem	44
Gambar 3.5 Framework Perancangan Model Konseptual	50
Gambar 3.6 Model Konseptual Proses <i>Receiving</i> dan <i>Put away</i>	52
Gambar 3.7 Model Konseptual Proses <i>Order picking</i>	53
Gambar 3.8 Ilustrasi Grafik t-test	57
Gambar 4.1 Ilustrasi Kegiatan Operasional Gudang <i>Spareparts PT.X</i>	61
Gambar 4.2 Tata Letak Gudang <i>Spareparts PT.X</i>	68
Gambar 4.3 Hasil <i>Fitting Distribution Jumlah Inbound</i> Harian	78
Gambar 4.4 Hasil <i>Fitting Distribution Selisih Waktu</i> antar Kedatangan Inbound	79
Gambar 4.5 Hasil <i>Fitting Distribution Selisih Waktu</i> antar Kedatangan Outbound ...	79
Gambar 4.6 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle A</i>	80
Gambar 4.7 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle B</i>	80
Gambar 4.8 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle C</i>	80
Gambar 4.9 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle D</i>	80
Gambar 4.10 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle E</i>	81
Gambar 4.11 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle A</i>	81
Gambar 4.12 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle B</i>	81
Gambar 4.13 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle C</i>	81

Gambar 4.14 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle D</i>	82
Gambar 4.15 Hasil <i>Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle E</i>	82
Gambar 4.16 Model Simulasi Subsistem <i>Receiving</i>	83
Gambar 4.17 Model Simulasi Subsistem <i>Receiving (2)</i>	84
Gambar 4.18 Model Simulasi Subsistem <i>Staging dan Put away</i>	78
Gambar 4.19 Model Simulasi Subsistem <i>Picking</i>	78
Gambar 4.20 Verifikasi <i>Syntax</i> Model Simulasi	81
Gambar 4.21 Verifikasi <i>Semantic</i> Model Simulasi	82
Gambar 4.22 Verifikasi <i>Semantic</i> Model Simulasi	82
Gambar 4.23 Verifikasi <i>Semantic</i> Model Simulasi	83
Gambar 4.24 Verifikasi <i>Semantic</i> Model Simulasi	83
Gambar 4.25 Verifikasi <i>Semantic</i> Model Simulasi	84
Gambar 5.1 Rata-rata Utilitas Gudang (%)	94
Gambar 5.2 Jumlah <i>Polybox</i> Terlayani	96
Gambar 5.3 Durasi Produk Terhold Akibat <i>Overload</i>	97

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu	36
Tabel 3.1 Variabel Sistem	46
Tabel 3.2 Data simulasi	49
Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Penelitian	57
Tabel 4.1 Jadwal Shift Kerja Gudang <i>Spareparts</i> PT. X.....	62
Tabel 4.2 Spesifikasi AGV	63
Tabel 4.3 Spesifikasi <i>pods inventory</i>	63
Tabel 4.4 Jumlah <i>receiving polybox</i> bulan Januari.	64
Tabel 4.5 Waktu antar kedatangan <i>polybox</i>	65
Tabel 4.6 Jadwal <i>Picking</i>	66
Tabel 4.7 Jarak WS 1 ke Rak	72
Tabel 4.8 Jarak WS 2 ke Rak	73
Tabel 4.9 Waktu Tempuh WS 1 ke Rak	75
Tabel 4.10 Waktu Tempuh WS 2 ke Rak	76
Tabel 4.11 Total Waktu Proses <i>Put away</i>	75
Tabel 4.12 Total Waktu Proses <i>Picking</i>	77
Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil <i>Fitting Distribution</i>	82
Tabel 4.14 Perhitungan Replikasi	85
Tabel 4.15 Validasi model	87
Tabel 4.16 Hasil Data Analysis t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances ...	87
Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil <i>Running Model</i> Simulasi Kondisi Eksisting	90
Tabel 5.2 Rancangan Skenario Perbaikan	91
Tabel 5.3 Hasil Skenario Perbaikan	92
Tabel 5.4 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Rata-Rata Utilitas Gudang	93
Tabel 5.5 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Jumlah <i>Polybox</i> Terlayani	95
Tabel 5.6 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Durasi Produk Terhold akibat <i>Overload</i>	96

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BAB 1

PENDAHULUAN

Pada bab ini akan dijelaskan lebih lanjut terkait latar belakang, perumusan masalah, tujuan, manfaat penelitian, batasan dan asumsi, dan sistematika penulisan laporan pada penelitian ini.

1.1 Latar Belakang

Pesatnya aplikasi peralatan *material handling* berbentuk robot sebagai salah satu teknologi otomasi di dunia industri termasuk industri *e-commerce*, manufaktur, dan logistik. Terjadi pertumbuhan aplikasi dan pasar untuk peralatan *material handling* otomasi berjenis *Robotic Mobile Fulfillment System* (RMFS) yang tinggi sebesar 43% (Logistic IQ, 2022). Diyakini teknologi peralatan *material handling* ini akan tetap menjadi teknologi kunci yang terus diadopsi oleh banyak perusahaan hingga 5 tahun kedepan (Logistic IQ, 2022b). Tradisional manual *order picking* atau biasa disebut *picker to parts systems*, operator dapat menghabiskan 70% waktu operasional untuk waktu mencari item dan perjalanan sehingga dibutuhkan tenaga kerja dalam jumlah banyak dengan biaya tinggi (E Guizzo, 2008) Aktivitas tersebut merupakan kegiatan yang termasuk dalam *non value added activity*, khususnya bagi perusahaan yang memiliki banyak item pada suatu gudang yang besar seperti *e-commerce* contohnya Amazon atau *retailer* lain seperti Zara dan Walmart (Xie, et al., 2021) . Saat ini Amazon menerapkan KIVA *System* LLC yang berfungsi untuk mengurangi waktu tidak produktif yang dibutuhkan *picker* dalam *picker to parts systems* (D'Andrea & Wurman, 2008) . KIVA merupakan robot yang membawa rak atau disebut *pods* yang digunakan untuk kebutuhan *material handling* dalam aktivitas gudang. Terdapat beberapa merek lain yang muncul sebagai kompetitor dari KIVA seperti Scallog, Swisslog, dan GreyOrange (Merschforman, et al., 2019)

Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS) merupakan jenis baru dari sistem *material handling* yang diimplementasikan untuk gudang terotomasi. *Robotic Mobile Fulfillment System* (RMFS), terdiri dari beberapa komponen utama yaitu *Automated*

Guided Vehicles (AGV), *pod inventory*, dan *work station* (Hanson et al, 2018). Cara kerja dari *Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS)* adalah *pods inventory* akan berada di atas *Automated Guided Vehicles (AGV)* menuju rak penyimpanan dan melakukan pengambilan produk dari rak, dilanjutkan dengan membawa produk ke stasiun kerja tujuan untuk proses selanjutnya. (Lamballais, et al., 2019). Dalam proses pemenuhan suatu pesanan, diperlukan beberapa *pods* karena pada umumnya dalam satu pesanan terdapat beberapa jenis produk dengan jumlah yang beragam. Walaupun terdapat kemungkinan proses *order picking* dapat diselesaikan dengan menggunakan satu *pods* dalam satu kali pengambilan saja (Gharehgozli & Zaepour, 2020; Mirzaei, et al., 2021).

Sistem yang diterapkan pada implementasi *Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS)* dapat berbeda-beda dari cakupan operasional seperti *strategic level*, *tactical level*, hingga *Operational level* (Lamballais, et al., 2019). Penelitian yang dilakukan pada keputusan *level strategic* yaitu Lamballais, et al., (2017) membahas terkait dimensi dari *storage area*. Lienert et al (2018) menentukan konfigurasi tata letak gudang yang mengimplementasikan RMFS. Wu et al (2021) membahas tata letak gudang memperhatikan perbedaan waktu antar kedatangan. Pada tahun 2019 dikembangkan menjadi keputusan penempatan *workstation*. *Level tactical*, Yuan et al., (2016), Yuan & Gong (2017), Zou et al., (2018), Pradipta (2023) membahas terkait jumlah robot yang digunakan. Sedangkan untuk level operational, Bosyen et al., (2019), Merschorman et al., (2017) membahas terkait pemilihan *pods* yang akan ditugaskan.

Secara umum pembuatan model optimasi pada peralatan *material handling* berjenis RMFS, dibagi menjadi 2 *cluster research area* berdasarkan metode optimasi yang digunakan yaitu (1) *Integer Linear Programming (ILP)* dan (2) Simulasi Kejadian Diskrit. Penelitian ini akan berfokus pada model simulasi kejadian diskrit karena fleksibilitas dalam memodelkan skenario perbaikan serta kompleksitas dari model yang dibangun.

Terdapat beberapa cara yang dapat digunakan untuk meningkatkan efisiensi kinerja pada aktivitas pergudangan. Hal tersebut digolongkan menjadi tiga keputusan besar yaitu keputusan tingkat startegis, taktis, dan operasional. Kebijakan terkait luasan area fasilitas contohnya adalah gudang merupakan bentuk dari keputusan pada *strategic level* (Lamballais, et al., 2019).

Dalam penentuan alokasi area dipengaruhi kebutuhan jumlah persediaan yang harus disimpan per satuan waktu. Jumlah persediaan merupakan variabel *dependent* yang berasal dari variabel *independent* berupa kapasitas jumlah produksi harian yang dipicu oleh adanya permintaan yang terjadi (*demand*). Sehingga, dapat dianalogikan bila terjadi peningkatan *demand* maka peningkatan terhadap persediaan yang harus disimpan juga tidak dapat dihindari demi mendukung keberlangsungan proses produksi. Selain itu, kebijakan mengenai jumlah unit *Automated Guided Vehicles* yang digunakan merupakan keputusan taktikal yang dapat mempengaruhi efisiensi dalam proses *order picking* (Koster 2018). Oleh karena itu, menentukan rancangan keputusan luas area fasilitas dan jumlah unit *Automated Guide Vehicle* penting untuk dilakukan (Li, et al., 2020) untuk meningkatkan efisiensi kegiatan pergudangan khususnya *order picking* (Silvia, et al., 2022).

Menurut (Heragu, 2008) alokasi area dan tata letak gudang merupakan hal yang perlu diperhatikan karena hal tersebut menentukan biaya untuk sewa atau beli suatu lahan. Dalam penentuannya, terdapat beberapa faktor yang perlu dipertimbangkan seperti ukuran gudang, bentuk gudang, ukuran *aisle*, jumlah dan lokasi *workstation*, jenis rak yang digunakan, serta tingkat otomisasi yang akan diterapkan pada gudang tersebut. Karena, ukuran dan bentuk dari *aisle* gudang akan bergantung pada *Material handling Devices* (MHDs) dan rak yang akan digunakan (Heragu, 2008). Bila perusahaan menggunakan AGV atau AS/RS maka kebutuhan *aisle* yang luas tidak diperlukan dibandingkan bila perusahaan menggunakan *forklift truck*. Ukuran dari gudang yang diperlukan akan berdasarkan jumlah produk yang dikelola atau diproduksi per satuan waktu.

Pada penelitian ini akan berfokus pada penentuan kebutuhan ekspansi area dari gudang *spareparts* yang terotomasi dengan pendekatan simulasi. Pertama akan melakukan evaluasi terkait *demand forecast* yang dijadikan *driver* untuk menentukan jumlah produk yang harus dikelola dari waktu ke waktu. Evaluasi tersebut akan mengukur apakah kondisi eksisting baik dari sumber daya maupun kontrol berupa AGV, *pods inventory*, dan kapasitas area gudang yang terikat jam operasional sudah cukup untuk mengakomodir kebutuhan yang ada. Pengukuran kinerja ini menggunakan parameter berupa rata-rata utilitas gudang, jumlah pesanan yang terlayani, rata-rata waktu tunggu, dan durasi *hold* produk dikarenakan gudang *overload* pada waktu tersebut. Skenario perbaikan dilakukan untuk memperbaiki hasil dari nilai parameter pada kondisi eksisting.

PT. X adalah perusahaan yang bergerak di bidang manufaktur otomotif khususnya dalam produksi sepeda motor yang mendominasi pasar sepeda motor di Indonesia. Seiring berjalannya waktu, kondisi pasar semakin berkembang dari segi peningkatan *demand* dan penambahan variasi produk. Saat ini PT. X memiliki area gudang *spareparts* seluas 16,1m x 30 m yang berfungsi untuk menyimpan seluruh komponen-komponen sepeda motor PT. X. PT.X telah menggunakan *Automated Guided Vehicles* (AGV) sebagai *material handling* di dalam gudang mulai tahun 2021. *Automated Guided Vehicles* (AGV) diimplementasikan oleh PT. X untuk proses *put away* dan *order picking* di gudang. Manfaat dari diimplementasikan *Automated Guided Vehicles* (AGV) antara lain adalah mengurangi risiko kecelakaan kerja yang disebabkan oleh *human error*. AGV akan digunakan untuk aktivitas yang bersifat *repetitive* dengan jalur yang panjang, dan memiliki tujuan yang berbeda-beda (Dziwis, 2005).

Saat ini PT. X telah mengimplementasikan *Automated Guided Vehicle* (AGV) dengan strategi penugasan AGV random berdasarkan AGV yang tersedia. Sedangkan untuk *layout spareparts warehouse* PT. X menggunakan *random storage*. Dengan alokasi lahan yang dimiliki saat ini dan kapasitas produksi yang meningkat, maka dibutuhkan evaluasi terkait performansi kinerja gudang untuk mengukur apakah

dengan sumber daya yang ada saat ini dapat mengakomodasi kebutuhan operasional per satuan waktu dan bila tidak dapat memenuhi maka tindakan apa yang sebaiknya dilakukan dari sisi sumber daya yang digunakan seperti AGV, *pods inventory*, atau bahkan luasan area gudang.

Pada tahun 2023 dilakukan penelitian serupa namun penelitian tersebut bertujuan untuk menentukan jumlah unit *Automated Guide Vehicle* (AGV) yang dibutuhkan PT. X dengan kondisi *demand* pada tahun 2023 bulan Januari hingga Mei. Hal tersebut akan disempurnakan pada penelitian ini dengan cara menggunakan *time horizon* lebih panjang untuk dapat memotret kejadian peningkatan *demand* yang terjadi seiring dengan berjalannya waktu. Peningkatan *demand* tersebut akan berpengaruh pada kinerja dari gudang termasuk jumlah sumber daya yang dibutuhkan. Dengan kondisi *demand* yang meningkat maka pihak produksi akan sebisa mungkin memenuhi agar dapat melakukan penjualan dan memenuhi kebutuhan *demand*. Namun hal tersebut dibatasi oleh sumber daya baik manusia maupun alat dan alokasi area serta dikontrol oleh shift kerja dan jumlah hari kerja. Keluaran dari penelitian ini adalah menjadi tindakan preventif untuk menyusun rencana penambahan sumber daya pada gudang dalam bentuk ekspansi kapasitas gudang Hal ini perlu dilakukan karena keputusan penambahan sumber daya khususnya alokasi ekspansi kapasitas gudang merupakan keputusan level *strategic* yang membutuhkan biaya cukup besar serta dampak yang diakibatkan juga *massive* bila dilakukan.

Dalam menentukan alokasi ekspansi kapasitas gudang untuk PT. X terdapat faktor ketidakpastian dan variabilitas. Ketidakpastian tersebut bersumber dari *lead time* kedatangan *supply spareparts*, waktu kedatangan *supply spareparts*, lokasi penyimpanan *spareparts* dalam gudang, *travel time* untuk menuju setiap rak, dan jumlah *supply spareparts* yang masuk setiap harinya. Selain itu terdapat faktor ketergantungan (*interdependence*) yaitu jumlah pesanan yang dapat dipenuhi tergantung pada performansi kegiatan pergudangan (*receiving, put away, dan order picking*). Adanya kompleksitas membuat permasalahan tersebut sulit jika diselesaikan dengan model matematis. Salah satu yang metode yang dapat mengakomodir

kebutuhan tersebut adalah simulasi (Harrel, 2004) Sehingga pada penelitian ini akan digunakan metode permodelan simulasi kejadian diskrit supaya dapat mengakomodir kebutuhan tersebut. Permodelan simulasi kejadian diskrit kerap digunakan untuk kasus yang mengandung teori antrian. Pada kasus pergudangan PT. X terdapat antrian yang terjadi seperti antrian untuk proses *receiving*, proses *put away*, dan proses *order picking*. Selain menggunakan simulasi, penelitian ini akan mengkombinasikan dengan metode pendekatan analitik yaitu perhitungan *safety stock* yang digunakan sebagai salah satu acuan dalam menentukan ekspansi area gudang.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah dijelaskan, maka permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini adalah melakukan pengembangan model simulasi kejadian diskrit untuk mengevaluasi kapasitas area gudang *spareparts (storage area sizing)* yang dibutuhkan berdasarkan peningkatan *demand* yang terjadi dari tahun ke tahun. Apakah kapasitas gudang yang dimiliki PT. X membutuhkan ekspansi atau tidak.

1.3 Tujuan

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut.

1. Mengembangkan model simulai kegiatan pergudangan pada PT. X yang bersifat *robust*.
2. Mengevaluasi kapasitas gudang *spareparts* PT. X akan cukup untuk mengakomodir kebutuhan *spareparts*
3. Menentukan kebutuhan alokasi kapasitas gudang pada gudang *spareparts* PT. X menggunakan metode simulasi.

1.4 Batasan dan Asumsi

Berikut ini merupakan batasan dan asumsi yang digunakan untuk melakukan penelitian ini dengan tujuan melakukan menyederhanakan kasus agar dapat diselesaikan secara ilmiah.

1.4.1 Batasan

Berikut merupakan batasan yang digunakan untuk penelitian ini:

1. Aktivitas pergudangan pada PT. X dibagi menjadi 3 yaitu *receiving*, *put away*, dan *order picking*.
2. Jumlah AGV eksisting adalah 16 dengan strategi penugasan *random*.
3. Ukuran gudang *spareparts* PT. X sebesar 16, 1 m x 30 m.
4. Gudang *spareparts* PT. X memiliki 5 baris rak dengan jumlah 112 rak.
5. Data *inbound* dan *outbound* (demand) PT. X pada Januari 2023 – Januari 2024

1.4.2 Asumsi

Berikut merupakan asumsi yang digunakan untuk penelitian ini:

1. Ukuran AGV 104 x 82 x 28 cm dengan kapasitas hingga 1000 kg
2. Kecepatan AGV konstan 2 m/detik
3. Seluruh AGV dapat digunakan untuk *picking* maupun *put away*.
4. Waktu setiap penugasan AGV diketahui dan ditentukan oleh jumlah aktivitas setiap tugas.
5. *Spareparts* yang dikelola dibedakan menjadi 3 yaitu *small box*, *medium box*, dan *large box* dengan dimensi sama besar (dalam *polybox*)
6. Dalam satu kali kedatangan *supply* hanya berisi satu jenis *sparepart* yang seragam (homogen).
7. Waktu proses kegiatan *put away* dan *picking* dibedakan berdasarkan jarak rata-rata setiap *aisle* rak ke *workstation*.
8. Satuan produk yang dipertimbangkan dalam model yang dikembangkan untuk penelitian ini digambarkan dalam satuan *polybox*.

9. Proses *receiving*, *put away*, dan *order picking* produk dilakukan dalam satuan *polybox*.

1.5 Manfaat

Berikut merupakan manfaat dari penelitian ini:

1. Membantu pihak perusahaan dalam memproyeksi kebutuhan alokasi kapasitas gudang dimasa mendatang berdasarkan peningkatan *demand* yang terjadi sehingga dapat mempersiapkan kebutuhan pendukung seperti sumber dana, sumber daya manusia, alokasi pemindahan gudang sementara saat proses pembangunan, dan sumber daya lainnya.
2. Memberikan kontribusi penelitian berupa penelitian yang melakukan evaluasi dari beberapa skenario perbaikan yang berpotensi dapat meningkatkan kapasitas gudang dengan model simulasi kejadian diskrit dan penelitian ini mengambil cakupan *put away* dan *picking*. Kebanyakan penelitian berfokus pada *order picking* sehingga parameter yang digunakan kebanyakan adalah *throughput* atau jumlah pesanan yang dapat terlayani.

1.6 Kaidah Penulisan

Berikut merupakan kaidah penulisan yang digunakan dalam penelitian tesis kali ini.

BAB 1 PENDAHULUAN

Bab pendahuluan berisi tentang hal-hal yang melatarbelakangi dilakukan penelitian ini. Bab pendahuluan terdiri dari latar belakang, rumusan masalah, tujuan, batasan dan asumsi, manfaat, serta kaidah penulisan.

BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori-teori yang mendukung rencana penelitian serta mengkritisi hasil dari penelitian serupa yang telah dilakukan sebelum penelitian ini dilakukan. Tinjauan pustaka yang digunakan antara lain perdagangan,

Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS), Automated Guide Vehicle (AGV), permodelan sistem, simulasi, forecasting, safety stock, dan penelitian terdahulu.

BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN

Bab metodologi penelitian akan menjelaskan tahapan yang dilakukan selama melakukan penelitian. Tahap-tahap tersebut akan divisualisasikan menggunakan diagram alir atau *flowchart*. Diberikan pula penjelasan terkait narasi dari diagram alir yang digunakan.

BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

Bab pengumpulan dan pengolahan data akan menjelaskan terkait data-data yang dibutuhkan dalam penelitian yang akan diolah menggunakan *software InputAnalyzer*. Selanjutnya akan dilakukan pembangunan model simulasi menggunakan *software ARENA dan dikembangkan*.

BAB 5 NUMERICAL EXPERIMENT DAN ANALISIS

Bab *numerical experiment* dan analisis akan menjelaskan mengenai pengembangan skenario perbaikan dan melakukan analisis terkait masing-masing skenario yang dilakukan. Skenario perbaikan yang akan dilakukan mulai dari jumlah AGV yang digunakan, jumlah *pods inventory* yang digunakan, dan alokasi area ekspansi yang dibutuhkan.

BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN

Bab kesimpulan dan saran akan menjelaskan tentang kesimpulan dari berbagai skenario yang telah dilakukan dalam penelitian, serta menarik satu skenario perbaikan terbaik yang akan menjawab tujuan penelitian. Selain itu, terdapat saran yang ditulis penulis untuk menjadi referensi penelitian selanjutnya.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BAB 2

TINJAUAN PUSTAKA

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai teori-teori dasar dan beberapa penelitian terdahulu yang akan digunakan sebagai dasar acuan dalam penelitian.

2.1 Pergudangan

Warehouse atau Gudang merupakan tempat untuk menyimpan persediaan bahan baku, perlengkapan komponen, *work in process*, dan barang jadi yang muncul diberbagai titik di seluruh lini produksi dan logistik pada suatu perusahaan (Ballou, 2004). Gudang dapat ditemui di tempat produksi, DC, hingga *retailer*. Memiliki *inventory on hand*, akan menghabiskan biaya sekitar 20 hingga 40% dari *value* per tahun. Sehingga, dibutuhkan pengaturan tingkat *inventory* yang baik agar ekonomis bagi pihak pengelola atau perusahaan (Ballou, 2004). Tujuan dari suatu perusahaan memiliki gudang karena perlu adanya persediaan yang disimpan dan memfasilitasi pergerakan barang melalui rantai pasok sampai ke tangan konsumen (Rushton, Crouche, & Baker, 2014). Kebutuhan akan persediaan muncul akibat adanya ketidakpastian *demand* yang terjadi serta alasan lain seperti mengurangi biaya transportasi, meningkatkan koordinasi *supply* dan *demand*, dan mendukung kegiatan produksi.

Fungsi gudang dalam rantai pasok sangat bervariasi dan mungkin berbeda pada setiap perusahaan, Menurut (Rushton, Crouche, & Baker, 2014), terdapat beberapa kasifikasi gudang yang dapat diadopsi sebagai berikut:

- a. Berdasarkan tahapan pada rantai pasok: bahan mentah, *work in progress*, barang jadi, atau barang yang dikembalikan (*returned goods*).
- b. Berdasarkan area geografis: *global warehouse*, *regional warehouse*, *national warehouse*, dan *local warehouse*.
- c. Berdasarkan tipe produk: komponen kecil, komponen rakitan besar (contoh: badan mobil), makanan beku, produk mudah rusak atau *perishables*, dan barang berbahaya atau *hazardous goods*.

- d. Berdasarkan fungsi: Penyimpanan dan penyortiran persediaan. (contoh: *hub* pada *parcel carrier*).
- e. Berdasarkan kepemilikan: kepemilikan berdasarkan penggunaan (contoh: manufaktur atau ritel) dan perusahaan 3PL logistik.
- f. Berdasarkan penggunaan perusahaan: gudang khusus atau *dedicated warehouse* untuk satu perusahaan, atau penggunaan gudang secara bersama sejumlah perusahaan lain atau *shared-user warehouse / undedicated warehouse*.
- g. Berdasarkan area: mulai dari 100 meter persegi atau kurang hingga lebih dari 100.000 meter persegi.
- h. Berdasarkan ketinggian: mulai dari gudang setinggi 3 meter hingga gudang yang tingginya mungkin lebih dari 45 meter.
- i. Berdasarkan peralatan: dari operasi yang mayoritas dilakukan secara manual hingga menjadi gudang yang otomatis.

Menurut (Ballou, 2004) sistem penyimpanan dapat diklasifikasikan menjadi dua fungsi yaitu *inventory holding (storage) function* dan *material handling function*. Jika didefinisikan, *inventory holding* atau *storage* merupakan akumulasi persediaan barang pada suatu perusahaan selama periode yang ditentukan. Sedangkan *material handling function* merupakan suatu sistem penyimpanan yang melakukan reduksi terhadap aktivitas seperti *loading* dan *unloading*, pemindahan barang dari maupun ke tempat penyimpanan, dan *order filling*. Sebagaimana yang dinyatakan (Ballou, 2004), gudang dimanfaatkan oleh perusahaan karena empat alasan utama yaitu:

a. *Holding*

Penggunaan fasilitas gudang yang terutama untuk memberikan perlindungan dan penyimpanan persediaan secara teratur. Durasi penyimpanan barang dan persyaratan penyimpanan akan menentukan konfigurasi serta tata letak fasilitas. Contohnya fasilitas yang dibangun untuk berbagai keperluan seperti penyimpanan khusus (untuk proses fermentasi produk), penyimpanan barang dagang untuk keperluan umum

(penyimpanan produk musiman), penyimpanan barang sementara (pada terminal truk), dan untuk penyimpanan barang ke tingkat persediaan yang efisien berdasar kapasitas armada seperti truk.

b. *Consolidation*

Struktur tarif transportasi, khususnya *rate breaks*, mempengaruhi penggunaan fasilitas penyimpanan. Akan lebih efisien secara ekonomi untuk menetapkan titik pengumpulan menggabungkan pengiriman kecil menjadi satu pengiriman besar dan mengurangi keseluruhan biaya transportasi. Mengasumsikan bahwa setiap pembeli tidak membeli dengan kuantitas yang mencapai volume dari masing-masing sumber.

c. *Break-Bulk*

Menggunakan fasilitas untuk *break-bulk* adalah kebalikan dari menggunakan fasilitas untuk konsolidasi. Pengiriman dalam volume besar yang memiliki tarif transportasi rendah dipindahkan ke gudang dan dikirim ulang dalam jumlah yang lebih kecil. *Break bulk* secara umum adalah gudang distribusi atau terminal terutama ketika tarif transportasi *inbound* per unit kurang dari tarif *outbound* per unit. Pesanan pelanggan dalam jumlah muatan kurang dari armada, dan jarak antar pabrik dan pelanggan sangat jauh dalam jumlah.

d. *Mixing*

Mixing adalah suatu sistem ketika beberapa pengiriman dikirim ke gudang dan kemudian "dicampur" untuk memenuhi pesanan konsumen. Titik fasilitas pencampuran produk menawarkan transportasi efisiensi karena mencegah beberapa pengiriman langsung yang tidak perlu ke tempat yang sama.

Pada fasilitas penyimpanan, sistem *material handling* dapat diwakili oleh kegiatan utama yaitu:

a. *Loading dan Unloading*

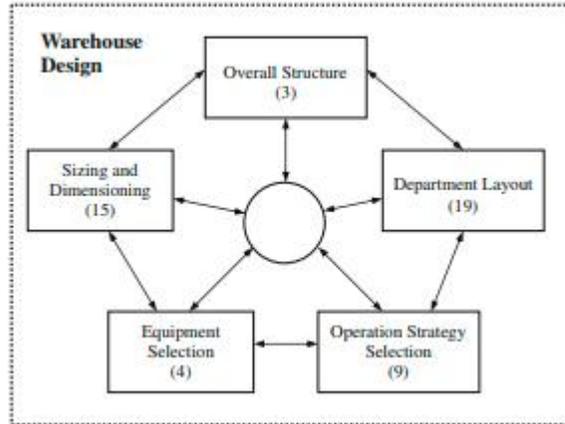
Merupakan kegiatan pertama dan terakhir dalam proses penyimpanan. Ketika barang sampai pada suatu fasilitas penyimpanan, barang akan dibongkar muat dan dilakukan kegiatan penyimpanan lainnya. Barang yang sudah dibongkar akan disortir dan diperiksa, dan diklasifikasikan sebelum disimpan dalam fasilitas tersebut. Sedangkan *loading* merupakan proses pemindahan dari fasilitas penyimpanan ke armada yang bertugas melakukan pengiriman ke konsumen.

b. Pemindahan barang dari dan ke tempat penyimpanan.

Diantara proses *loading* dan *unloading* pada suatu fasilitas penyimpanan, barang dapat bergerak dalam beberapa kali. Pergerakan pertama adalah dari *unloading point* ke *storage area*. Kedua, pergerakan dari *shipping dock* atau dari *order picking area* untuk *stock replenishment*. Proses pergerakan barang dapat dicapai dengan menggunakan sejumlah peralatan *material handling* yang tersedia. Jenis ini bervariasi mulai dari *manual push truck* dan *carts to fully automated* dan *computerized stacking*.

c. *Order Filling*

Order filling atau disebut juga *order picking* adalah pemilihan barang dari tempat penyimpanan sesuai dengan pesanan yang ada, baik untuk kebutuhan produksi maupun penjualan. Aktivitas *order picking* memakan sekitar 65% dari total biaya gudang dan secara langsung akan mempengaruhi proses selanjutnya dalam rantai pasok.



Gambar 2.1 Permasalahan dalam Desain Gudang
(Gu, et al., 2009)

Dalam menentukan tata letak dalam gudang, terdapat beberapa faktor utama yang dapat dijadikan sebagai acuan dalam penentuannya seperti pada Gambar 2.1. Untuk menentukan struktur dan tata letak gudang terdapat lima keputusan besar yaitu menentukan ukuran dan dimensi gudang, menentukan tata letak secara rinci pada setiap departemen, memilih peralatan gudang, dan memilih strategi operasional (Gu, et al., 2009). Kebijakan operasional merupakan kebijakan yang digunakan dalam pengelolaan persediaan di gudang seperti *dedicated storage* atau *random storage*, klasifikasi penyimpanan dengan zonasi (Gu, et al., 2007). Dalam penelitian ini akan dibahas terkait penentuan kebutuhan penambahan ukuran dan dimensi gudang berdasarkan kebutuhan area untuk penyimpanan dengan implementasi *material handling* terotomasi. Hal tersebut dibutuhkan karena adanya peningkatan *demand* dari tahun ke tahun.

2.1.1 Ukuran dan Dimensi Gudang

Ukuran dan dimensi gudang akan memiliki implikasi penting pada biaya seperti *initial investment*, biaya simpan, biaya *handling*, dan biaya untuk *replenishment*. Untuk menentukan ukuran gudang dapat menggunakan dua skenario masalah utama yaitu (1) Tingkat persediaan ditentukan oleh eksternal sehingga gudang tidak memiliki kendali langsung atas kapan kiriman masuk dan akan tiba

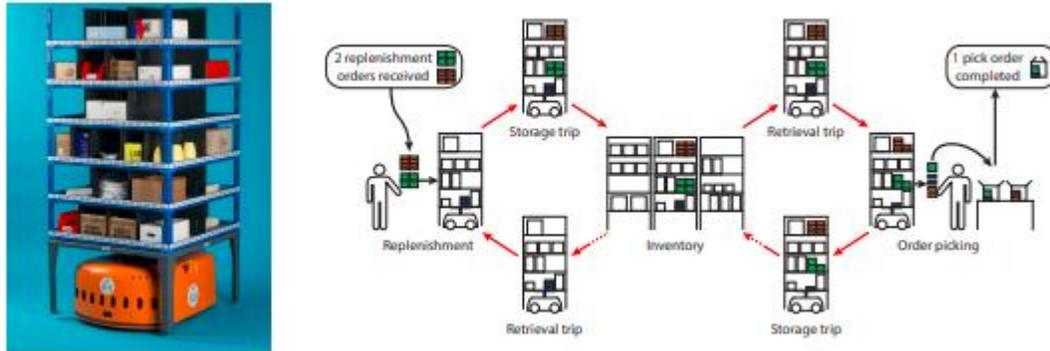
sebagai contoh adalah gudang 3 PL. (2) Gudang dapat secara langsung mengendalikan kebijakan persediaan (Gu, et al., 2009). Levy, (1974), Cormier dan Gunn, (1996), dan Goh, et al., (2001) mempertimbangkan masalah ukuran gudang dalam kasus gudang bertanggung jawab untuk mengendalikan persediaan. Sehingga, biaya yang diperhitungkan tidak hanya biaya biaya pembangunan gudang namun juga meliputi biaya penyimpanan dan biaya pengisian ulang. Masalah terkait dimensi gudang mengintegrasikan kapasitas menjadi luas lantai untuk menilai biaya investasi dan biaya operasional yang dibutuhkan. Hal tersebut pertama kali dikembangkan oleh Francis (1967) penelitian tersebut menggunakan perkiraan area penyimpanan tanpa adanya lorong. Bassan et al., (1980) menambahkan pertimbangan konfigurasi lorong. Rosenblatt dan Roll (1984) mengintegrasikan antara metode optimasi dan simulasi dengan tujuan mengevaluasi biaya bila terjadi shoratage akibat dari keterbatasan kapasitas, dan jumlah zona. Model tersebut terus dikembangkan seiring dengan kebutuhan saat ini, menurut (Heragu, 2008) gudang harus mempertimbangkan lima area fungsional mulai dari *receiving*, *shipping*, *cross docking*, *reverse*, dan *forward*.

Pada penelitian-penelitian sebelumnya mayoritas menentukan pendekatan *performance models* yang independen terhadap ukuran dan *material handling* yang digunakan (Gu, et al., 2009). Sehingga penelitian ini berusaha untuk mengembangkan hal tersebut bahwa ukuran dan *material handling* yang digunakan dapat bersifat dependen terhadap ukuran dan dimensi area dari gudang yang dibutuhkan.

2.2 ***Robotic Mobile Fulfillment System (RMSF)***

Robotic Mobile Fulfillment System (RMFS) merupakan tipe baru dari robot *parts-to-picker material handling system* yang biasa digunakan pada gudang yang telah terotomasi (Merschformann, et al., 2018). Robot akan membawa rak yang dapat bergerak atau biasa disebut *pods inventory* karena dibawa oleh robot. Rak tersebut akan dibawa dari dan ke stasiun kerja yang dituju oleh robot. Robot yang digunakan

dalam mobilitas *pods inventory* tersebut disebut *Automated Guide Vehicle* (AGV) (Le-Anh & De Koster, 2006).

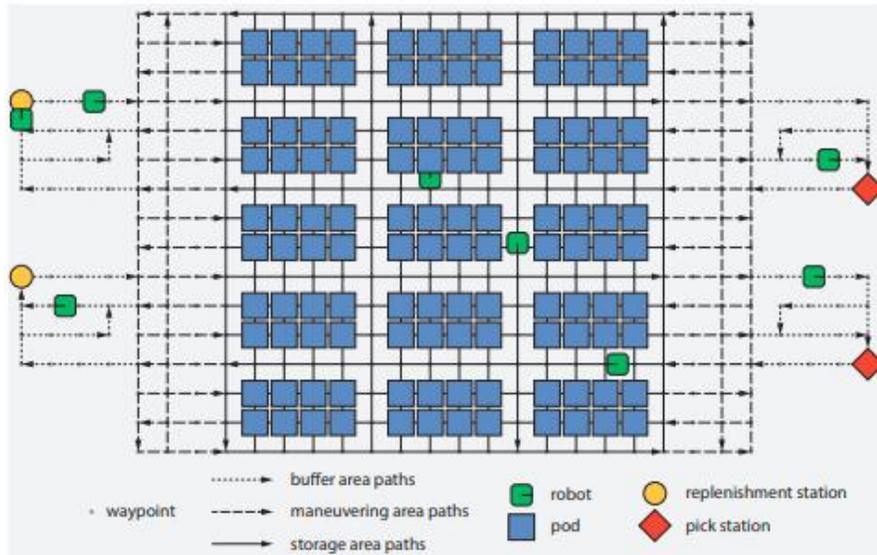


Gambar 2.2 *Robotic Mobile Fulfillment System* dan Ilustrasi Alur Proses RMFS

(Merschformann, et al., 2018)

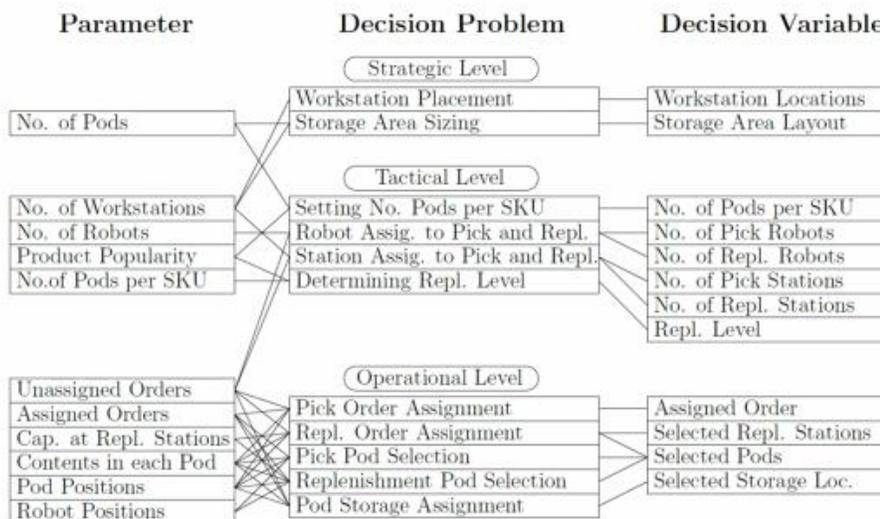
Pada Gambar 2.1 diperlihatkan alur proses dari pergerakan *pods inventory*. Dimulai dari replenishment station untuk proses *put away* yaitu operator meletakkan produk yang akan disimpan pada *pods* yang dituju, saat *pods* tersebut datang maka produk diletakkan, setelah itu *pods* tersebut akan dikembalikan ke posisi semula pada area gudang oleh AGV dan disimpan hingga muncul *signal* untuk *picking*. Bila ada *signal* untuk *picking*, AGV akan menuju *pods* yang berisikan produk yang akan dibutuhkan, lalu membawa *pods* tersebut ke *order picking station*, setibanya di *station*, operator akan mengambil produk tersebut dari *pods* dan *pods* akan kembali ke tempat semula.

Robot (AGV) akan bergerak sesuai dengan arahan sistem dengan cara menangkap *signal* dan bergerak dengan panduan *grid* disertai *barcode* dilintasan.



Gambar 2.3 Ilustrasi Layout RMFS
(Merschorman, et al., 2019)

Pada proses pengimplementasian *Robotic Mobile Fulfillment System*, terdapat beberapa masalah keputusan (*Decision Problem*) yang dihadapi. Berikut merupakan gambaran umum secara hirarki dari masalah keputusan beserta dengan parameter serta *decision variable* yang dapat digunakan.



Gambar 2.4 Hirarki *Decision Problem* Implementasi RMFS
(Merschformann, et al., 2018)

Terdapat tiga tingkat *decision problem* yaitu *strategic level*, *tactical level*, dan *operational level* (Merschformann, et al., 2018) Semakin tinggi tingkat *decision problem* maka semakin *massive* dampak yang diterima bila terjadi suatu perubahan di dalamnya. Keputusan untuk *strategic level* merupakan keputusan jangka panjang yang dengan *time horizon* kurun 5 tahun atau lebih. *Tactical level* merupakan keputusan jangka menengah yang digunakan untuk setiap quarter atau bulan. Sedangkan *operational level* merupakan keputusan jangka pendek yang keputusannya bersifat *real time* yang berubah seiring berjalannya waktu yang mayoritas harian atau mingguan. Dari klasifikasi tersebut maka dapat diketahui bahwa permasalahan yang dibahas dalam penelitian ini termasuk dalam *strategic level* yaitu memperhitungkan luasan area gudang *spareparts* yang dibutuhkan berdasarkan peningkatan *demand* yang terjadi dari tahun ke tahun. Tujuan dari penelitian ini untuk mengevaluasi luasan area gudang *spareparts* PT. X saat ini akan cukup hingga tahun kapan dan membutuhkan ekspansi atau tidak. Luasan tersebut akan berpengaruh pada kapasitas gudang yang dimiliki PT. X. Namun terdapat keterbatasan bila harus melakukan ekspansi secara luasan, maka dari itu pada penelitian ini akan diuji coba beberapa skenario perbaikan yang dapat meningkatkan kapasitas gudang namun dengan lahan yang tetap.

2.3 Automated Guided Vehicles (AGV)

Menurut (Heragu, 2008) *Automated Guided Vehicles* termasuk dalam *Material handling System* (MHDs). AGV adalah *variable-path* yang pergerakannya dapat dikontrol dengan beberapa cara. Kabel atau *special tapes* yang tertanam pada *shop floor* dapat mengirimkan sinyal radio atau secara strategis *positioned radars* yang diposisikan mengirim sinyal ke penerima yang dipasang pada AGV. *Tapes* yang tertanam memiliki keuntungan tambahan yaitu dapat dengan mudah dilepaskan dan ditempatkan di tempat lain, sehingga memungkinkan untuk melakukan variasi jalur AGV sesuai dengan kebutuhan. Dalam beberapa aplikasi, robot *pick-and place* dipasang pada AGV digunakan untuk penuatan, pengangkutan, dan pembongkaran

otomatis. Permukaan pemuatan material dapat berupa tipe *platform*, tipe *forklift* atau jenis palet.



Gambar 2.5 Ilustrasi AGV
(Geekplus 4, 2021)

Prinsip kerja dari *Automated Guided Vehicles* (AGV) adalah menggantikan operator *order picking* untuk melakukan tugas pengambilan produk dari suatu tempat ke tempat lain sesuai dengan *path* yang telah ditentukan (Ronzoni, D. *et al.* 2011). Saat melakukan perancangan gudang yang dilengkapi dengan *Automated Guided Vehicles* (AGV), perlu untuk menentukan jumlah *Automated Guided Vehicles* (AGV) yang digunakan, jumlah stasiun *Automated Guided Vehicles* (AGV), serta lokasi penempatan stasiun *Automated Guided Vehicles* (AGV). Hal ini berkaitan dengan kemampuan *Automated Guided Vehicles* (AGV) beroperasi setiap harinya dan performansi gudang yang diharapkan. Terdapat faktor lain yang berdampak besar pada performansi *Automated Guided Vehicles* (AGV) yaitu tata letak produk di dalam gudang. Menurut Bosyen et al (2017), perencanaan dan perancangan *order picking* berdampak besar pada jumlah AGV dalam *Robotic Mobile Fulfillment System* (RMFS) dan penelitian aplikasi tersebut telah membuktikan jumlah AGV yang dibutuhkan akan berkurang secara signifikan jika penyimpanan setiap *Stock Keeping Unit* (SKU) yang berbeda dalam satu rak.

Masalah yang sering terjadi dalam implementasi AGV antara lain adalah beban unit dan pemilihan AGV, *routing* dan penjadwalan AGV, dan kontrol terhadap

zona persimpangan (X & V, 1992). Masalah-masalah tersebut memiliki tingkat level masalah yang berbeda mulai dari tingkat strategis seperti penentuan jalur AGV, dimana keputusan tersebut akan berdampak besar pada keputusan pada tingkat lainnya. Pada tingkat taktis terdapat masalah seperti penentuan jumlah kendaraan, penjadwalan, sedangkan untuk tingkat operasional terdapat masalah seperti kontrol dalam rute penggunaan kendaraan (Le-Anh & De Koster, 2006)



Gambar 2.6 Ilustrasi Operasional Gudang dengan AGV
(Geek+, 2021)

Terdapat beberapa penelitian yang sudah membahas terkait sistem AGV seperti: fokus pada masalah penjadwalan, pada masalah perutean. (Co & Tancoho, 1991; King & Wilson, 1991; Sinriech, 1995) Pada penelitian sebelumnya, telah mengkonsiderasi terkait pemerataan utilitas dari setiap AGV yang bekerja dalam suatu gudang. Dalam penelitian ini perubahan jumlah AGV digunakan sebagai skenario perbaikan sekiranya jumlah AGV yang beroperasi akan mempengaruhi performansi kinerja gudang seperti jumlah produk terlayani dan rata-rata waktu tunggu.

2.4 Sistem Penugasan AGV

Menurut (Anh & Koster, 2004) terdapat dua tipe utama sistem penugasan *online* AGV yaitu *decentralized control system* dan *centralized control system*. *Decentralized control system* adalah sistem *control* yang tidak membutuhkan sistem

untuk mengkoordinir AGV dan *central control system*. Sehingga, setiap armada diasumsikan dapat melakukan kunjungan keseluruhan lokasi *pick up* maupun *delivery*. Sedangkan *centralized control system* adalah memiliki sistem yang terkoordinasi mencakup hubungan lokasi *pick up*, lokasi *delivery*, *load-release time*, hingga status setiap kendaraan. Sistem yang terkoordinasi terdapat pada *controller*. *Controller* akan memberikan tugas pada setiap unit armada. Menurut (Egbelu & Tanchoco, 1984) *controller* akan memberikan tugas dengan dua tipe tugas yaitu *job based* dan *vehicle based*. *Job based* bisa dilakukan berdasarkan unit armada terdekat atau terjauh, armada yang memiliki utilitas rendah untuk melakukan suatu tugas. Sedangkan *vehicle based* merupakan cara penugasan dengan tujuan maksimasi probabilitas melakukan suatu tugas dan meminimasi *unloaded travel time*. Pendekatan yang digunakan pada umumnya adalah *travel time* terpendek, *travel time* terpanjang, maksimasi jumlah antrian yang masih dapat ditampung, dan FIFO (*first come first serve*).

2.5 Permodelan Sistem

Dalam melakukan suatu perbaikan suatu sistem dibutuhkan pemahaman secara komperhensif terhadap sistem tersebut. Menurut (Daellenbach & McNickle, 2005) permodelan sistem adalah model yang dapat merepresentasikan suatu sistem dengan bagian-bagian penting di dalamnya. Dalam menentukan model suatu sistem dibutuhkan informasi terkait:

- a. Urutan aktivitas dalam sistem
- b. Batasan sistem yang berasal dari dalam sistem (*narrow system*) dan dari dalam sistem (*wider system*)
- c. Subsistem pada *narrow system*
- d. *Input* sistem
- e. *Output* sistem

Suatu sistem terdiri dari komponen-komponen atau elemen-elemen yang saling berinteraksi untuk mencapai tujuan yang sama (Pegden, 1990). Menurut (Siswanto. et al.,2018) terdapat 4 elemen utama dalam suatu sistem yaitu:

a. Entitas

Merupakan komponen yang mengalami suatu proses dalam suatu sistem. Entitas dapat mengalami perpindahan, perubahan status, mempengaruhi, dan dipengaruhi oleh entitas lain.

b. Aktivitas

Merupakan suatu proses yang dilakukan oleh *resource* pada suatu sistem yang dikenakan pada entitas. Aktivitas tersebut dapat membuat perubahan pada entitas maupun variabel yang diamati dalam sistem.

c. Sumber daya

Sumber daya adalah alat, tenaga, kerja, mesin, atau fasilitas yang digunakan dalam memproses entitas dengan cara melakukan aktivitas. Wujud dari sumber daya dapat berupa fasilitas, manusia, hingga peralatan. Menurut jenisnya, sumber daya dapat dibedakan menjadi tiga jenis yaitu:

- *Dedicated* atau *shared* yaitu sumber daya yang diklasifikasikan berdasarkan tujuan penggunaan. *Dedicated* merupakan penggunaan sumber daya dengan tujuan khusus ditujukan untuk aktivitas tertentu, produk tertentu, atau waktu tertentu. Sedangkan sumber daya *shared* adalah sumber daya yang dapat digunakan oleh berbagai jenis aktivitas, produk, waktu sesuai dengan fungsi dan kapasitas.
- *Permanent* atau *consumable* yaitu sumber daya yang diklasifikasikan berdasarkan *cycle* pemakaian. Sumber daya permanent merupakan sumber daya yang dapat digunakan berulang kali dan tidak habis contohnya mesin, gedung, dan bangunan. Sedangkan sumber daya *consumable* merupakan sumber daya yang dapat habis sesuai dengan pemakaian yang digunakan contohnya bahan bakar, listrik, air.

- Diam atau bergerak yaitu sumber daya yang diklasifikasikan berdasarkan posisi penggunaan. Sumber daya diam adalah sumber daya yang selama pemakaian letak posisinya tidak memerlukan perpindahan untuk memproses entitas contohnya pabrik, tangki bahan bakar, dan gudang. Sedangkan sumber daya bergerak adalah sumber daya yang perlu berpindah saat hendak memproses entitas contohnya *Automated Guided Vehicle (AGV)*, *forklift*, *pallet*, *hand truck*.

d. Kontrol

Merupakan suatu penanda pada aktivitas suatu sistem seperti dimana dan kapan terjadi suatu urutan proses. Selain itu juga terdapat logika untuk kerja dari sistem untuk mengetahui bagaimana seharusnya suatu sistem bekerja.

Besar atau kecilnya suatu sistem dipengaruhi oleh interaksi antar entitas di dalam sistem tersebut. Semakin banyak interaksi entitas yang terjadi maka semakin kompleks sistem yang terbentuk. Suatu sistem dikatakan kompleks jika memiliki variabilitas yang tinggi, dan terdapat variabel yang sifatnya interdependensi. Sehingga terbentuk suatu kompleksitas akibat dari kombinasi yang ada (Daellenbach & McNickle, 2005). Dengan kondisi kompleksitas yang tinggi, biasanya digunakan beberapa simplifikasi model agar dapat melakukan pemecahan masalah secara efektif.

Sistem diklasifikasikan menurut beberapa sifat yang membedakan dari setiap jenis sistem tersebut. Klasifikasi dibutuhkan untuk membantu memahami perilaku pada suatu sistem. Berikut merupakan jenis-jenis sistem (Daellenbach & McNickle, 2005):

a. Sistem diskrit dan sistem kontinu

Perbedaan sistem diskrit dan sistem kontinu berada pada titik waktu yang digunakan. Perubahan status sistem diskrit terjadi pada waktu diskrit, pada selang satu waktu diskrit ke waktu diskrit selanjutnya tidak terjadi perubahan status pada sistem. Sedangkan untuk sistem kontinu, perubahan

status sistem terjadi secara kontinu berubah secara terus menerus sepanjang waktu, sehingga jumlah status tidak terbatas.

b. Sistem deterministik dan sistem stokastik

Sistem deterministik adalah sistem yang dapat diprediksi. Sedangkan sistem stokastik adalah sistem yang tidak sepenuhnya dapat diprediksi karena perilaku sistem dipengaruhi oleh *input* yang sifatnya acak. Hal ini juga dipengaruhi oleh variasi dari sistem, jika variasi suatu sistem relatif kecil, maka sistem tersebut dapat diperlakukan sebagai sistem deterministik. Jika terdapat minimal satu *input* yang bersifat stokastik maka sistem tersebut sudah tergolong dalam sistem stokastik.

c. Sistem terbuka dan sistem tertutup

Sistem terbuka merupakan sistem yang berinteraksi dengan lingkungan sistem dengan menerima *input* dan memberikan *output* ke lingkungan. Sistem tertutup tidak melakukan interaksi terhadap lingkungan sistem sehingga, tidak ada *input* dan *output*.

d. *Steady state of probabilistic system* dan *Transient of probabilistic system*

Suatu sistem stokastik pada awalnya memiliki sifat yang berubah-ubah atau *transient*. Sistem stokastik dalam jangka panjang relatif akan mendekati kondisi kesetimbangan atau memiliki kondisi akhir yang tidak berubah atau *steady state*.

2.6 Simulasi

Simulasi merupakan suatu eksperimen dengan tiruan yang disederhanakan pada komputer dari sebuah sistem operasi dalam durasi tertentu, untuk tujuan dapat melakukan pemahaman yang lebih baik dan atau meningkatnya sistem tersebut (Robinson, 2010). Sedangkan menurut (Law & Kelton, 1991) simulasi adalah suatu cara menirukan suatu sistem yang terdiri dari rangkaian proses dengan bantuan komputer dan dibutuhkan asumsi sebagai pelengkap agar dapat dipelajari secara

ilmiah. Secara umum sistem adalah kumpulan elemen-elemen yang terorganisir untuk mencapai suatu tujuan.

2.6.1 Metode Simulasi

Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan dalam simulasi yaitu sebagai berikut:

a. *Discrete-Event Simulation*

DES digunakan untuk model sistem antrian. Sistem tersebut akan merepresentasikan setiap entitas bergerak dari satu aktivitas menuju aktivitas lain dalam satuan waktu diskrit.

b. *Monte Carlo Simulation*

Monte carlo digunakan untuk memberikan suatu perkiraan kemungkinan hasil dari suatu proses keputusan *multi criteria* atau dikenal dengan analisis resiko. Hasil dari simulasi tersebut masih dapat berubah.

c. Sistem Dinamik

Sistem dinamik merupakan metode simulasi yang sifatnya kontinu. Pendekatan tersebut merepresentasikan entitas menjadi set dari *stocks* dan *flows*. Sistem dinamik akan fokus pada sebab akibat dari suatu sistem. Stok akan bergerak secara akumulatif merespon kesetimbangan *inflows* dan *outflows*.

d. *Agent Based Simulation*

Agent Based Simulation muncul karena ada kebutuhan mempelajari sistem yang kompleks dan perilaku yang muncul. Ide dasar dari *agent based simulation* adalah memodelkan sistem secara *bottom-up* sebagai seperangkat agen dengan perilaku individu yang berinteraksi dari waktu ke waktu.

2.6.2 Model Simulasi

Terdapat beberapa model simulasi untuk mengidentifikasi perilaku dari suatu sistem yaitu (Law & Kelton, 1991):

a. Simulasi statis atau Dinamis

Simulasi statis merupakan salah satu simulasi yang tidak berdasar pada waktu. Sering melibatkan sampel acak untuk menghasilkan hasil yang statis, sehingga kerap disebut simulasi monte carlo. Sedangkan simulasi dinamis merupakan simulasi yang bergantung pada waktu karena akan beriringan dengan perubahan status pada sistem.

b. Simulasi Stokastik atau Deterministik

Suatu sistem jika tidak memiliki variabel yang sifatnya acak maka dapat diselesaikan dengan simulasi deterministik. Sebaliknya jika minimal terdapat satu variabel yang sifatnya acak maka simulasi tersebut tergolong dalam simulasi stokastik. Hasil dari simulai deterministik akan menghasilkan hasil yang konsisten tidak peduli akan berapa kali dijalankan.

c. Simulasi Diskrit atau Kontinu

Simulasi diskrit adalah simulasi yang perubahan statusnya terjadi pada titik-titik diskrit dalam waktu yang dipicu adanya suatu event. Sedangkan simulasi kontinu adalah simulasi yang perubahan statusnya terjadi secara kontinu terhadap waktu.

2.6.3 Langkah-langkah Dalam Membentuk Model Simulasi

Pada dasarnya metode simulasi dilakukan dengan merancang sebuah model dari sistem nyata dan melakukan eksperimen dengan model tersebut (Shannon, 1998). Eksperimen pada model simulasi dapat mengurangi biaya, waktu, dan risiko eksperimen pada sistem aktual. Menurut (Siswanto, et al., 2017) terdapat tujuh langkah utama dalam membentuk suatu model simulasi. Berikut merupakan ketujuh langkah tersebut.

a. Penentuan Tujuan, Ruang Lingkup, dan Kebutuhan Proyek

Tujuan merupakan alasan utama yang melatarbelakangi dilakukan simulasi. Tujuan akan bersifat mengarahkan dan memberikan pengaruh pada detail model yang akan dibangun. Contohnya adalah simulasi yang bertujuan melakukan analisis perfomansi, biasanya menggunakan ukuran berupa *rate*, utilitas, *flow time*. Selanjutnya menentukan ruang lingkup, ruang lingkup

berguna untuk membatasi fokus dari studi yang dilakukan. Sedangkan kebutuhan proyek merupakan sumber daya, waktu, dan anggaran biaya yang dapat digunakan selama simulasi.

b. Analisis Masalah dan Pengumpulan Informasi

Melakukan analisis masalah secara keseluruhan pada suatu sistem dan mengumpulkan segala bentuk informasi terkait masalah pada sistem tersebut.

c. Pengumpulan Data

Mengumpulkan data yang berkaitan dengan aktivitas, variabel, maupun proses dari suatu sistem yang diperlukan dalam menentukan parameter pengukurannya. Terdapat tiga jenis data yaitu:

- Data Struktural

Merupakan data dari semua objek dalam sistem yang mampu menggambarkan konfigurasi sistem dan mengidentifikasi entitas yang diproses di dalamnya. Contohnya entitas, sumber daya, dan lokasi.

- Data Operasional

Merupakan data yang akan menggambarkan bagaimana sistem beroperasi serta dimana, kapan, dan bagaimana suatu aktivitas atau proses dapat terjadi di dalam sistem. Data operasional berbentuk seperti suatu informasi perilaku atau logika tentang sistem tersebut. Contohnya penjadwalan, perutean, kebijakan, dan *downtime*.

- Data Numerik

Merupakan data mengenai informasi kuantitatif yang akan dikumpulkan dari sistem tersebut. Contohnya durasi waktu antar kedatangan, jumlah kedatangan per satuan waktu.

d. Konstruksi Model

Kondisi dari suatu sistem sudah diperoleh, kemudian dilanjutkan dengan membuat model konseptual dan membangun model menggunakan komputer dengan bantuan *software simulasi*.

e. Verifikasi Model

Verifikasi model dilakukan untuk mengetahui apakah model simulasi telah menggambarkan model konseptual seperti yang diharapkan pembuat model.

f. Validasi Model

Model yang telah terverifikasi akan divalidasi untuk memastikan bahwa model tersebut dibuat sesuai dengan kondisi sistem sebenarnya (*real system*).

g. Merancang dan Melakukan Percobaan Simulasi

Model simulasi yang dibuat akan menampilkan hasil kinerja dari kondisi sistem eksisting, kemudian dapat dilanjutkan dengan mengembangkan skenario alternatif untuk mendapatkan solusi yang lebih baik dari kondisi sistem eksisting.

h. Analisis Hasil

Pengukuran kinerja suatu sistem akan dilakukan lebih lanjut dengan analisis dan perhitungan secara statistik. Hal tersebut bertujuan untuk menentukan skenario alternatif terbaik yang akan dijadikan keputusan.

i. Rekomendasi Final

Alternatif perbaikan terbaik akan dipilih sebagai rekomendasi perbaikan kinerja sistem.

2.7 Penelitian Terdahulu

Berikut merupakan beberapa penelitian terdahulu yang membahas topik serupa. Penelitian terdahulu dijadikan referensi dalam penelitian ini.

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu

Penulis, Tahun	Judul	Metode			Topik
		Simulasi Kejadian Diskrit	Integer Programming	Pendekatan Analitik	
Lienert, T. et al. (2018)	<i>Simulation-based performance analysis in robotic mobile fulfilment systems analyzing the throughput of different layout configurations</i>	✓			Konfigurasi <i>layout</i> mempengaruhi <i>throughput</i>
Wu, S. et al. (2020)	<i>Research of the layout optimization in robotic mobile fulfillment systems</i>	✓			Desain <i>layout</i> mempengaruhi <i>throughput</i>
Duan, G. et al. (2021)	<i>Performance evaluation for Robotic Mobile Fulfillment Systems with time-varying arrivals</i>	✓			Pengaruh tingkat kedatangan pesanan puncak, durasi kedatangan pesanan puncak, dan tingkat kedatangan pesanan rata-rata terhadap kinerja sistem.
Yang, X. et al. (2021)	<i>Traditional layout design for robotic mobile fulfillment system with multiple workstations Algorithms</i>		✓		Menentukan lokasi <i>workstation</i> untuk minimasi total <i>travel distance</i> robot
Feng, L. et al. (2018)	<i>Picking Station Location in Traditional and Flying-V Aisle Warehouses for Robotic Mobile Fulfillment System</i>		✓		Menentukan lokasi <i>picking station</i> untuk minimasi total <i>travel distance</i> robot

Penulis, Tahun	Judul	Metode			Topik
		Simulasi Kejadian Diskrit	<i>Integer Programming</i>	Pendekatan Analitik	
Al-Gwaiz, et al. (2016)	<i>Capacity expansion and cost efficiency improvement in the warehouse problem</i>		✓		Menentukan jumlah ekspansi gudang untuk mengetahui besar investasi yang diperlukan dan dapat meningkatkan efisiensi cost
Ariyanti, F.D, et al (2021)	<i>Decision making in the warehouse expansion strategy at PT Dwitama Global Persada</i>			✓ (<i>Forecasting, Annual Worth Analysis (AWA)</i>)	Menentukan jumlah ekspansi gudang yang dibutuhkan dan akan diekspansi dengan <i>mezzanine</i> atau sewa gudang baru
Pradipta, A (2023)	Model Simulasi Kejadian Diskrit untuk Menentukan Jumlah dan Strategi Penugasan <i>Automated Guide Vehicle (AGV)</i> pada Industri Manufaktur Otomotif	✓			Menentukan jumlah AGV yang digunakan dan strategi penugasan AGV (<i>Dedicated/Undedicated</i>)
Penelitian Saat Ini (2023)	PENGEMBANGAN MODEL SIMULASI KEJADIAN DISKRIT UNTUK PENENTUAN LUAS EKSPANSI GUDANG <i>SPAREPARTS</i> TEROTOMASI AGV PADA INDUSTRI MANUFAKTUR OTOMOTIF	✓			Menentukan alokasi ekspansi kapasitas gudang

Pada tabel 2.1 telah dijabarkan terkait beberapa penelitian terdahulu yang membahas topik yang sama. Pada penelitian oleh Lienert, T. et al. (2018), Wu, S. et al. (2020), Duan, G. et al. (2021) menggunakan metode simulasi kejadian diskrit untuk mengukur *throughput* dari gudang yang dipengaruhi oleh dimensi maupun ukuran dari storage. Sedangkan pada penelitian Yang, X. et al. (2021), Feng, L. et al. (2018), Al-Gwaiz, et al. (2016) menggunakan linear programming dalam menyelesaikan kasus terkait lokasi *workstation* dan ukuran dari gudang. Adapun yang menggunakan metode analitik berupa peramalan dan *annual worth analysis* Ariyanti, F.D, et al (2021) dalam menentukan keputusan ekspansi gudang. Penelitian terbaru yang dilakukan penulis pada tahun 2023 adalah menentukan jumlah AGV yang digunakan dengan metode simulasi diskrit. Pada penelitian kali ini, penulis akan mengembangkan model tersebut yaitu menentukan kebutuhan ekspansi gudang pada PT. X yang sebelumnya telah dihitung jumlah AGV yang dibutuhkan.

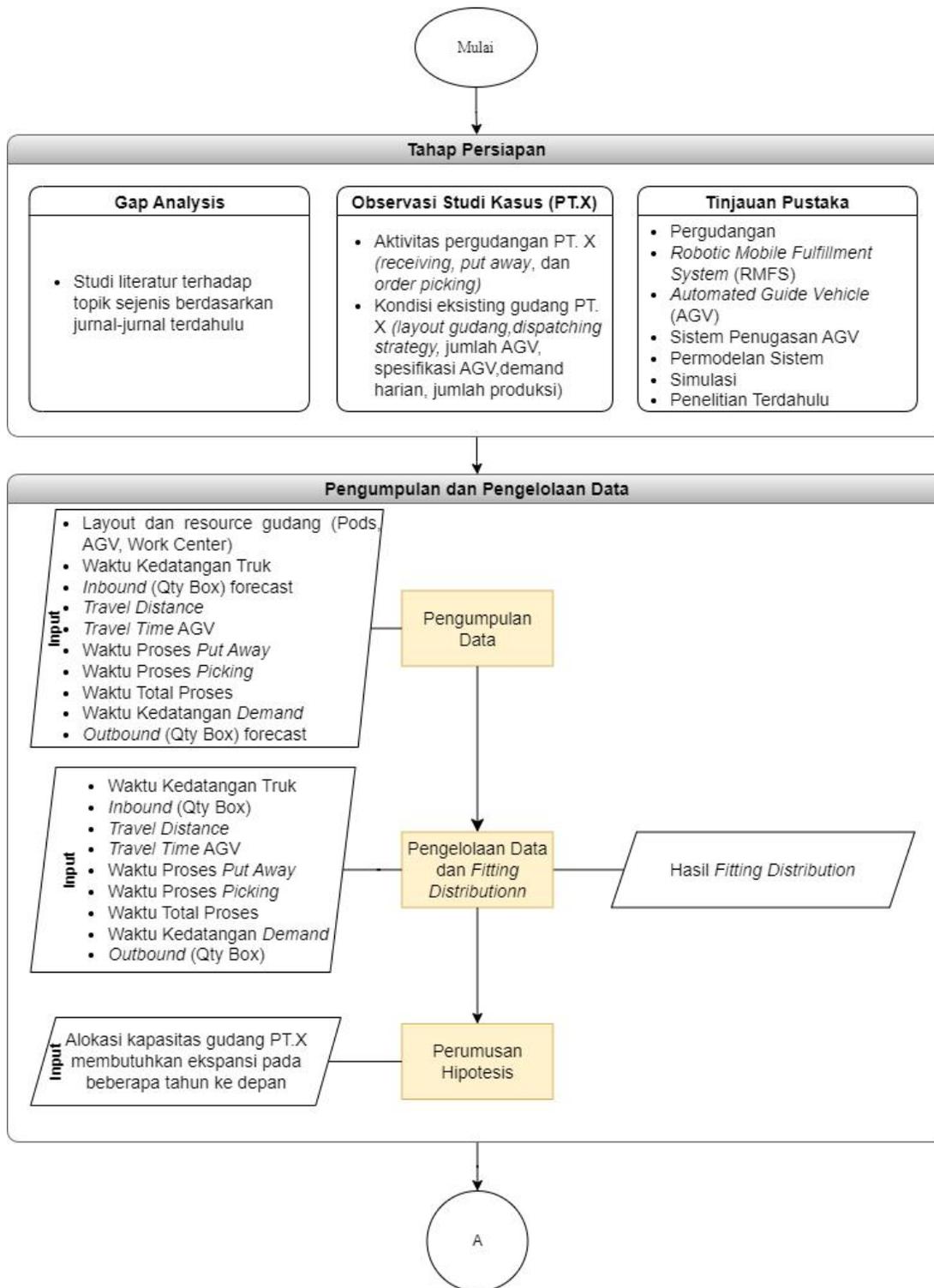
Seiring berjalannya waktu, *demand* yang dimiliki PT. X diproyeksikan akan meningkat dari segi jumlah per jenis produk maupun varian yang diciptakan. Hal tersebut membuka peluang bahwa PT. X membutuhkan alokasi gudang untuk menyimpan persediaan *spareparts* untuk mendukung unit produksi. Penentuan keputusan ekspansi gudang termasuk dalam keputusan *strategic* seperti yang telah dijelaskan pada subbab 2.2. hal tersebut karena efek yang diterima akan *massive* dan membutuhkan pertimbangan dari segi biaya dan sumber daya lainnya. Sehingga, pada penelitian ini penulis akan mengevaluasi kondisi dari gudang *spareparts* PT. X dengan *demand* yang berubah dari tahun ke tahun. Bila membutuhkan *resource* tambahan, hal tersebut diidentifikasi dari segi sumber daya yang digunakan yaitu (1) AGV, (2) *pods inventory*. Identifikasi tersebut akan dilakukan dengan simulasi kejadian diskrit dan pendekatan analitik yaitu perhitungan *safety stock* sebagai acuan scenario perbaikan.

Hasil dari penelitian ini akan menjadi input sebagai bahan mitigasi risiko untuk menghindari *stock out* dimasa mendatang dan menyiapkan dana investasi terkait kebutuhan *changing capacity*

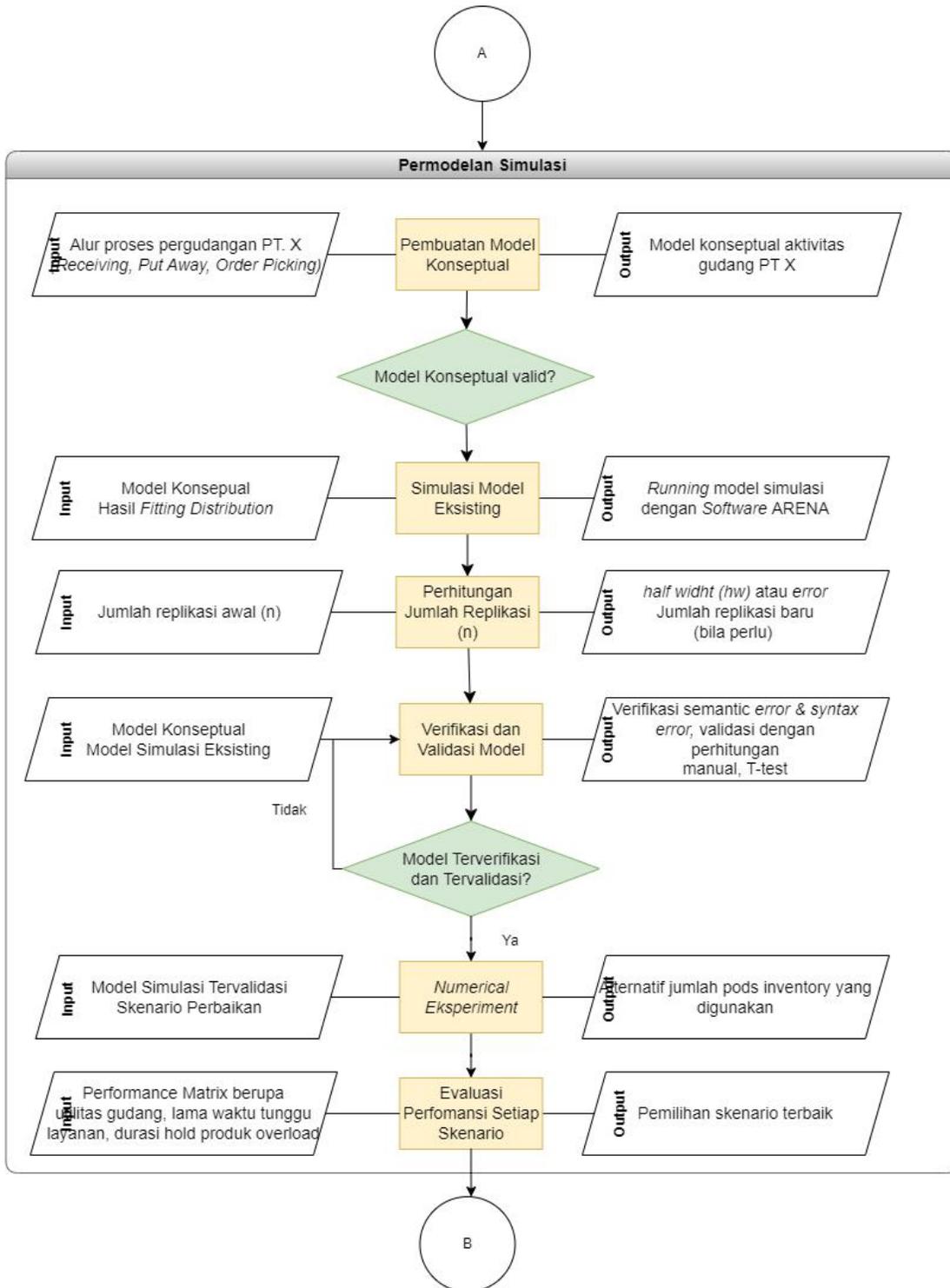
BAB 3

METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian yang akan digunakan dalam penelitian yang disajikan dalam bentuk *flowchart*, serta penjelasan untuk setiap tahap pengerjaan.



Gambar 3.1 Flowchart Metodologi Penelitian



Gambar 3.2 Flowchart Metodologi Penelitian (lanjutan)



Gambar 3.3 *Flowchart* Metodologi Penelitian (lanjutan)

Metodologi penelitian ini dibagi menjadi tiga tahap utama yaitu yang pertama adalah tahap persiapan, dilanjutkan tahap pengumpulan dan pengelolaan data, pemodelan simulasi, analitik, evaluasi performansi, dan kesimpulan. Pada tahap persiapan terdapat *kegiatan gap analysis*, observasi lapangan dan tinjauan pustaka. Gap analysis dilakukan untuk mengetahui kondisi penelitian terdahulu dengan topik serupa sehingga mengetahui akan terdapat *gap* antar penelitian-penelitian tersebut yang sekiranya bisa menjadi peluang untuk dikembangkan. Dari beberapa peluang yang muncul dilakukan pemilihan terhadap peluang yang sekiranya akan diisi dengan penelitian ini. Setelah menentukan bagian yang akan diisi maka, dilakukan observasi lapangan untuk mengetahui gambaran lengkap dan situasi kondisi eksisting pada proses pergudangan PT. X, sedangkan studi literatur dilakukan untuk memahami landasan teori yang dapat mendukung penyelesaian studi kasus yang sedang dilakukan. Tahap kedua meliputi pengumpulan dan pengelolaan data sebagai bagian dari penyelesaian studi kasus khususnya untuk *input* dalam membangun model simulasi. Tahap ketiga adalah pengembangan model simulasi mulai dari kondisi eksisting, model skenario perbaikan, hingga melakukan evaluasi kinerja dari setiap skenario perbaikan yang dibuat. Berikut merupakan penjelasan lebih rinci terkait metodologi penelitian yang digunakan.

3.1 Tahap Persiapan

Pada tahap persiapan dilakukan observasi lapangan pada gudang *spareparts* PT. X untuk mengetahui secara menyeluruh alur pergudangan yang terjadi. Berikut merupakan kegiatan yang dilakukan pada tahap persiapan.

3.1.1 Gap Analysis

Tahapan ini dilakukan guna mengetahui kondisi pada penelitian terdahulu. Tujuan dilakukukan tahapan ini adalah untuk mengetahui bila terdapat *gap* dari beberapa penelitian tersebut. *Gap* tersebut dapat berupa variabel yang tidak dikonsiderasi, penggunaan metode atau pendekatan yang berbeda, penggabungan metode, dan sebagainya. Dari beberapa *gap* tersebut penulis melakukan penentuan *gap* yang sekiranya dapat diisi oleh penelitian ini. Informasi dari berbagai jurnal maupun referensi terdahulu juga dapat diadopsi sebagai input pada penelitian ini.

3.1.2 Observasi Lapangan

Observasi lapangan dilakukan guna melakukan pengumpulan data baik data primer maupun data sekunder dari perusahaan. Observasi lapangan dilakukan dengan cara pengamatan langsung dan wawancara terhadap *stakeholder* yang berkaitan. Observasi lapangan diperlukan untuk membantu pengembangan model dalam penelitian ini.

3.1.3 Studi Literatur

Studi literatur merupakan proses pencarian referensi berupa buku, jurnal, maupun berita yang bersingungan dengan studi kasus yang sedang dilakukan. Beberapa studi literatur yang dilakukan antara lain tentang pergudangan, *Robotic Mobile Fulfillment System* (RMFS), *Automated Guide Vehicle* (AGV), sistem penugasan AGV, permodelan sistem, simulasi, *forecasting*, dan penelitian terdahulu. Untuk lebih lengkapnya disampaikan pada Bab 2.

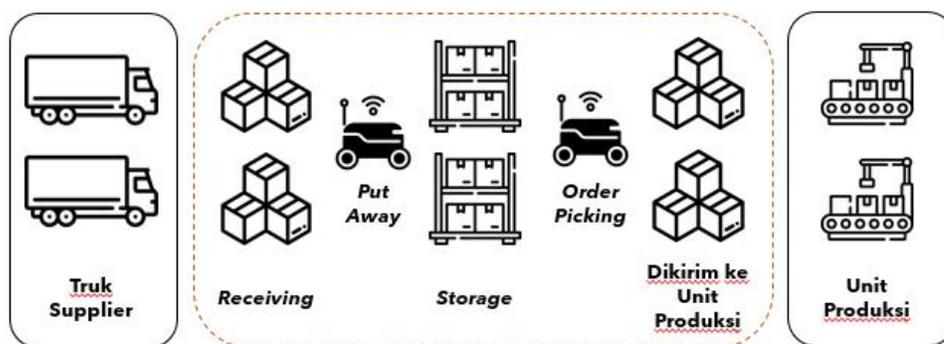
3.2 Tahap Pengumpulan dan Pengelolaan Data

Pada tahap pengumpulan dan pengelolaan data dilakukan pengumpulan data terkait data-data yang dibutuhkan dalam melakukan permodelan simulasi kegiatan

gudang *spareparts* PT. X. Berikut merupakan kegiatan yang dilakukan pada tahap pengumpulan dan pengelolaan data.

3.2.1 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan akan dijadikan *input* dalam model simulasi yang akan dibangun. Seperti yang telah disampaikan pada sebelumnya, pengambilan data dilakukan dengan wawancara langsung kepada pihak manajer gudang dan data historis terkait. Berikut merupakan gambaran sistem dan batasan sistem yang akan diamati dalam penelitian ini.



Gambar 3.4 Gambaran dan Batasan Sistem

Sistem yang akan diamati dalam penelitian ini adalah sistem yang berada pada kotak merah pada gambar 3.4 yaitu *receiving*, *put away*, dan *order picking*. Setelah mengetahui gambaran sistem pergudangan secara keseluruhan maka dilanjutkan dengan melakukan identifikasi enam elemen masalah mulai dari *problem owner* (pemilik kasus), *objectives* (tujuan), *decision criterion* (kriteria keputusan), *performance measure* (pengukuran performansi), *control input* (kontrol masukan), dan *context* (konteks). (Daellenbach & McNickle, 2005).

1. Problem Owner

Pemiliki kasus dalam penelitian ini adalah Departemen Pergudangan PT. X

2. Objectives

Tujuan dari penelitian ini adalah menentukan kebutuhan ekspansi kapasitas gudang *spareparts*.

3. Decision Criterion

Kriteria keputusan dari tujuan yang telah ditentukan adalah mengevaluasi rata-rata utilitas dan jumlah permintaan dapat terpenuhi.

4. *Performance Measure*

Pengukuran performansi yang menjadi standar sistem adalah jumlah pesanan yang dapat dipenuhi dengan sumber daya yang ada (*Pods* dan AGV)

5. *Control Inputs*

Control inputs yang akan diselesaikan dalam penelitian ini adalah *storage policy* untuk *spareparts* yang disimpan yaitu *first in first out* (FIFO) dan *undedicated* strategi.

6. *Context*

Context atau pihak yang dapat mempengaruhi pengambilan keputusan dalam kasus ini adalah Departemen Pergudangan dan Departemen Produksi PT. X.

a. Elemen Sistem

Setelah mendefinisikan elemen permasalahan maka dilanjutkan dengan menentukan komponen pada sistem. Komponen sistem terdiri atas entitas, aktivitas, sumber daya, dan kontrol (Siswanto, et al, 2018)

1. Entitas

Entitas adalah unit yang dikenai proses dalam suatu sistem. Entitas pada kasus ini adalah *box yang berisikan spareparts*.

2. Aktivitas

Aktivitas adalah kegiatan yang membutuhkan sumber daya di dalam suatu sistem dan dikenakan pada entitas. Aktivitas pada kasus ini adalah *receiving* (penerimaan produk), *put away* (peletakan produk ke penyimpanan), dan *order picking* (pengambilan produk dari penyimpanan).

3. Sumber Daya

Sumber daya adalah alat, tenaga, kerja, mesin, atau fasilitas yang digunakan dalam memproses entitas dengan cara melakukan aktivitas.

Sumber daya pada kasus ini adalah AGV, rak penyimpanan, dan operator gudang.

4. Kontrol

Merupakan suatu penanda pada aktivitas suatu sistem seperti dimana dan kapan terjadi suatu urutan proses. Kontrol pada kasus ini adalah jam operasional gudang, aturan pengambilan produk *first in first out* (FIFO), dan batas *stock level* pada setiap *Pods*.

b. Variabel Sistem

Setelah mendefinisikan elemen sistem maka dilanjutkan dengan menentukan variabel dalam sistem untuk mengetahui interaksi yang terjadi antar variabel di dalam sistem tersebut. Menurut Siswanto, et al., (2018) variabel sistem dibedakan menjadi tiga jenis yaitu variabel keputusan (*decision variables*), variabel respon (*response variables*), dan variabel status (*status variables*).

1. Variabel Keputusan

Variabel keputusan merupakan variabel yang sifatnya *independent* dan *controllable*. Pada kasus ini variabel keputusan diintegrasikan oleh jumlah *Pods* dan AGV yang digunakan pada kegiatan pergudangan PT. X yang akan mempengaruhi alokasi kapasitas gudang yang dibutuhkan.

2. Variabel Respon

Variabel respon adalah variabel yang nilainya dipengaruhi oleh variabel keputusan, dalam kasus ini adalah rata-rata utilitas gudang, total pesanan yang dilayani, dan lama waktu setiap pesanan mendapat pelayanan.

3. Variabel Status

Variabel status adalah kondisi pada sistem pada satu titik waktu, dalam kasus ini adalah status AGV (*idle/busy*), level persediaan pada setiap baris rak.

Tabel 3.1 Variabel Sistem

Jenis Variabel	Variabel Sistem
Variabel Keputusan	Jumlah <i>Pods inventory</i>
	Jumlah AGV

Jenis Variabel	Variabel Sistem
Variabel Respon	Alokasi ekspansi kapasitas gudang yang dibutuhkan
	Rata-rata utilitas gudang (%)
	Total pesanan yang dapat dilayani
	Lama waktu tunggu pelayanan
Variabel Status	Durasi produk <i>hold</i> akibat <i>overload</i>
	Status AGV (<i>idle/busy</i>)
	Level persediaan setiap baris <i>Pods</i>

c. Data Simulasi

Data sebagai *input* dalam simulasi dapat diklasifikasikan menjadi tiga jenis yaitu, data struktural, data operasional, dan data numerik (Harrell et al., 2012). Berikut merupakan data-data yang dibutuhkan dalam membangun model simulasi aktivitas pergudangan PT. X berdasarkan jenisnya.

1. Data Struktural

Merupakan data dari semua objek dalam sistem yang mampu menggambarkan konfigurasi sistem dan mengidentifikasi entitas yang diproses di dalamnya. Maka dalam kasus ini diintrepetasikan oleh tata letak gudang *spareparts*, spesifikasi dan jumlah AGV, serta spesifikasi dan jumlah rak penyimpanan / *Pods inventory*.

2. Data Operasional

Merupakan data yang akan menggambarkan bagaimana sistem beroperasi serta dimana, kapan, dan bagaimana suatu aktivitas atau proses dapat terjadi di dalam sistem. Maka dalam kasus ini diintrepetasikan oleh waktu antar kedatangan *supply spareparts*, waktu antar kedatangan permintaan *spareparts* dari unit produksi, dan jam operasional gudang.

3. Data Numerik

Merupakan data mengenai informasi kuantitatif yang akan dikumpulkan dari sistem. Jumlah *inbound* per hari per jenis *spareparts*, jumlah *outbound* per hari per jenis *spareparts*, waktu proses *put away*, waktu

proses *order picking*, *travel time*, kecepatan AGV, dan kapasitas rak penyimpanan.

Tabel 3.2 Data simulasi

Jenis Data	Elemen	Data yang Dibutuhkan
Data Struktural	Gudang	Tata letak dan ukuran gudang <i>spareparts</i>
	AGV	Spesifikasi AGV
		Jumlah AGV
	Rak	Spesifikasi Rak Penyimpanan
		Jumlah Rak Penyimpanan
Data Operasional	Gudang	Waktur antar kedatangan <i>supply spareparts</i>
		Waktur antar kedatangan permintaan <i>spareparts</i> dari unit produksi
		Jam operasional gudang
Data Numerik	Gudang	Jumlah <i>inbound</i> per hari per jenis <i>spareparts</i>
		Jumlah <i>outbound</i> per hari per jenis <i>spareparts</i>
	AGV	Waktu proses <i>put away</i>
		Waktu proses <i>order picking</i>
		<i>Travel time</i>
		Kecepatan AGV
	Rak	Kapasitas rak penyimpanan

3.2.2 Pengelolaan Data

Setelah melakukan pengumpulan data, langkah selanjutnya adalah pengelolaan terhadap setiap data tersebut. Data yang telah dimiliki dibersihkan dari data *outlier* atau tetap dimasukkan dengan perizinan dari pihak perusahaan. Selanjutnya dilakukan *fitting distribution* untuk masing-masing kelompok data. *Fitting distribution* merupakan proses mengetahui distribusi probabilitas yang sesuai dengan sampel data numerik yang telah dikumpulkan (Altiok & Melamed, 2007). Hasil dari *fitting distribution* akan menggambarkan pola persebaran dari kelompok data tersebut dan akan menjadi *input* pada model simulasi yang akan dibangun menggunakan model komputer (Kelton et al., 2015). Hal ini bertujuan agar hasil dari simulasi akan mendekati kondisi sistem sesungguhnya.

Pada kasus ini data *demand* akan sebagai dasar melakukan peramalan permintaan untuk beberapa tahun ke depan. Hasil peramalan tersebut mengintrepetasikan jumlah *demand* yang harus dipenuhi oleh perusahaan. Ramalan tersebut akan diproyeksikan dari tahun ke tahun.

3.2.3 Perumusan Hipotesis

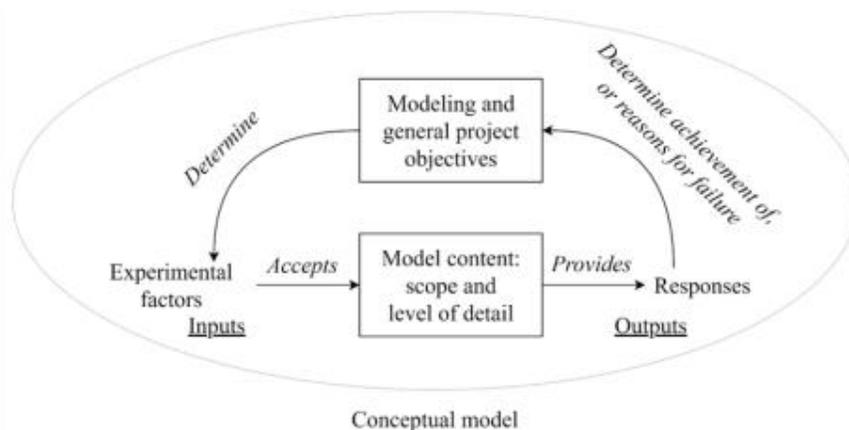
Hipotesis yang digunakan dalam penelitian ini adalah gudang *spareparts* PT.X membutuhkan ekspansi area untuk menampung *pods inventory* tambahan dikarenakan peningkatan *demand* dari segi variasi produk dan kuantitas unit yang dijual.

3.3 Tahap Permodelan Sistem

Langkah selanjutnya pada penelitian ini adalah membangun model simulasi dengan *software ARENA*.

3.3.1 Pembuatan Model Konseptual

Model konseptual adalah alat yang digunakan untuk memahami alur pada suatu proses secara sistematis dan mengetahui hubungan antara elemen dalam suatu sistem. Berikut merupakan *framework* perancangan model konseptual yang dapat membantu pembentukan model konseptual.

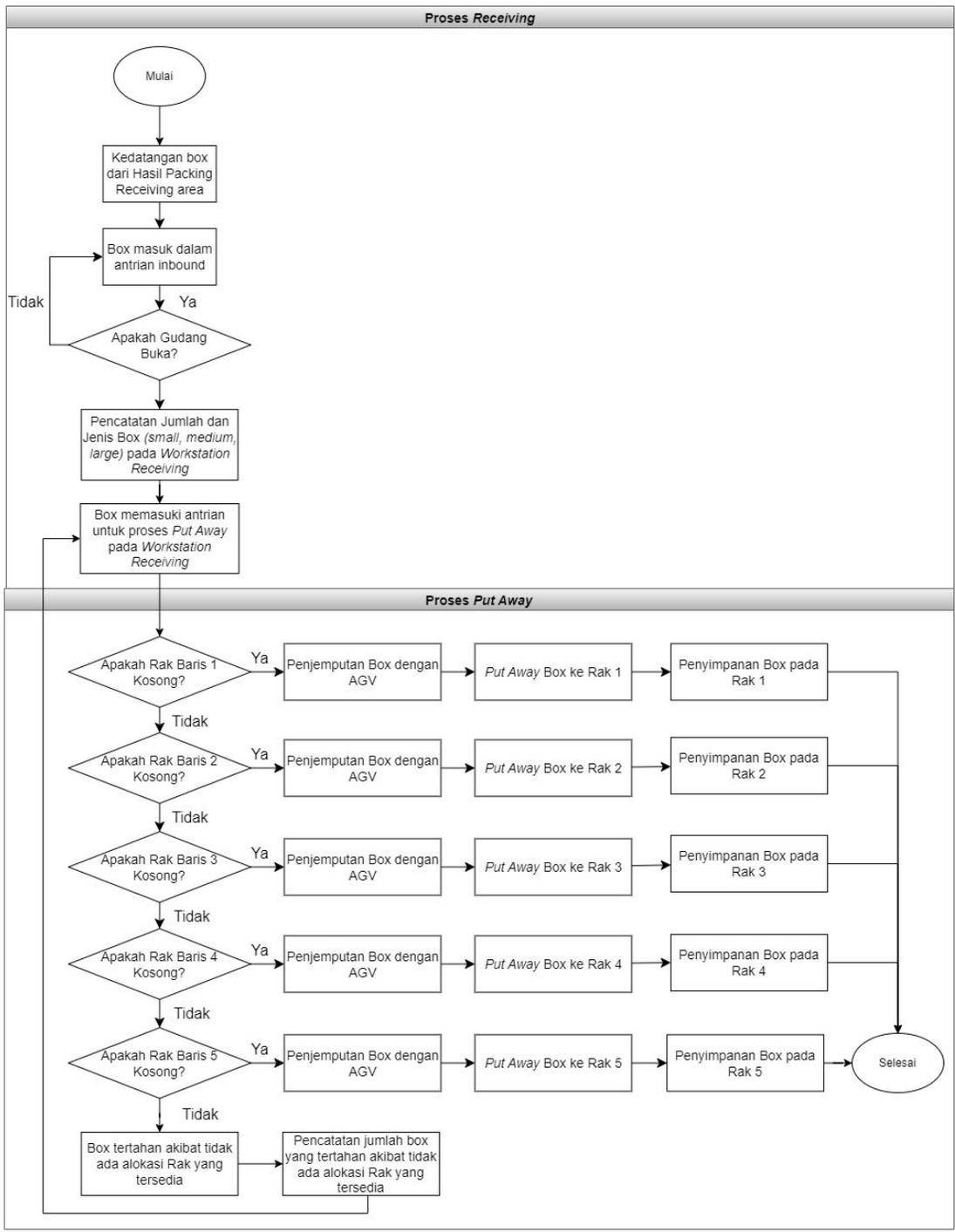


Gambar 3.5 Framework Perancangan Model Konseptual
(Robinson et al.,2011)

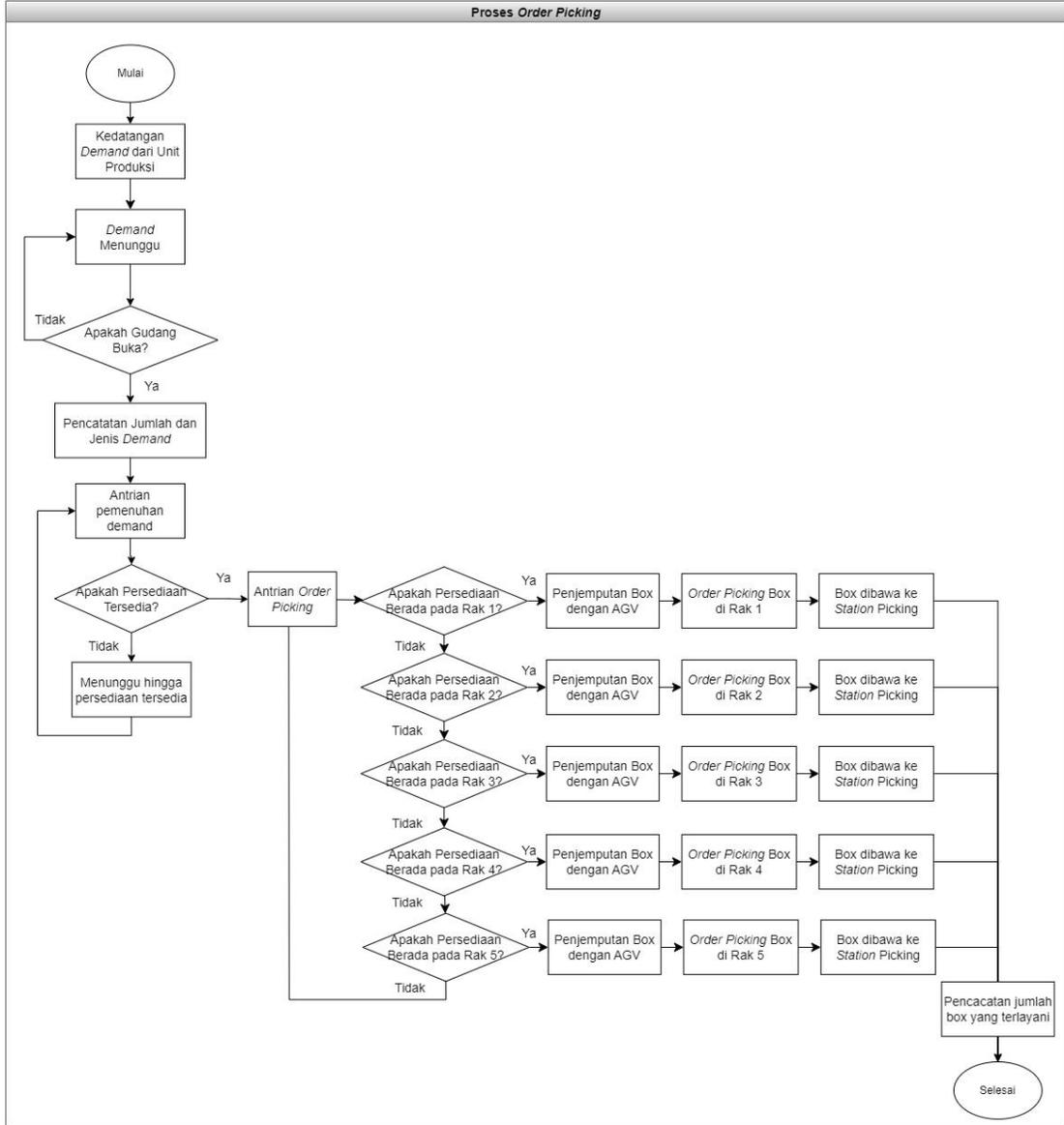
Terdapat beberapa langkah utama yang diperlukan dalam merancang suatu model konseptual antara lain:

1. Penetapan tujuan pemodelan
2. Identifikasi *output* model (*responses*)
3. Identifikasi *input* model (faktor eksperimental)
4. Penetapan konten model
 - *Scope*: batasan sistem yang dimasukkan dalam model
 - *Level of detail*: rincian komponen yang termasuk dalam *scope* model
 - Asumsi & simplifikasi model

Berikut adalah model konseptual untuk pergudangan PT. X untuk proses *receiving*, *put away* dan *order picking*.



Gambar 3.6 Model Konseptual Proses Receiving dan Put away



Gambar 3.7 Model Konseptual Proses *Order picking*

3.3.2 Simulasi Model

Setelah data telah disesuaikan dengan *fitting distribution*, kemudian data tersebut siap untuk menjadi *input* model simulasi. Model yang akan disimulasikan akan dibangun berdasarkan model konseptual yang telah divalidasi. Model akan dibangun dengan metode DES dan *software pembantu DES* yaitu ARENA.

3.3.3 Perhitungan Jumlah Replikasi

Simulasi menganut sistem *random input random output* (RIRO) sehingga, *input* dari simulasi bersifat acak yang menyebabkan hasil luarannya berdifat acak pula. Dengan menjalankan model simulasi hanya sebanyak satu kali, belum dapat menjamin bahwa hasil tersebut telah representatif terhadap *real system*. Oleh sebab itu, dibutuhkan sejumlah replikasi untuk mengatasi sifat RIRO pada simulasi. Jumlah awal replikasi (n) harus ditetapkan terlebih dahulu dan kemudian hasil dari menjalankan (n) replikasi, *half width* (hw) harus dihitung. *Half width* dapat dihitung menggunakan persamaan sebagai berikut.

$$\hat{h} w' = \hat{h} w \times e \quad (3.1)$$

dengan,

hw : *half width* yang diharapkan

hw' : *half width* eksisting dari simulasi

e : *absolute error* (%)

Prosedur berikutnya adalah membandingkan hw yang diharapkan (hw) dengan *half width* eksisting dari simulasi (hw'). Jika $hw < hw'$ (kesalahan atau *error* yang ada lebih kecil dari kesalahan yang diinginkan), sehingga jumlah replikasi yang ditentukan sebelumnya sudah cukup untuk menjalankan simulasi (Siswanto et al., 2018)

3.3.4 Verifikasi dan Validasi

Proses verifikasi model simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan fitur *debugging* (*syntax error*) atau animasi (*semantic error*). *Syntax error* merupakan kesalahan dalam penulisan kode atau notasi yang menyebabkan model tidak dapat berjalan dengan benar, sedangkan *semantic error* merupakan kesalahan logika pada model (Siswanto et al., 2018). Proses verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model tersebut sudah dibangun secara benar. Proses validasi adalah proses menentukan apakah model telah merepresentasikan *real system* dengan akurat (Hoover & Perry, 1990).

Validasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan n replikasi dengan hasil dari *real system* menggunakan statistik inferensial. Secara umum uji student's t dilakukan untuk menentukan apakah data sampel dari model simulasi dan *real system* memiliki parameter populasi yang sama (Siswanto et al., 2018). Jika kedua sistem tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, berarti model simulasi sudah *valid* dan mampu untuk merepresentasikan *real system*. Berikut merupakan langkah-langkah untuk melakukan uji Student's t (Siswanto et al., 2018).

1. Tentukan hipotesa awal dan hipotesa alternatif untuk membandingkan rata-rata *output* pada *real system* dan rata-rata *output* dari model simulasi sebagai berikut

$$H_o: \mu_1 = \mu_2 \quad (3.2)$$

$$H_1: \mu_1 \neq \mu_2 \quad (3.3)$$

dengan,

μ_1 : rata-rata *output* pada *real system*

μ_2 : rata-rata *output* pada model simulasi

H_o : hipotesis awal

H_1 : hipotesis alternatif

Apabila H_o secara statistik benar, maka *real system* dan model simulasi tidak berbeda secara signifikan dan dinyatakan *valid*. Namun, jika H_1 yang dikatakan benar secara statistik maka *real system* dan model simulasi berbeda secara signifikan dan dinyatakan tidak *valid*.

2. Hitung rata-rata standar deviasi dari masing-masing sampel atau populasi yang dibandingkan dan tentukan standar deviasi gabungan (S_p)

$$S_p = \sqrt{\frac{((n_1 - 1) S_1^2 + (n_2 - 1) S_2^2)}{(n_1 + n_2 - 2)}} \quad (3.4)$$

dengan,

S_1 : standar deviasi sampel 1 (pada *real system*)

S_2 : standar deviasi sampel 2 (pada model simulasi)

n_1 : jumlah data sampel 1

n_2 : jumlah data sampel 2

S_p : standar deviasi gabungan

3. Tentukan tingkat signifikansi yang akan digunakan (α). Hitung *t-critical* dan *degree of freedom* (df). Pada *software yang digunakan* tentukan interval estimasi dari nilai data *output* dihitung menggunakan (α) yang sama.

$$df = n_1 + n_2 - 2 \quad (3.5)$$

dengan,

n_1 : jumlah data sampel 1 (pada *real system*)

n_2 : jumlah data sampel 2 (pada model simulasi)

df : *degree of freedom* / derajat kebebasan

4. Hitung nilai t dengan persamaan sebagai berikut.

$$t = \frac{((x_1) - (x_2)) - (\mu_1 - \mu_2)}{S_p \sqrt{(1/n_1 + 1/n_2)}} \quad (3.6)$$

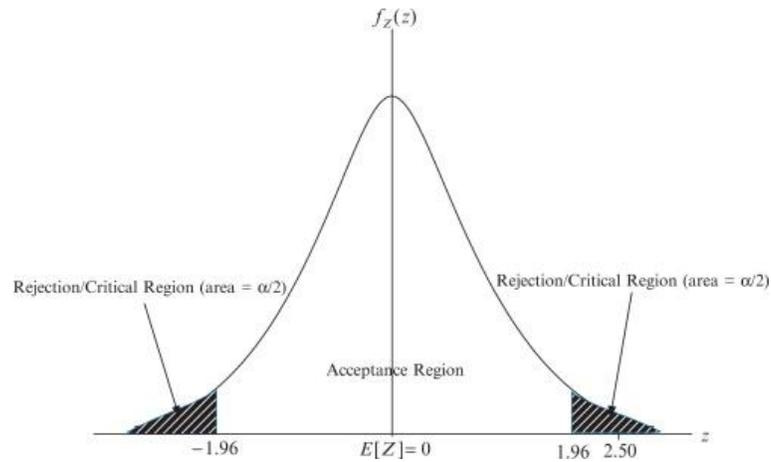
dengan,

(x_1) : rata-rata sampel populasi 1 (pada *real system*)

(x_2) : rata-rata sampel populasi 2 (pada model simulasi)

Pada tahap no. 1 diketahui bahwa $H_0: \mu_1 = \mu_2$ maka, $\mu_1 - \mu_2 = 0$

5. Mengambil kesimpulan dengan cara membandingkan nilai t dari α dan nilai t dari data. Jika t data berada pada daerah penerimaan, maka dapat disimpulkan bahwa *output real system* dan *output model simulasi* tidak berbeda secara signifikan dan dikatakan valid. Jika t data berada pada daerah penolakan, maka dapat disimpulkan bahwa *output real system* dan *output model simulasi* berbeda secara signifikan dan dikatakan model tidak valid.



Gambar 3.8 Ilustrasi Grafik t-test

(Ramachandran, K.M. & Tsokos, C.P.,2021)

3.3.5 Numerical Experiment

Numerical experiment merupakan bentuk dari eksperimen guna meminimisi biaya, risiko, dsb. Pada penelitian ini, skenario perbaikan ditujukan untuk mencapai target utilitas gudang, meminimasi lama waktu tunggu pelayanan, dan meminimisasi *hold* produk *overload* akibat tidak tersedianya rak penyimpanan saat dibutuhkan. Setiap skenario perbaikan akan di *running* dan akan dipilih skenario yang terbaik sebagai rekomendasi untuk PT. X. Skenario perbaikan pada penelitian ini berdasarkan kebijakan perusahaan untuk tidak menambah jumlah luasan gudang. Hal ini disebabkan karena luas lahan yang ada tidak dapat di ekspansi lagi. Awalnya perusahaan akan mereduksi layout yang ada karena lahan akan dialokasikan untuk plant baru yang perlu diperluas. Berikut merupakan rancangan eksperimen yang akan dilakukan.

Tabel 3.3 Rancangan Eksperimen Penelitian

Faktor	Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	#AGV	#Unit Produksi
Eksisting	0	112	40	16	2200
#Pods inventory	1	116	40	16	2200
	2	120	40	16	2200
#Cell/pods	3	112	48	16	2200
	4	112	56	16	2200

Faktor	Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	#AGV	#Unit Produksi
#Pods inventory dan #Cell/pods	5	116	48	16	2200
	6	116	56	16	2200
	7	120	48	16	2200
	8	120	56	16	2200

Skenario perbaikan pada Tabel 3.3 berdasarkan kondisi eksisting PT.X dan penelitian sebelumnya, *resource* yang digunakan adalah 16 unit AGV, *pods* inventory 112 unit dengan kapasitas 40 *polybox per unitnya*, dan jumlah unit produksi sebanyak 2200 unit. Faktor eksperimen yang digunakan merupakan penambahan jumlah *pods* inventory, penambahan jumlah kapasitas per *pods*, dan kombinasi penambahan jumlah *pods* inventory beserta jumlah kapasitas per *pods*. Skenario 0 merupakan kondisi eksisting. Skenario 1 dan 2 merupakan skenario perbaikan dengan menambah jumlah *pods* inventory. Skenario 3 dan 4 merupakan skenario perbaikan dengan menambah jumlah kapasitas *pods* inventory. Pada kondisi eksisting terdapat 5 tingkatan rak per *pods*, di skenario 3 menjadi 6 tingkatan, dan di skenario 4 menjadi 7 tingkatan. Skenario 5 hingga 8 merupakan kombinasi 2 faktor eksperimen yaitu penambahan jumlah *pods* inventory dan kapasitas per *pods*.

3.4 Evaluasi Performansi Setiap Skenario

Evaluasi performansi setiap skenario dilakukan dengan membandingkan hasil *running setiap skenario* perbaikan. Perbandingan dilakukan pada setiap kebijakan jumlah jumlah *pods* inventor yang digunakan terhadap performansi sistem.

3.5 Kesimpulan dan Saran

Dari analisis pada setiap skenario perbaikan maka dapat ditarik kesimpulan dan rekomendasi yang dapat diajukan pada PT. X.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BAB 4

PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

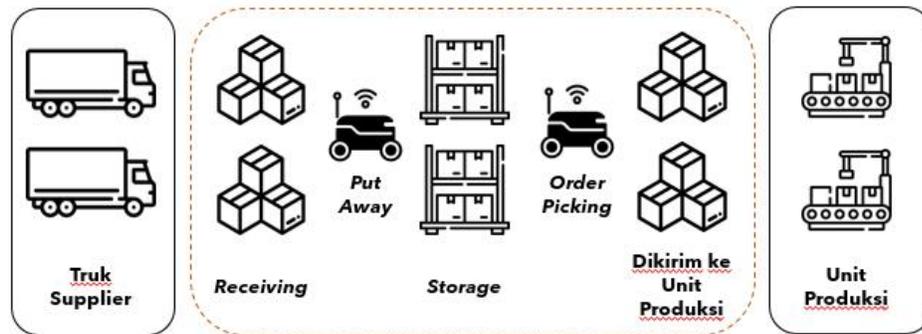
Pada bab ini akan dijelaskan mengenai proses melakukan pengumpulan data, pengolahan data, pengembangan model simulasi, validasi model, verifikasi model, penyusunan skenario perbaikan, dan hasil simulasi.

4.1 Pengumpulan Data

Pada subbab ini akan dijelaskan terkait data-data yang dibutuhkan dalam penelitian ini mencakup beberapa aspek yaitu gambaran umum gudang, jumlah dan spesifikasi AGV, jumlah dan spesifikasi rak atau *pods*, jumlah *inbound* harian, jumlah *outbound* harian, waktu antar kedatangan *inbound*, waktu antar kedatangan *outbound*, jarak antar *workstation* dengan rak, serta perhitungan waktu tempuh.

4.1.1. Gambaran Umum Gudang Spareparts

PT. X memiliki gudang *spareparts* yang berfungsi untuk menyimpan persediaan *spareparts* yang dibutuhkan oleh unit produksi. *Spareparts* yang dikelola secara umum diklasifikasikan berdasarkan ukuran *spareparts* tersebut yaitu *small parts*, *medium parts*, *large parts*. Gudang ini terletak di Cikampek, Karawang, Jawa Barat yang memiliki luas 18 x 26 m. Kegiatan operasional dalam gudang ini dibagi menjadi beberapa kegiatan utama yaitu *receiving* (proses penerimaan produk dari supplier), *staging* (proses penyusunan part untuk membuat order ID yang akan menjadi dasar proses *put away*), *put away* (proses peletakan dan penyimpanan part pada *pods*), dan *picking* (proses pengambilan produk untuk memenuhi permintaan). Produk yang dikelola dalam gudang semua dalam satuan *polybox*. Dalam kegiatan operasional pergudangan, PT. X telah mengimplementasikan *Automated Guide Vehicle* (AGV) sebagai alat *material handling* dan didukung adanya *pods inventory* sebagai rak penyimpanan. Implementasi dari AGV ini menganut moda *goods to man*. Berikut merupakan gambaran kegiatan operasional



Gambar 4.1 Ilustrasi Kegiatan Operasional Gudang *Spareparts* PT.X

Kegiatan operasional pergudangan PT.X pada penelitian dimulai dari proses *receiving*. Proses *receiving* merupakan proses penerimaan *supply* part yang telah dimasukkan dalam *polybox*. Yang bertugas dalam peletakkan part ke dalam *polybox* merupakan operator bongkar muat yang tidak menjadi cakupan dalam sistem pergudangan pada penelitian ini. *Polybox* tersebut akan memasuki antrian untuk tahap *put away*. Operator *receiving* akan melakukan scan barcode setiap *polybox* yang dikelola sehingga sistem akan memanggil AGV untuk membawa *pods inventory* sebagai tempat penyimpanan *polybox* tersebut ke *workstation receiving*. Setelah *pods inventory* sampai di *workstation receiving* maka, operator akan meletakkan *polybox* ke dalam *pods inventory* sesuai dengan arahan sistem. Bila telah usai maka AGV akan membawa *pods inventory* kembali ke lokasi semula *pods inventory* tersebut. *Pods inventory* akan tetap berada pada tempatnya sampai muncul signal untuk *order picking polybox* yang terdapat pada *pods* tersebut.

Operator pada *workstation order picking* akan meng-scan daftar permintaan sesuai dengan jadwal *picking* yang telah ditentukan. Sistem akan mengarahkan AGV untuk menjemput *pods inventory* yang berisikan *polybox* part sesuai dengan kebutuhan *order picking*. Setelah *pods inventory* sampai pada *workstation order picking* maka operator *order picking* akan mengambil *polybox* yang dibutuhkan dan bila telah usai maka *pods inventory* tersebut kembali ke tempat semula. Bila daftar permintaan telah terpenuhi semua maka, *polybox* yang berisikan part tersebut dapat dikirim ke unit produksi.

Pada kondisi eksisting PT.X menggunakan 16 unit AGV, 112 *Pods Inventory*, dan 2 *workstation* yaitu *workstation 1 (receiving)* dan *workstation 2 (order picking)*. Kegiatan operasional gudang dilakukan dengan 2 shift kerja. Dengan rincian shift pertama berjalan pada pukul 07.00 – 16.00 sedangkan shift kedua pukul 16.00 – 24.00. Berikut merupakan rincian jadwal operasional gudang yang disajikan dalam tabel 4.1

Tabel 4.1 Jadwal Shift Kerja Gudang *Spareparts* PT. X

<i>Shift</i>	<i>Waktu</i>	<i>Keterangan</i>
<i>Shift 1</i>	07.00 - 09.30	Normal
	09.30 - 09.40	
	09.40 - 12.00	
	12.00 - 13.00	Istirahat
	13.00 - 14.20	Normal
	14.20 - 14.30	
	14.30-16.00	
<i>Shift 2</i>	16.00 - 18.30	Normal
	18.30 - 18.40	
	18.40 - 20.00	
	20.00 - 21.00	Istirahat
	21.00 - 22.20	Normal
	22.20 - 22.30	
	22.30 - 24.00	

Sumber: (PT.X, 2024)

4.1.2 Jumlah dan Spesifikasi AGV

Pada kondisi saat ini, yang merupakan hasil dari penelitian sebelumnya. PT. X menggunakan 16 unit AGV untuk memenuhi kebutuhan operasional. 16 unit AGV tersebut dialokasikan 14 unit sebagai AGV aktif dan 2 unit sebagai AGV cadangan bila terjadi kerusakan yang membutuhkan perawatan. Unit yang dialokasikan sebagai cadangan bila terjadi kerusakan akan digilir bergantian setiap harinya dengan tujuan pemerataan utilitas AGV. Berikut merupakan rincian spesifikasi AGV yang digunakan disajikan pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Spesifikasi AGV

AGV			
Gambar	Spesifikasi	Nilai	Unit
	Panjang	1.05	cm
	Lebar	1.05	cm
	Tinggi	35	cm
	Kapasitas Beban	1000	kg
	Kecepatan	max. 3	m/s
	Tipe / Merk	GEEK+	
	Baterai	Lithium-ion battery, DC50.4V, 39Ah	

Sumber: (PT.X dan Geekplus.com, 2024)

4.1.3 Jumlah dan Spesifikasi Pods inventory

Pods inventory dibutuhkan sebagai tempat penyimpanan berupa rak pada implementasi AGV. *Pods inventory* akan ditopang oleh AGV saat terjadi kebutuhan *put away* maupun *picking*. Saat ini PT.X memiliki 112 *Pods* untuk memenuhi kebutuhan operasional. Setiap *Pods* memiliki 5 tingkatan rak. Setiap tingkat rak mampu menampung 4 *polybox* dan bersifat *mirror* sehingga 1 tingkat rak dapat menyimpan 8 *polybox*. Secara total dalam setiap *Pods inventory* mampu menyimpan 40 *polybox*. Berikut merupakan spesifikasi lengkap dari *Pods inventory* yang disajikan dalam Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Spesifikasi *Pods inventory*

Rak Penyimpanan /Pods			
Gambar	Spesifikasi	Nilai	Unit
	Panjang	1	m
	Lebar	1	m
	Tinggi	2.35	m
	Kapasitas Beban	max. 1000	kg
	Kapasitas Box	40	box
	Sifat	Mirror	

Sumber: (PT.X dan Geekplus.com, 2024)

4.1.4 Jumlah Box untuk Proses Receiving Harian

Proses *receiving* merupakan proses penerimaan *spareparts* dari supplier setiap harinya dalam bentuk *polybox*. Yang bertugas membongkar muat *spareparts* dari truk

dan meletakkan dalam satuan *polybox* merupakan operator bongkar muat dan bukan tanggung jawab operator receiving. Proses *receiving* akan menerima *polybox* yang berisi part dengan ketentuan setiap *polybox* berisi part dengan jenis seragam (homogen). Proses *receiving* dilakukan selama jam operasional gudang berdasarkan shift kerja. Proses *receiving* dalam sistem pergudangan ini berperan sebagai inbound. Jumlah inbound setiap harinya bervariasi. Menurut keterangan dari PT. X, inbound paling banyak terjadi biasanya pada hari senin minggu pertama pada setiap bulannya. Berikut merupakan data inbound pada bulan Januari 2024 disajikan dalam Tabel 4.4. Data bulan Januari ini karena tahun ini baru muncul data tersebut dan bila dibandingkan dengan tahun lalu maka belum terdapat perubahan. Dari keterangan pegawai gudang, tahun ini gudang ada rencana penambahan unit produksi yang akan diberlakukan pada kuartal 2. Untuk kondisi eksisting maka inbound pada bulan Januari ini akan digunakan dengan memilih jumlah inbound terbesar dalam bulan tersebut yang bertujuan melakukan perhitungan dari jumlah inbound terbesar maka, diharapkan hasil perhitungan dapat mengcover saat produk yang dikelola lebih sedikit.

Tabel 4.4 Jumlah *receiving polybox* bulan Januari.

Hari	Inbound								
1	1326	8	1361	15	1369	22	1312	29	1336
2	1339	9	1334	16	1319	23	1318	30	1321
3	1369	10	1358	17	1336	24	1313		
4	1363	11	1334	18	1308	25	1315		
5	1369	12	1369	19	1369	26	1369		
6	1353	13	1366	20	1360	27	1343		
7	1322	14	1349	21	1347	28	1316		

Sumber: (PT.X, 2024)

4.1.5 Jumlah Box untuk Proses Picking Harian

Proses *picking* berperan sebagai outbound pada kegiatan pergudangan. Proses *picking* merupakan proses pengambilan produk yang disimpan untuk memenuhi permintaan dari unit produksi. Jumlah *box* akan dipengaruhi oleh jumlah unit produksi per harinya. Pada kondisi eksisting jumlah unit produksi per harinya

sebanyak 2200 unit sepeda motor. Kegiatan *picking* dilakukan terjadwal sebanyak 18 kali per harinya dengan jumlah *box* 67 ± 5 *box per picking*. Jadwal *picking* akan dijelaskan lebih rinci pada subab 4.1.7

4.1.6 Waktu antar Kedatangan Receiving

PT. X memiliki banyak supplier yang melakukan pengiriman setiap harinya sesuai dengan kebutuhan unit produksi. Waktu antar kedatangan *supply spareparts* akan berdampak pada antrian proses *receiving*. Jumlah kedatangan *supply* terjadi sekitar 325 hingga 370 kali dalam sehari dengan distribusi waktu antar kedatangan akan dijelaskan lebih rinci pada subab 4.2.

Tabel 4.5 Waktu antar kedatangan *polybox*

No.	Qty (Box)	Waktu Kedatangan Inbound
1	1	7:31:12 AM
2	1	7:31:22 AM
3	4	7:33:08 AM
4	1	7:37:17 AM
5	1	7:38:23 AM
6	2	7:39:34 AM
7	1	7:39:48 AM
8	1	7:41:31 AM
9	2	7:41:40 AM
10	1	7:42:00 AM
...
...
367	2	11:16:03 PM

Sumber: (PT.X, 2024)

4.1.7 Waktu antar Kedatangan Picking

Kegiatan *picking* akan dilakukan sebanyak 18 kali setiap harinya. Jadwal *picking* ditentukan oleh unit produksi. Berikut merupakan waktu antar kedatangan *picking* yang disajikan dalam Tabel 4.4.

Tabel 4.6 Jadwal *Picking*

<i>Outbound ke-n</i>	Waktu Kedatangan	Waktu antar Kedatangan (menit)
1	7:00:00 AM	
2	7:00:00 AM	0
3	8:00:00 AM	60
4	8:30:00 AM	20
5	9:00:00 AM	40
6	9:30:00 AM	40
7	10:00:00 AM	20
8	11:00:00 AM	60
9	11:00:00 AM	0
10	1:00:00 PM	120
11	1:00:00 PM	0
12	2:00:00 PM	60
13	2:30:00 PM	20
14	3:00:00 PM	40
15	4:00:00 PM	60
16	5:00:00 PM	60
17	6:00:00 PM	60
18	7:00:00 PM	60

Sumber: (PT.X, 2024)

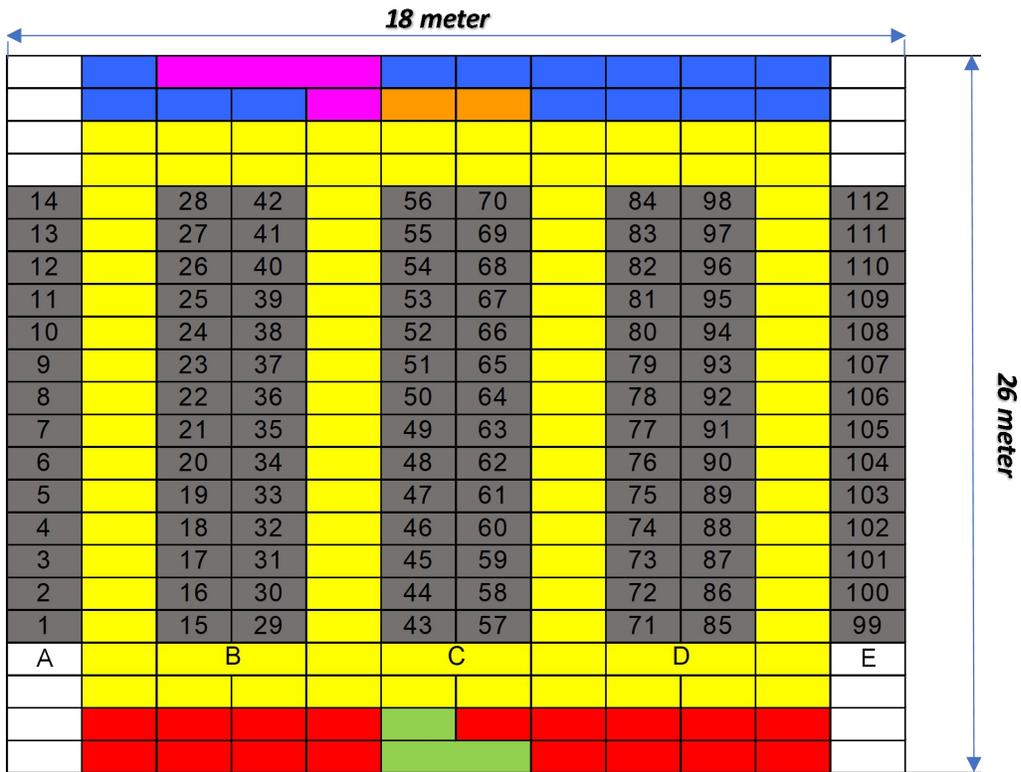
4.1.8 Jarak antara Work Station dan Rak Penyimpanan

Gudang *spareparts* PT.X memiliki dua work station yaitu work station 1 (WS 1) untuk kegiatan *receiving* dan work station 2 (WS 2) untuk kegiatan *picking*. Diantara WS 1 dan WS 2 terdapat alokasi area untuk rak penyimpanan (*pods inventory*). Mekanisme dalam proses pergudangan ini adalah pertama saat supplier datang maka operator akan melakukan bongkar muat dan mengepak *sparepart* ke dalam *polybox* dengan ketentuan setiap *polybox* berisikan part yang sejenis (homogen). *Polybox tersebut* akan disusun di atas kereta dorong dan masuk ke dalam antrian proses *receiving*. Operator pada WS 1 akan memeriksa setiap *polybox tersebut* mencakup jenis maupun jumlah *spareparts*. Jika telah sesuai maka akan diinput dalam sistem untuk proses *inbound* dan sistem akan menugaskan AGV yang available untuk bergerak bersama rak penyimpanan yang dituju untuk menjemput *polybox tersebut*.

Dalam satu *Pods* inventory mampu menyimpan 40 *polybox*. Setelah *polybox* diletakkan pada *Pods* inventory yang ditugaskan maka *Pods* tersebut akan kembali ke tempat semula dan disimpan hingga muncul permintaan dari bagian *picking*. Pada gudang *spareparts* terdapat 5 lorong yaitu lorong A, lorong B, lorong C, lorong D, dan lorong E. Pada setiap lorong memiliki alokasi *Pods* yang berbeda-beda khususnya untuk lorong yang berada pada tepian gudang yaitu lorong A dan lorong E. Pada subab ini akan dijelaskan terkait denah dan jarak antar *workstation* ke setiap *Pods* inventory. Misalnya WS 1 ke R1 merupakan jarak dari work station 1 (*receiving*) menuju rak no 1. Sedangkan WS 2 adalah work station untuk *picking*. Operator di WS 2 akan menginput permintaan dari unit produksi berdasarkan jadwal yang telah dijelaskan pada subab 4.1.7. Setelah permintaan diinput pada sistem maka sistem akan menugaskan AGV yang available untuk menjemput *Pods* inventory yang berisikan *spareparts* yang sesuai dengan permintaan dan membawanya ke WS 2. Setelah *Pods* tersebut sampai di WS 2 maka operator akan mengambil *spareparts* tersebut dan *Pods* inventory dikembalikan ke lokasi awal oleh AGV. *Polybox* yang telah diambil dari *Pods* inventory oleh operator akan disusun pada kereta dorong dan bila sudah semua permintaan berada di kereta dorong maka kereta dorong dapat dikirim ke unit produksi. Berikut merupakan ilustrasi tata letak gudang *spareparts* PT. X

Keterangan

	<i>Workstation Receiving</i>
	Area Antrian Receiving
	<i>Pods</i> Inventory
	Jalur AGV
	<i>Charging Station</i>
	<i>Free area (Maintenance & Equipment)</i>
	<i>Work station Picking</i>
	Area Antrian <i>Picking</i>



Gambar 4.2 Tata Letak Gudang Spareparts PT.X

Berikut merupakan data mengenai jarak antar workstation 1 (*receiving*) menuju rak dan munju workstation 2 (*picking*) dalam satuan jarak meter (m).

Tabel 4.7 Jarak WS 1 ke Rak

Jarak WS 1 ke Rak														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(unit)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(m)	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(unit)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(m)	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(unit)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(m)	4.73	5.91	7.09	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(unit)	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17
(m)	4.73	5.91	7.09	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(unit)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(m)	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(unit)	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20
(m)	8.27	9.45	10.64	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(unit)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
(m)	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64	24.82	26.00	27.18
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(unit)	10	11	12	13	14	15	16	17	18	19	20	21	22	23
(m)	11.82	13.00	14.18	15.36	16.55	17.73	18.91	20.09	21.27	22.45	23.64	24.82	26.00	27.18

Ket.

1 unit = 1,18 m

Sumber: (PT. X, 2023)

Tabel 4.8 Jarak WS 2 ke Rak

Jarak Rak ke WS 2														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(unit)	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
(m)	24.82	23.64	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(unit)	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8
(m)	24.82	23.64	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(unit)	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
(m)	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45	8.27	7.09	5.91
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(unit)	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5
(m)	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45	8.27	7.09	5.91
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(unit)	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
(m)	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45	8.27	7.09
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(unit)	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9	8	7	6
(m)	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64	9.45	8.27	7.09
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(unit)	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
(m)	26.00	24.82	23.64	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(unit)	22	21	20	19	18	17	16	15	14	13	12	11	10	9
(m)	26.00	24.82	23.64	22.45	21.27	20.09	18.91	17.73	16.55	15.36	14.18	13.00	11.82	10.64

Ket.

1 unit = 1,18 m

Sumber: (PT. X, 2023)

4.1.9 Perhitungan Waktu Tempuh

Setelah mengidentifikasi terkait tata letak gudang *spareparts* PT. X secara menyeluruh beserta ukurannya, maka langkah selanjutnya dapat melakukan perhitungan waktu tempuh yang dibutuhkan untuk mobilitas dari *workstation* ke rak maupun sebaliknya. Waktu tempuh dihitung dengan cara membagi jarak tempuh dengan kecepatan rata-rata AGV. Rata – rata kecepatan AGV yang digunakan pada gudang *spareparts* adalah 2 m/detik. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Tempuh (detik)} \\ = (\text{Jarak Tempuh (m)})/(\text{Kecepatan AGV (m/detik)}) \end{aligned} \quad (4.1)$$

Contoh perhitungan:

$$\text{Waktu Tempuh (detik)} = (\text{Jarak Tempuh (m)})/(\text{Kecepatan AGV (m/detik)})$$

$$\text{Waktu Tempuh WS 1 ke A1 (detik)} = (23,64 \text{ (m)})/(2 \text{ (m/detik)})$$

$$\text{Waktu Tempuh WS 1 ke A1 (detik)} = 11,82$$

Berikut merupakan rekap hasil perhitungan waktu tempuh dari *workstation* 1 ke rak dan rak ke *workstation* 2 disajikan pada Tabel 4.7.

Tabel 4.9 Waktu Tempuh WS 1 ke Rak

Waktu tempuh WS 1 ke Rak														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(detik)	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(detik)	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(detik)	2.36	2.95	3.55	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(detik)	2.36	2.95	3.55	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(detik)	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(detik)	4.14	4.73	5.32	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(detik)	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82	12.41	13.00	13.59
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(detik)	5.91	6.50	7.09	7.68	8.27	8.86	9.45	10.05	10.64	11.23	11.82	12.41	13.00	13.59

Tabel 4.10 Waktu Tempuh WS 2 ke Rak

Waktu tempuh WS 2 ke Rak														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(detik)	12.41	11.82	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(detik)	12.41	11.82	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(detik)	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73	4.14	3.55	2.95
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(detik)	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73	4.14	3.55	2.95
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(detik)	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73	4.14	3.55
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(detik)	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32	4.73	4.14	3.55
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(detik)	13.00	12.41	11.82	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(detik)	13.00	12.41	11.82	11.23	10.64	10.05	9.45	8.86	8.27	7.68	7.09	6.50	5.91	5.32

4.1.10 Waktu Total Proses Put away

Waktu total proses *put away* merupakan akumulasi dari dua kali waktu tempuh AGV dari *workstation* menuju rak untuk melakukan *put away* setelah proses *receiving* dan ditambah oleh waktu proses *put away* itu sendiri. Dikalikan dua karena setelah rak selesai diproses di *workstation* maka rak tersebut akan kembali ke posisi semula. Digunakan asumsi waktu proses *put away* adalah 15 detik per prosesnya. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$\begin{aligned} \text{Waktu Total Proses Put Away (detik)} \\ = (2x \text{ Waktu tempuh WS 1 ke Rak}) + \text{Waktu Proses} \end{aligned} \quad (4.2)$$

Berikut merupakan hasil rekap perhitungan waktu total proses *put away* yang disajikan dalam Tabel 4.9.

Tabel 4.11 Total Waktu Proses *Put away*

Total Waktu Proses Put Away														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(detik)	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(detik)	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(detik)	19.73	20.91	22.09	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(detik)	19.73	20.91	22.09	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(detik)	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(detik)	23.27	24.45	25.64	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(detik)	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64	39.82	41.00	42.18
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(detik)	26.82	28.00	29.18	30.36	31.55	32.73	33.91	35.09	36.27	37.45	38.64	39.82	41.00	42.18

4.1.11 Waktu Total Proses Picking

Waktu total proses *picking* merupakan akumulasi dari dua kali waktu tempuh AGV dari rak menuju *workstation 2* untuk melakukan *picking* dan ditambah oleh waktu proses *picking* itu sendiri. Jarak tempuh dikalikan 3 karena diasumsikan sebelum AGV bergerak ke rak selanjutnya maka harus kembali ke WS 2. Sehingga terjadi 3x trip yaitu saat AGV membawa rak WS 2, AGV membawa kembali rak ke lokasi semula, dan AGV kembali ke WS 2 sebelum melakukan penjemputan ke rak setelahnya. Digunakan asumsi waktu proses *picking* adalah 15 detik per prosesnya. Berikut merupakan persamaan yang digunakan.

$$\begin{aligned} & \text{Waktu Total Proses Picking (detik)} \\ & = (3 \times \text{Waktu tempuh rak ke WS 2}) + \text{Waktu Proses} \end{aligned} \quad (4.3)$$

Berikut merupakan hasil rekap perhitungan waktu total proses *put away* yang disajikan dalam Tabel 4.10.

Tabel 4.12 Total Waktu Proses *Picking*

Total Waktu Proses <i>Picking</i>														
Rak A	14	13	12	11	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1
(detik)	52.23	50.45	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18
Rak B	28	27	26	25	24	23	22	21	20	19	18	17	16	15
(detik)	52.23	50.45	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18
Rak B	42	41	40	39	38	37	36	35	34	33	32	31	30	29
(detik)	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18	27.41	25.64	23.86
Rak C	56	55	54	53	52	51	50	49	48	47	46	45	44	43
(detik)	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18	27.41	25.64	23.86
Rak C	70	69	68	67	66	65	64	63	62	61	60	59	58	57
(detik)	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18	27.41	25.64
Rak D	84	83	82	81	80	79	78	77	76	75	74	73	72	71
(detik)	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95	29.18	27.41	25.64
Rak D	98	97	96	95	94	93	92	91	90	89	88	87	86	85
(detik)	54.00	52.23	50.45	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95
Rak E	112	111	110	109	108	107	106	105	104	103	102	101	100	99
(detik)	54.00	52.23	50.45	48.68	46.91	45.14	43.36	41.59	39.82	38.05	36.27	34.50	32.73	30.95

4.2 Pengolahan Data

Dari data yang telah dikumpulkan pada subbab 4.1 maka dilanjutkan dengan pengolahan data. Pengolahan data dalam penelitian ini akan menggunakan *software ARENA* untuk media membangun model simulasi kejadian diskrit. Sebagai data input yang digunakan, maka data yang dikumpulkan harus melewati proses *distribution fitting*. Proses tersebut akan memanfaatkan *input analyzer* pada *software ARENA*.

4.2.1 Jumlah Box untuk Proses Receiving Harian

Jumlah inbound harian PT. X bervariasi namun paling banyak terjadi pada hari senin. Berdasarkan dari *input analyzer*, jumlah inbound yang datang dari supplier memiliki distribusi poisson dengan square error 0,22. Ditambah ANINT agar membangkitkan angka dalam bentuk pembulatan integer terdekat.



Gambar 4.3 Hasil *Fitting Distribution Jumlah Inbound Harian*

4.2.2 Selisih Waktu antar Kedatangan Receiving

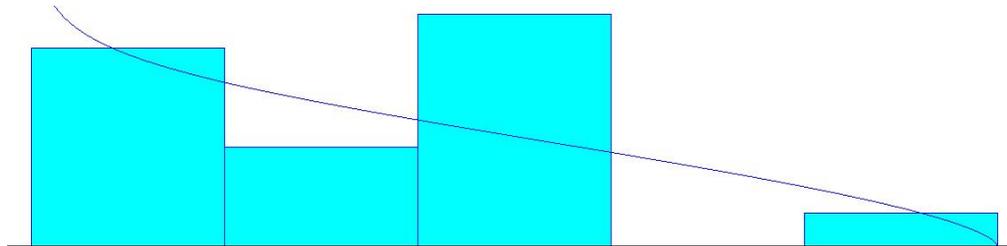
Waktu antar kedatangan inbound terjadi selama jam operasional gudang. Jam operasional terbagi dalam 2 shift kerja yaitu shift pertama pukul 07.00 hingga 16.00, dilanjutkan shift kedua pukul 16.00 hingga 24.00. Selisih waktu kedatangan antar kedatangan *supply* tidak selalu sama pada setiap harinya. Berdasarkan dari *input analyzer*, selisih waktu antar kedatangan *receiving* memiliki distribusi exponential dengan square error 0,002 dan p-value 0,005. Sehingga nilai square error tidak lebih dari p-value maka, data representative



Gambar 4.4 Hasil *Fitting Distribution Selisih Waktu* antar Kedatangan Inbound

4.2.3 *Selisih Waktu antar Kedatangan Picking*

Selisih waktu antar kedatangan outbound tergantung pada permintaan dari unit produksi untuk melakukan pemesanan. Pada setiap harinya, jadwal melakukan *picking* tidak berubah. Pada setiap kali *picking* maka melakukan pengambilan sebanyak 67 *box unit kemasan*. *Picking* dilakukan sebanyak 18 kali dalam 2 shift kerja.. Dari hasil *input analyzer* diketahui bahwa selisih waktu antar kedatangan terdistribusi exponential dengan square error 0,091 dan p-value 0,15. Nilai square error tidak lebih besar dari p-value maka nilai tersebut representatif.



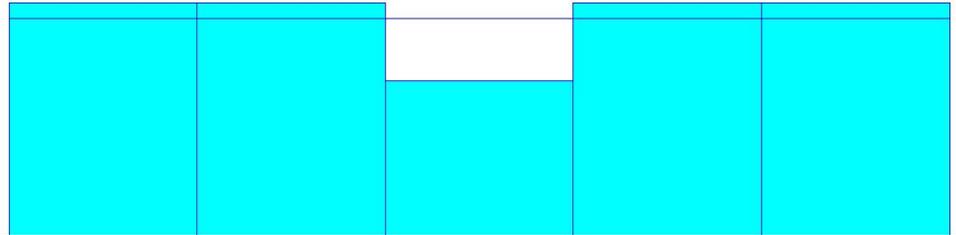
Gambar 4.5 Hasil *Fitting Distribution Selisih Waktu* antar Kedatangan Outbound

4.2.4 *Total Waktu Proses Put away dan Picking*

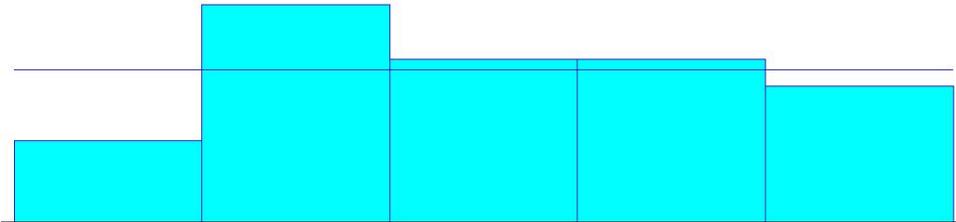
Total waktu proses *put away* dan *picking* berasal dari waktu tempuh AGV diakumulasikan dengan durasi proses operator melakukan *put away* dan *picking*. Perhitungan terkait total waktu proses *put away* telah disampaikan pada Tabel 4.9, sedangkan untuk total waktu proses *picking* telah disampaikan pada Tabel 4.10. Berikut merupakan hasil *distribution fitting* dari *input analyzer*.

1. *Waktu Proses Put away*

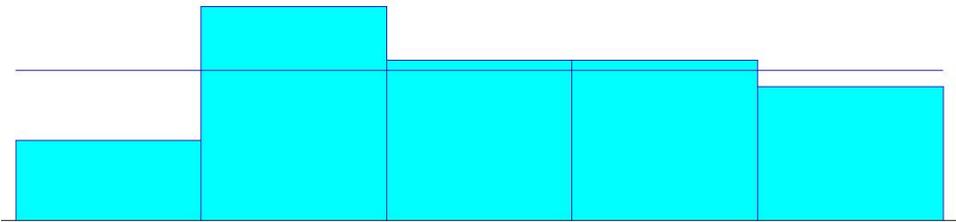
Berikut merupakan hasil dari *input analyzer* untuk waktu proses *put away* yang dikelompokkan berdasarkan *aisle* rak penyimpanan yang digunakan.



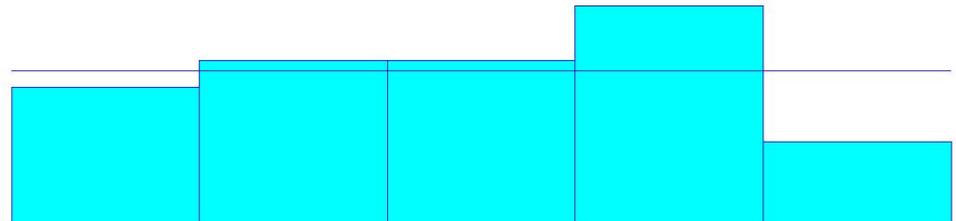
Gambar 4.6 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle A*



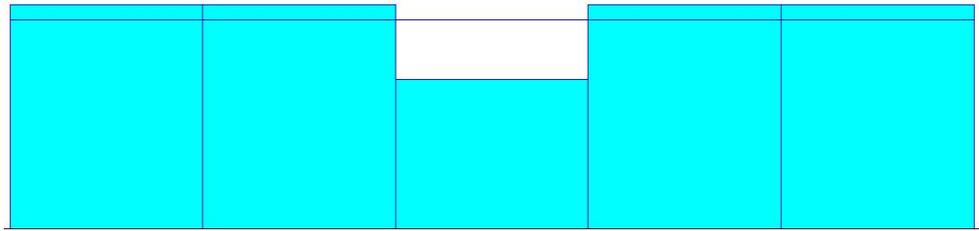
Gambar 4.7 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle B*



Gambar 4.8 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle C*



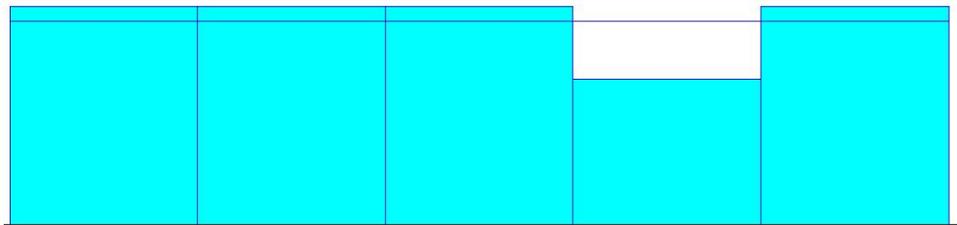
Gambar 4.9 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle D*



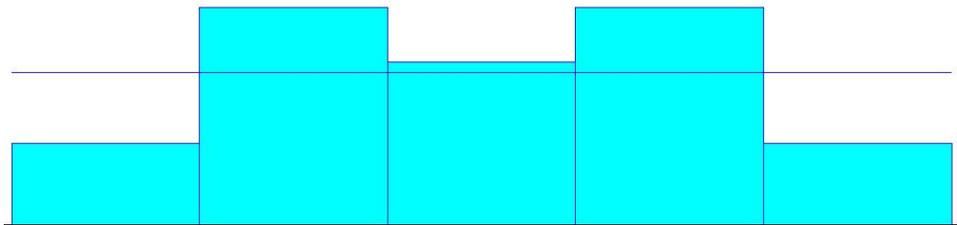
Gambar 4.10 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Put away Aisle E*

2. Waktu Proses *Picking*

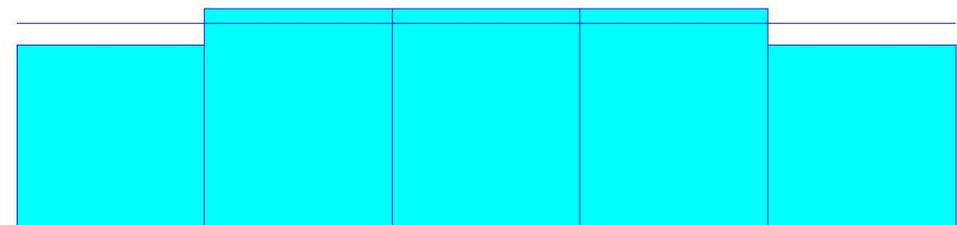
Berikut merupakan hasil dari *input analyzer* untuk waktu proses *picking* yang dikelompokkan berdasarkan *aisle* rak penyimpanan yang digunakan.



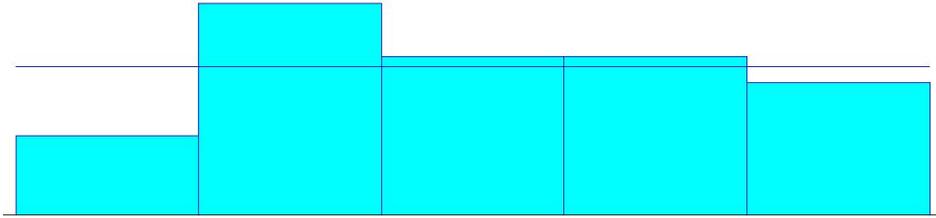
Gambar 4.11 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle A*



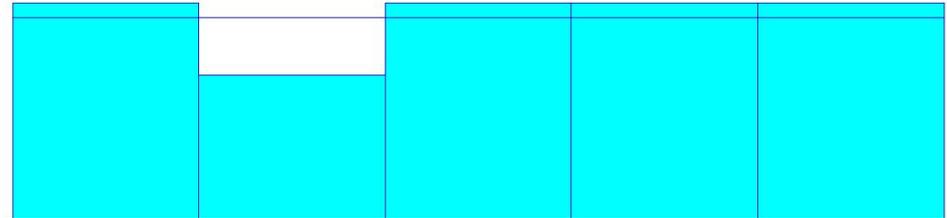
Gambar 4.12 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle B*



Gambar 4.13 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle C*



Gambar 4.14 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle D*



Gambar 4.15 Hasil *Distribution Fitting Waktu Proses Picking Aisle E*

4.2.5 Rangkuman Hasil Fitting Distribution

Berikut merupakan rekapitulasi hasil *fitting distribution* menggunakan input analyzer pada software ARENA yang disajikan dalam Tabel 4.11.

Tabel 4.13 Rekapitulasi Hasil *Fitting Distribution*

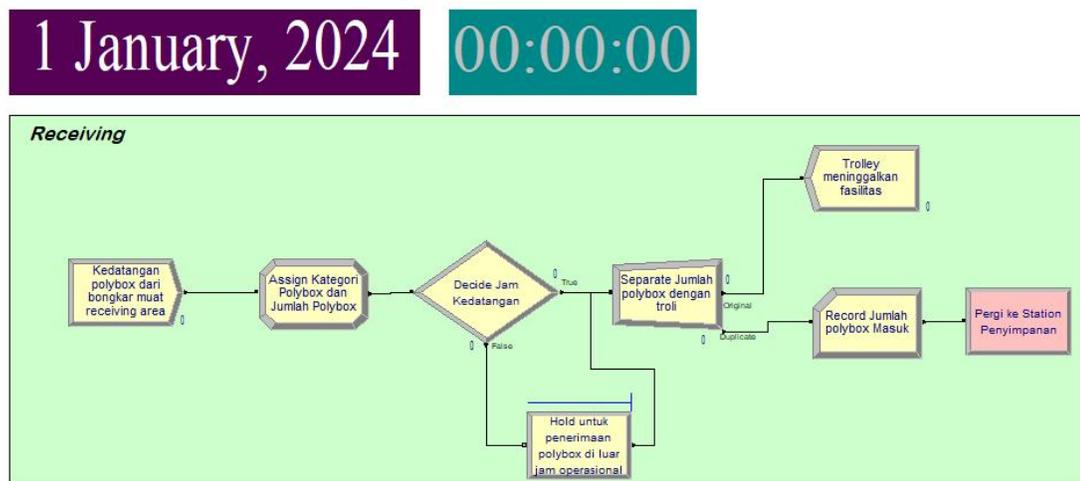
Data	Expression	Unit
Jumlah <i>Receiving Polybox</i> per Kedatangan	POIS(3.73)	<i>Polybox</i>
Waktu antar kedatangan <i>Receiving</i>	-0.001 + EXPO(2.59)	Menit
Waktu antar kedatangan <i>Picking</i>	-0.001 + EXPO(42.4)	Menit
Waktu Proses <i>Put away Aisle A</i>	UNIF(23, 39)	Detik
Waktu Proses <i>Put away Aisle B</i>	UNIF(19, 39)	Detik
Waktu Proses <i>Put away Aisle C</i>	UNIF(19, 39)	Detik
Waktu Proses <i>Put away Aisle D</i>	UNIF(23, 43)	Detik
Waktu Proses <i>Put away Aisle E</i>	UNIF(26, 43)	Detik
Waktu Proses <i>Picking Aisle A</i>	UNIF(29, 53)	Detik
Waktu Proses <i>Picking Aisle B</i>	UNIF(23, 53)	Detik
Waktu Proses <i>Picking Aisle C</i>	UNIF(23, 49)	Detik
Waktu Proses <i>Picking Aisle D</i>	UNIF(25, 54)	Detik
Waktu Proses <i>Picking Aisle E</i>	UNIF(30, 54)	Detik

4.2 Pengembangan Model Simulasi

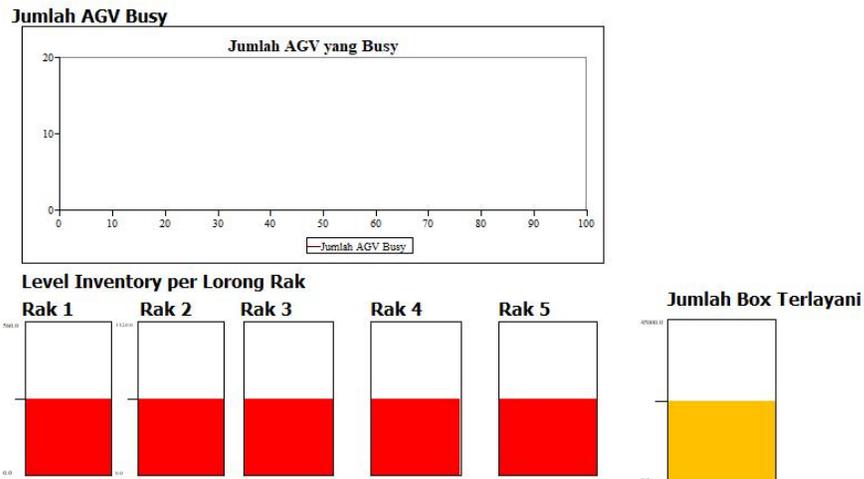
Setelah menentukan data yang dibutuhkan serta melakukan *distribution fitting pada masing-masing* data tersebut, maka dapat dilanjutkan dengan melakukan pengembangan model simulasi kondisi eksisting. Pengembangan model akan dilakukan menggunakan bantuan *software ARENA*. Model kegiatan operasional pergudangan *spareparts* PT. X akan dibagi menjadi 3 submodel yaitu kegiatan *receiving*, *put away* dan *staging*, lalu *picking*. Setiap sub-model tersebut akan dijelaskan lebih detil sebagai berikut.

4.2.1 Kegiatan Receiving

Kegiatan operasional yang pertama dilakukan pada proses pergudangan *spareparts* PT. X adalah penerimaan *supply* dari supplier untuk disimpan pada gudang. *Supply* yang diterima berupa *polybox* berisikan kemasan-kemasan komponen dari *spareparts* kendaraan. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan pada sub-model *receiving*.



Gambar 4.16 Model Simulasi Subsistem *Receiving*



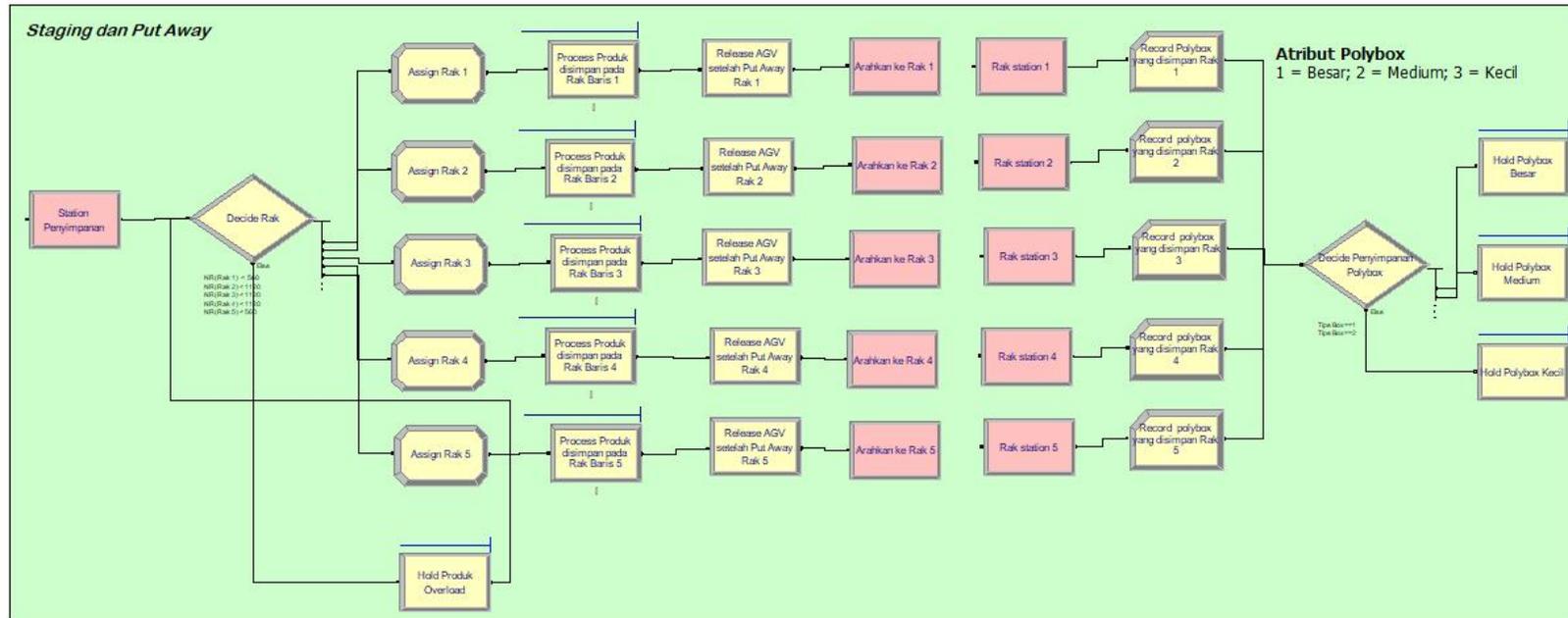
Gambar 4.17 Model Simulasi Subsystem *Receiving* (2)

- "*Create*" modul *create* digunakan untuk membangkitkan kedatangan entitas berupa *polybox* dalam model simulasi. Kondisi ini digambarkan sebagai waktu kedatangan *inbound* disetiap harinya. Entitas dibawa menggunakan troli.
- "*Assign*" digunakan untuk memberikan nilai atribut pada masing-masing entitas dan variabel pada sistem. Atribut yang disematkan berupa jumlah *polybox* yang dikelola untuk masing-masing jenis part. Selanjutnya dilakukan *assign* jumlah *polybox* dalam setiap kedatangan troli, yang memiliki jumlah beragam sehingga telah dilakukan *distribution fitting* pada subbab 4.1.
- "*Decide*" memiliki fungsi untuk menentukan alur pengambilan keputusan dalam sistem. Pada kasus ini modul "*Decide*" digunakan untuk menentukan apakah *supply* datang disaat jam operasional gudang atau tidak. Jam operasional gudang berada pada pukul 07.00 WIB hingga 24.00. Jika *supply* datang diluar jam tersebut maka *supply* tersebut tidak dapat dilayani. Jenis *decide* yang digunakan adalah dengan *2-way condition* yang dapat diintegrasikan hanya terdapat dua kondisi yaitu *true* (jika *supply* datang dalam jam operasional) dan *false* (jika *supply* di luar jam operasional).

- “*Separate*” modul yang digunakan untuk menduplikasi entitas yang dikelola. Disini, modul *separate* digunakan untuk menduplikasi jumlah troli dengan jumlah *polybox* yang diangkut. Sehingga, untuk original berupa jumlah troli akan di *dispose*, sedangkan duplikasinya berupa jumlah *polybox* akan di *record* sebagai jumlah *polybox* yang masuk. Troli di *dispose* artinya troli telah meninggalkan fasilitas gudang. Modul *separate* digunakan untuk *supply* yang datang pada jam operasional.
- “*Hold*” modul *hold* digunakan untuk menahan penerimaan barang yang terjadi di luar jam operasional atau hasil *false* dari *decide* jam operasional. Hold akan dilepaskan saat kondisi waktu telah kembali memasuki jam operasional, sehingga produk yang tertahan dapat dikelola.
- “*Route*” modul yang digunakan untuk menunjukkan rute dari entitas tersebut akan kemana. Modul *route* digunakan untuk mengarahkan setelah produk telah dicatat jumlah dan jenisnya maka, produk tersebut akan bergerak ke station penyimpanan

4.2.2 Kegiatan Staging dan Put away

Kegiatan operasional pada proses pergudangan *spareparts* PT. X adalah *staging* dan *put away*. *Staging* adalah proses penyusunan part untuk membuat *order ID* yang akan menjadi dasar proses *put away*. Sedangkan, *put away* adalah proses peletakkan dan penyimpanan part pada rak. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan pada sub-model *staging* dan *put away*



Gambar 4.18 Model Simulasi Subsystem *Staging* dan *Put away*

- "*Station*" modul ini digunakan sebagai penerima produk dari modul "*Route*" yang berada pada sub-model *receiving* sebelumnya. Part yang telah diterima akan diarahkan ke *station* penyimpanan.
- "*Decide*" memiliki fungsi untuk menentukan alur pengambilan keputusan dalam sistem. Modul ini digunakan untuk menentukan letak dari *polybox* yang akan disimpan tersebut akan diarahkan pada rak lorong mana. Terdapat 5 lorong rak yaitu A, B, C, D, dan E. Penyimpanan produk dilakukan secara random atau acak sehingga hanya melihat apakah terdapat availibilitas rak dalam lorong untuk melakukan penyimpanan pada setiap lorong tersebut. Pengecekan availibilitas rak dimulai urut dari lorong A hingga E. Tipe dari modul *decide* yang digunakan adalah *N-way by condition* yang dapat diintegrasikan terdapat 6 opsi yang dapat terjadi. Opsi tersebut terdiri dari 5 opsi *true* yaitu (1) Jika terdapat availibilitas rak di lorong A maka, simpan di lorong A. (2) Jika terdapat availibilitas rak di lorong B maka, simpan di lorong B. (3) Jika terdapat availibilitas rak di lorong C maka, simpan di lorong C. (4) Jika terdapat availibilitas rak di lorong D maka, simpan di lorong D. (5) Jika terdapat availibilitas rak di lorong E maka, simpan di lorong E. dan 1 opsi *false* yaitu jika lorong A hingga E penuh maka, *part* akan dikenai modul "*Hold*" untuk menahan part tersebut hingga terdapat availibilitas rak yang dapat menampungnya.
- "*Assign*" digunakan untuk memberikan nilai atribut pada masing-masing entitas dan variabel pada sistem. Atribut yang disematkan berupa part *polybox* tersebut disimpan pada rak lorong mana.
- "*Process*" modul ini digunakan untuk menggambarkan bahwa entitas yang dikelola akan dikenai suatu proses. Dengan *Action* yang digunakan adalah *seize delay* yang artinya entitas akan menangkap *resource* berupa AGV, dan akan digunakan untuk beberapa waktu. Aturan dari pemilihan AGV yang digunakan adalah *smallest number busy* yang dapat diintegrasikan bahwa pemilihan AGV yang digunakan berdasarkan *resource* yang sedang tersedia

pada saat itu. Waktu proses *put away* bervariasi tergantung dari letak penyimpanan part berada pada lorong sebelah mana. Hal tersebut menyebabkan perlu dilakukan *distribution fitting akan durasi* proses *put away* pada setiap lorongnya. Langkah tersebut telah dilakukan pada subbab 4.1. Modul "*Process*" akan disematkan setelah modul "*Assign*" pada setiap lorong penyimpanan.

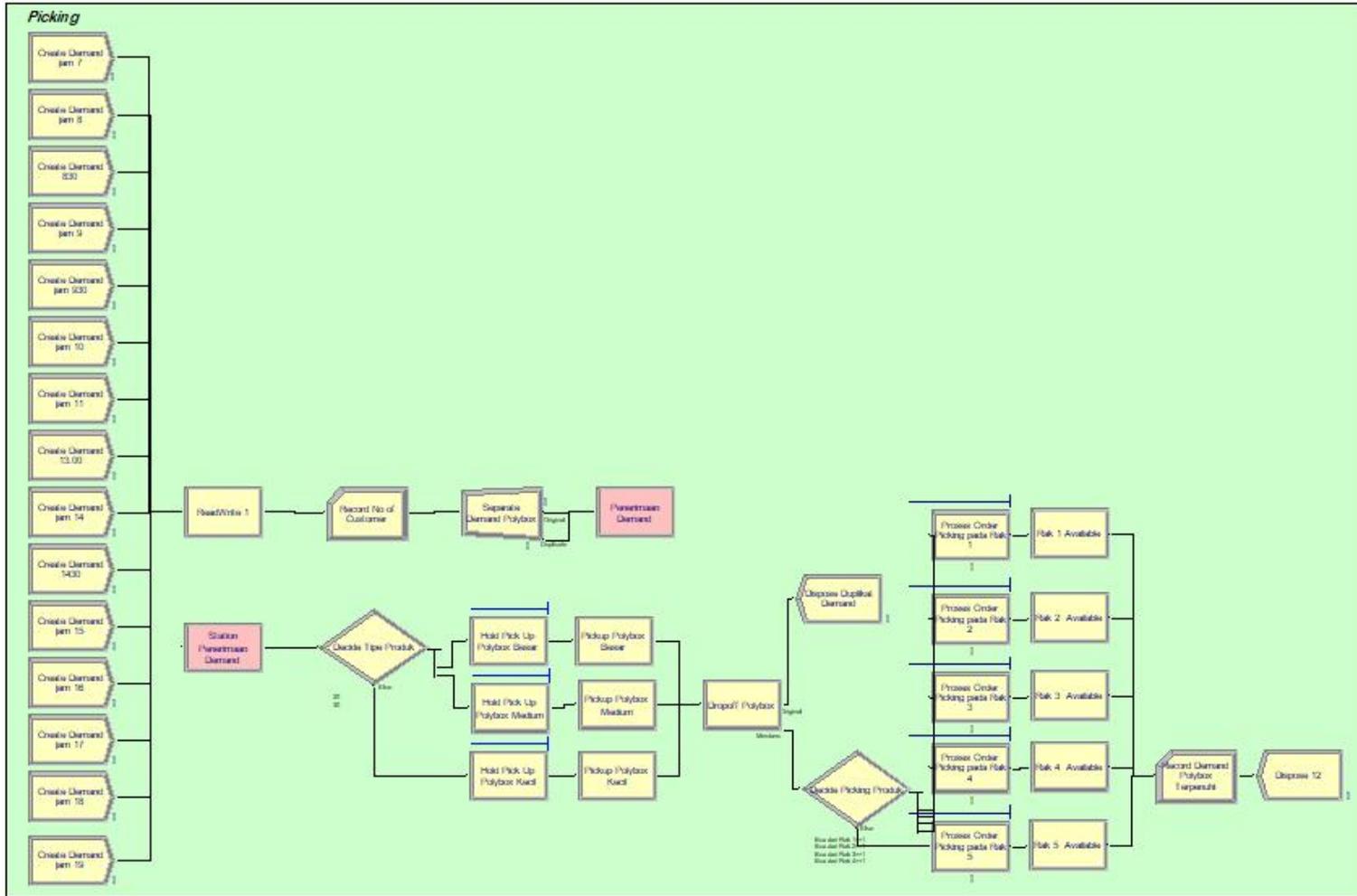
- "*Release*" modul ini berfungsi untuk melepas *resource* berupa AGV yang telah digunakan pada modul "*Process*" sebelumnya. Sehingga, jika sudah selesai untuk digunakan maka dapat dilepas untuk dikembalikan. Setelah di *release* maka, *resource* tersebut dapat digunakan untuk proses yang lain. Modul "*Release*" disematkan setelah modul "*Process*" pada setiap lorong penyimpanan.
- "*Route*" modul yang digunakan untuk menunjukkan rute dari entitas yang dikelola akan diarahkan kemana. Modul "*Route*" digunakan untuk mengarahkan setelah produk telah dibawa pada suatu lorong maka, produk tersebut akan bergerak ke "*Station*" penyimpanan lorong yang ditentukan. Modul disematkan pada setiap lorong penyimpanan.
- "*Station*" modul ini digunakan sebagai penerima produk dari modul "*Route*" yang sebelumnya. *Polybox* yang telah diterima akan diarahkan ke station penyimpanan lorong yang dituju (A/B/C/D/E)
- "*Record*" modul yang digunakan untuk melakukan pencatatan terkait jumlah *polybox* yang disimpan pada lorong tersebut. Tipe data yang muncul adalah jumlah entitas yang masuk atau dalam hal ini adalah jumlah *polybox* yang disimpan dalam satu lorong penyimpanan.
- "*Decide*" memiliki fungsi untuk menentukan alur pengambilan keputusan dalam sistem. Modul ini digunakan untuk menentukan jenis *polybox* yang dikelola pada setiap lorong tersebut. Jenis *polybox* dibedakan menjadi tiga yaitu *polybox* berisikan *big part*, *medium part*, dan *small part*. Tipe "*Decide*" yang digunakan adalah *N-way conditions*. Terdapat 2 opsi *true* yaitu atribut

untuk *polybox* besar (*big part*) dan atribut untuk *polybox* medium (*medium part*). Selain itu terdapat 1 opsi *false* yaitu atribut untuk *polybox* kecil (*small part*).

- “*Hold*” modul ini digunakan untuk menahan entitas berupa *box berisi part* pada setiap lorong penyimpanan. Tipe modul “*Hold*” yang digunakan adalah “*Infinite Hold*”. Modul “*Hold*” disematkan pada setiap jenis *box yang dikelola* setelah dilakukan “*Decide*”. Antrian yang muncul dari produk yang ditahan adalah 3 antrian yaitu Antrian *Hold Penyimpanan Box Besar*, Antrian *Hold Penyimpanan Box Medium*, dan Antrian *Hold Penyimpanan Box Kecil*

4.2.3 Kegiatan Picking

Kegiatan operasional yang ketiga dan sekaligus yang terakhir pada gudang *spareparts* PT. X adalah *picking*. Kegiatan *picking* merupakan kegiatan saat menerima permintaan dari unit produksi berupa *part*. Berikut merupakan modul-modul yang digunakan pada sub-model *picking*



Gambar 4.19 Model Simulasi Subsystem *Picking*

- "*Create*" digunakan untuk membangkitkan kedatangan entitas pada suatu sistem. Dalam kondisi ini digambarkan sebagai kedatangan permintaan part dari unit produksi. Waktu antar kedatangan demand telah dijelaskan pada subbab 4.1.
- "*Read write*" digunakan untuk memunculkan informasi terkait entitas yang melintas dalam modul tersebut. Dalam kasus ini adalah untuk mencatat informasi berupa waktu *demand arrival*.
- "*Record*" digunakan untuk melakukan pencatatan data statistik dalam sistem. Dalam kasus ini, pencatatan dilakukan untuk jumlah permintaan dari unit produksi.
- "*Saperate*" modul ini berfungsi untuk melakukan duplikasi pada setiap entitas yang melintas menjadi entitas yang berlipat. Pada kasus ini, demand dari unit produksi akan di duplikasi dengan jumlah *box yang mereka* perlukan. Besar duplikasi diatur dengan ANINT NORM (67,5). Artinya, setiap demand yang masuk akan di duplikasi sebesar 67 ± 5 *box dan akan dibulatkan ke* bilangan integer terdekat karena jumlah *box harus dalam* bilangan integer.
- "*Route*" modul yang digunakan untuk menunjukkan rute dari entitas yang dikelola akan diarahkan kemana. Modul "*Route*" digunakan untuk mengarahkan setelah produk telah diklasifikasikan berdasarkan jenis part maka, produk tersebut akan bergerak ke "*Station*" penerimaan demand.
- "*Station*" modul ini sebagai tujuan dari arahan modul "*Route*" sebelumnya. Disini semua demand dari unit produksi dikumpulkan dari segi kuantitas dan jenisnya.
- "*Decide*" modul yang membantu dalam penentuan *polybox* yang harus diambil harus berjenis *big, medium, atau small*. Jenis "*Decide*" yang digunakan adalah *N-way by Chance* dengan prosentase 20% big part, 30% medium part, dan 50% small part. Prosentase tersebut disesuaikan dengan kualifikasi dari kebutuhan setiap jenis part dalam pembuatan setiap finish

good di unit produksi. Untuk membuat satu unit *finish good* dibutuhkan 1 *polybox part besar*, 2 *polybox part medium*, dan 3 *polybox part small*.

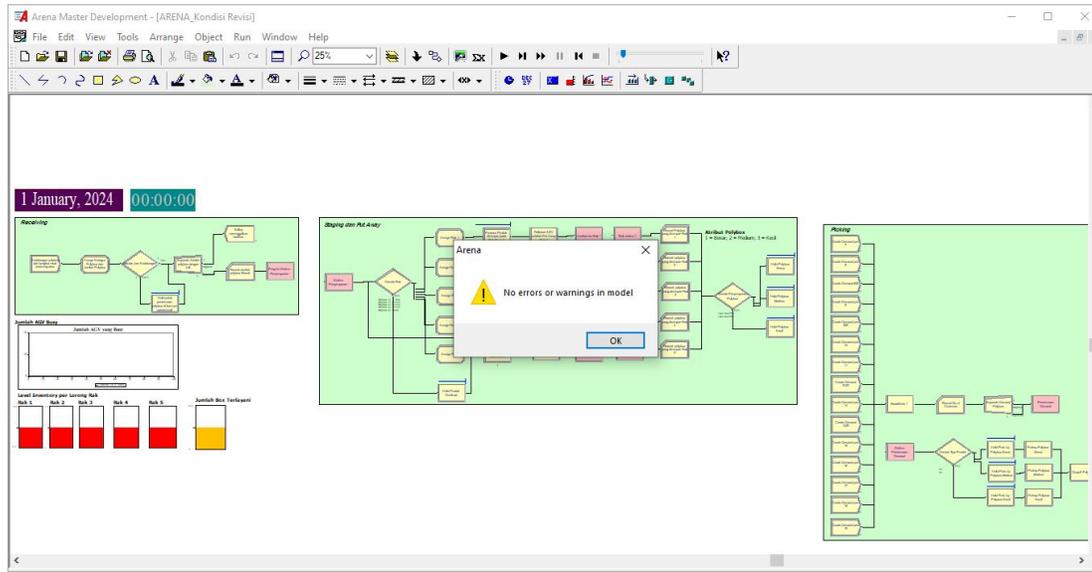
- “*Hold*” modul yang fungsinya menahan flow proses permintaan jika telah melakukan identifikasi terhadap permintaan yang harus dipenuhi pada langkah sebelumnya. Jenis “*Hold*” yang digunakan adalah *scan for condition*. Kondisi yang dimaksud adalah flow tersebut ditahan dengan sampai kondisi jumlah entitas “*Hold*” penyimpanan *polybox besar/medium/kecil* lebih besar dari 0. Artinya, di dalam gudang tersedia *polybox* berisikan part besar/medium/kecil. Modul “*Hold*” disematkan pada setiap jenis *polybox* yaitu besar, medium, kecil.
- “*Pickup*” modul ini digunakan untuk menjamin, jika produk yang dikendaki tersedia di gudang maka produk tersebut dalam langsung diambil dari gudang. *Pickup* melakukan pengambilan dari antrian “*Hold*” penyimpanan *polybox besar, medium, dan kecil*. Modul “*Pickup*” disematkan pada setiap jenis produk.
- “*Dropoff*” modul ini digunakan untuk menghilangkan atau melepaskan sejumlah entitas tertentu dari suatu grup entitas dan mengirimkannya ke modul lain sesuai dengan koneksi yang ditentukan. Jenis “*Dropoff*” yang digunakan adalah *Retain original entity value* yang artinya entitas tersebut akan mempertahankan nilai entitas aslinya seperti tipe entitas dan waktu kedatangan entitas.
- “*Decide*” memiliki fungsi untuk menentukan alur pengambilan keputusan dalam sistem. Pada kasus ini “*Decide*” diperlukan untuk menentukan produk yang dibutuhkan tersebut berada di lorong mana. Jenis “*Decide*” yang digunakan adalah *N-way by Condition*. Kondisi yang dimaksud adalah tergantung pada letak dari atribut yang dicari. Opsi yang muncul dari modul “*Decide*” ini adalah sejumlah lorong yang ada yaitu 5 kondisi. Yaitu penentuan posisi atribut tersebut berada di lorong A/B/C/D/E.

- "*Process*" modul ini menggambarkan proses untuk melakukan *order picking* atribut pada setiap lorong. Jenis "*Process*" yang digunakan adalah *seize delay* yang artinya entitas akan mengambil *resource* berupa AGV, menggunakan beberapa saat,. Aturan pemilihan AGV yang digunakan adalah *smallest number busy* yang dapat diinterpretasikan bahwa pemilihan AGV yang digunakan berdasarkan *resource* yang sedang tersedia pada saat itu. Waktu proses *picking* bervariasi tergantung dari letak pengambilan part berada pada lorong sebelah mana. Hal tersebut menyebabkan perlu dilakukan *distribution fitting* akan durasi proses *picking* pada setiap lorongnya. Langkah tersebut telah dilakukan pada subab 4.1.
- "*Release*" modul ini berfungsi untuk melepas *resource* berupa AGV yang telah digunakan pada modul "*Process*" sebelumnya. Sehingga, jika sudah selesai untuk digunakan maka dapat dilepas untuk dikembalikan. Setelah di *release* maka, *resource* tersebut dapat digunakan untuk proses yang lain. Modul "*Release*" disematkan setelah modul "*Process*" pada setiap lorong penyimpanan.
- "*Record*" modul ini digunakan untuk melakukan pencatatan data statistik pada model simulasi. Data yang dicatat berupa jumlah permintaan yang dapat dipenuhi. Dalam kasus ini adalah total permintaan dari unit produksi dalam jumlah *polybox*.
- "*Dispose*" merupakan tahap akhir yang digunakan untuk menggambarkan bahwa entitas tersebut telah keluar dari sistem setelah dikenai berbagai aktivitas dalam sistem tersebut

4.3 Verifikasi Model

Proses verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model tersebut sudah dibangun secara benar. Proses validasi adalah proses menentukan apakah model telah merepresentasikan *real system* dengan akurat (Hoover & Perry, 1990). Proses verifikasi model simulasi dapat dilakukan dengan menggunakan fitur debugging (*syntax error*) atau animasi (*semantic error*). *Syntax error* merupakan

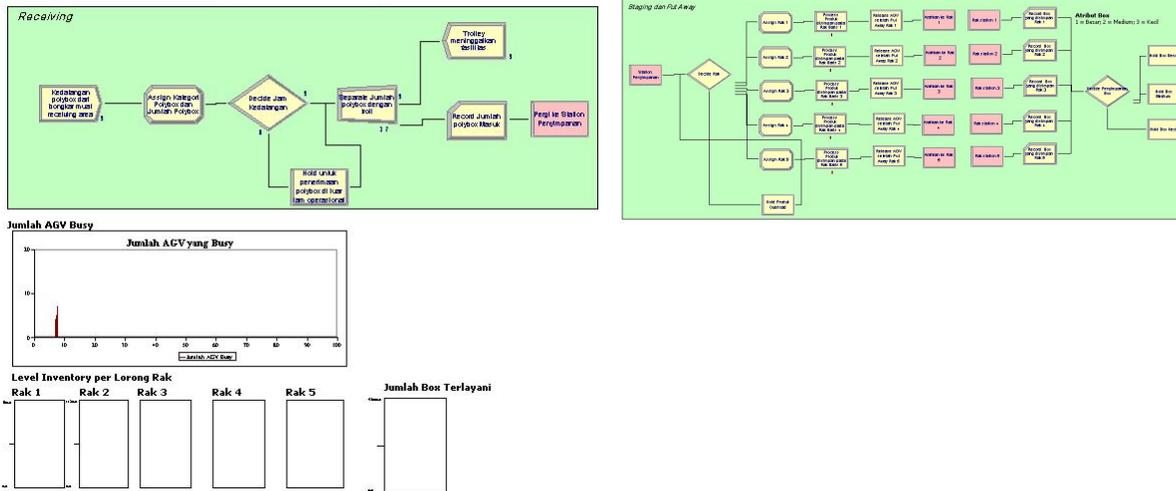
kesalahan dalam penulisan kode atau notasi yang menyebabkan model tidak dapat berjalan dengan benar, sedangkan *semantic error* merupakan kesalahan logika pada model (Siswanto et al., 2018). Berikut merupakan hasil dari verifikasi *syntax error*.



Gambar 4.20 Verifikasi *Syntax* Model Simulasi

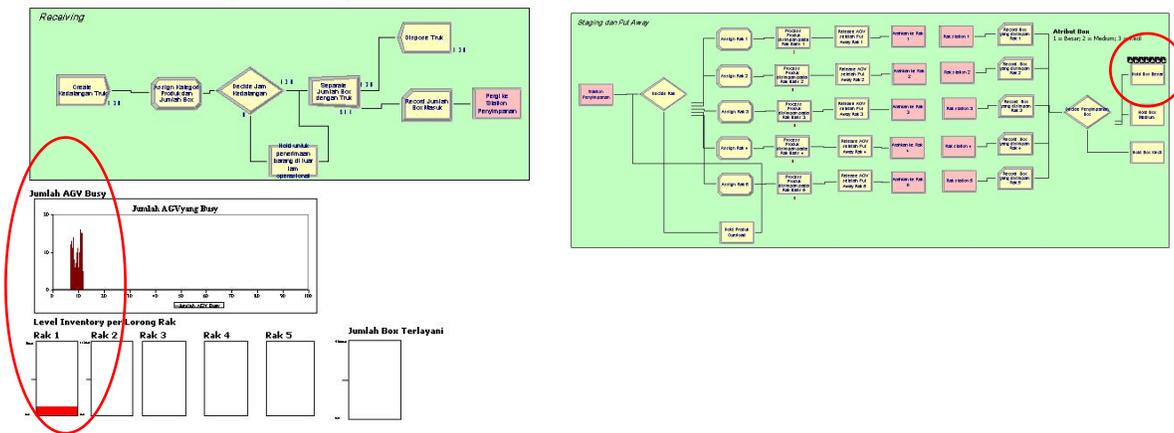
Sedangkan selain metode *syntax error*, terdapat metode *semantic error* untuk melakukan identifikasi terhadap pergerakan entitas pada sistem secara visual. Berikut merupakan hasil dari verifikasi menggunakan metode *semantic error*.

1 January, 2024 07:37:29



Gambar 4.21 Verifikasi *Semantic Model* Simulasi

1 January, 2024 11:49:52

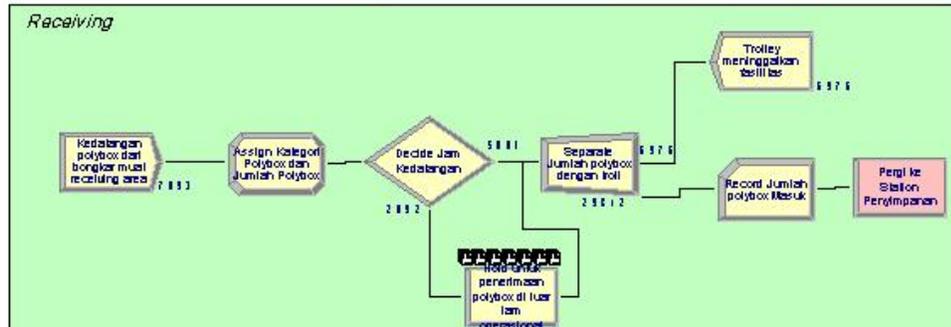


Gambar 4.22 Verifikasi *Semantic Model* Simulasi

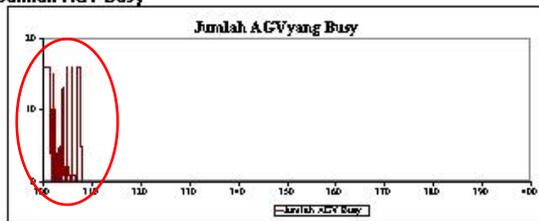
Saat gudang baru mulai beroperasi di hari pertama jam 7 pagi (Gambar 4.20), kondisi rak pada setiap lorong masih kosong dan seluruh AGV belum ada yang berstatus *busy*. Namun terjadi kedatangan *supply* seiring dengan berjalannya waktu sehingga AGV mulai digunakan untuk *put away*. Setelah melakukan *put away* maka rak mulai terisi dan muncul *box yang ditahan (hold)* hingga muncul demand untuk melakukan *picking* (Gambar 4.21). Hal tersebut menunjukkan bahwa logika dari model ini sudah sesuai dengan sistem nyata

14 January, 2024

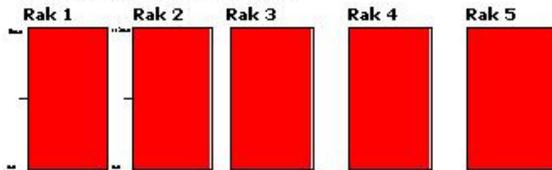
07:00:00



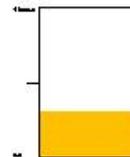
Jumlah AGV Busy



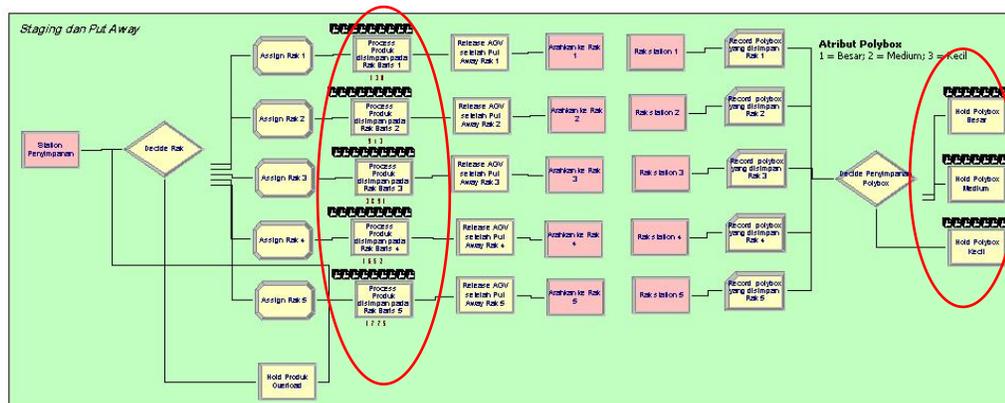
Level Inventory per Lorong Rak



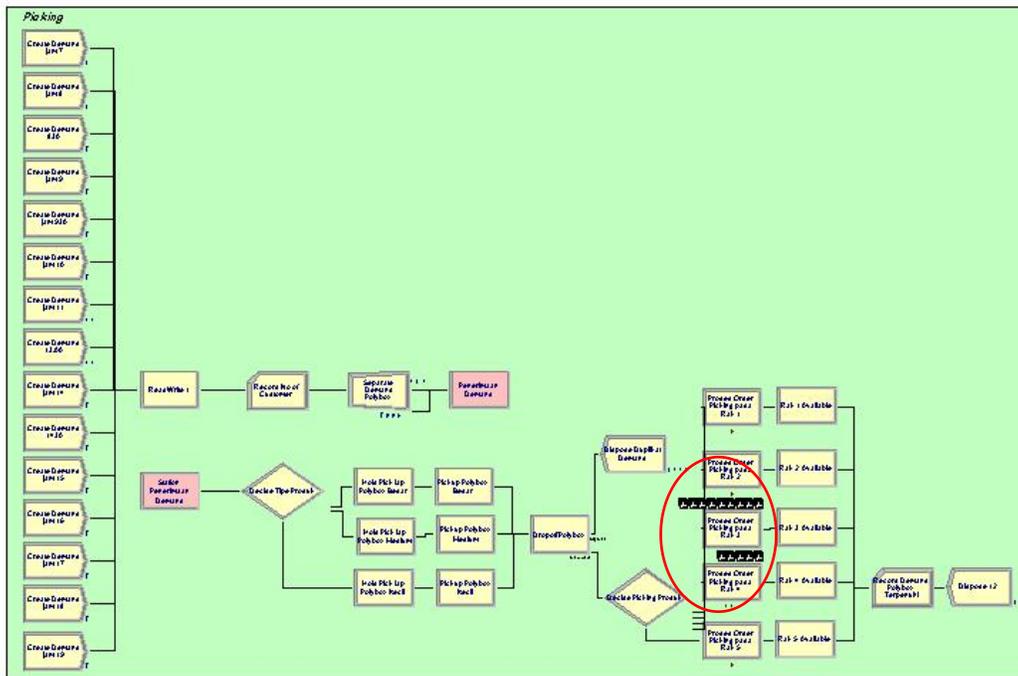
Jumlah Box Terlayani



Gambar 4.23 Verifikasi *Semantic Model* Simulasi



Gambar 4.24 Verifikasi *Semantic Model* Simulasi



Gambar 4.25 Verifikasi *Semantic Model* Simulasi

Jika *running terus* dilakukan maka terdapat informasi tambahan jika terjadi pula antrian pada proses *picking* (Gambar 4.24). Selain itu level *inventory* pada setiap rak juga meningkat. Jumlah *inventory* yang disimpan tidak melebihi kapasitas dari setiap lorong yaitu 560 *box* untuk lorong A dan E, 1120 *box* untuk lorong B,C,D. Jika lorong A penuh maka akan disimpan di B begitupun selanjutnya hingga lorong E. Jumlah demand yang dapat dipenuhi juga meningkat digambarkan dengan bar chart kuning (Gambar 4.22 dan Gambar 4.23)

4.4 Perhitungan Jumlah Replikasi

Merupakan sebuah mekanisme suatu model simulasi perlu untuk dijalankan beberapa kali untuk mengatasi hasil random yang diakibatkan oleh variabilitas dari sistem dan besar harapannya model simulasi nantinya dapat menintrepetasikan hasil dari *real system*. Replikasi dibutuhkan kerana pada mulanya simulasi menganut sistem *random input random output*. Sehingga, jika menjalankan simulasi hanya satu kali, belum dapat dipastikan hasilnya akan representatif terhadap *real system*. Berikut

merupakan perhitungan terkait jumlah replikasi yang dibutuhkan untuk model simulasi.

Tabel 4.14 Perhitungan Replikasi

Replikasi ke-n	Rata-rata Utilitas Gudang/ Bulan (%)	
	Simulasi	Eksisting
1	91.4	90
2	91.2	90
3	89.7	90
4	91.8	90
5	89.7	90
6	91.5	90
7	90.2	90
8	90	90
9	91.2	90
10	89.5	90
Rata-rata	90.62	90
St. Deviasi	0.879	0

Dari tabel 4.12 diketahui bahwa rata-rata utilitas gudang dengan 10 kali replikasi adalah 90,95% dengan standar deviasi 0,683. Sehingga nilai *hw error* dapat dihitung menggunakan persamaan

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

$$Half\ width = \frac{(2,26 \times 0,87)}{\sqrt{10}}$$

$$Half\ width = 0,62$$

Nilai $(T_{n-1, \alpha/2})$ dapat diketahui menggunakan Excel dengan fungsi persamaan $T.INV.2T(probability, deg_freedom)$ dengan nilai probabilitas 0,05 dan degree of freedom $(n\ sampel - 1)$. Pemodel memberikan *hw* menyimpang sebesar 5%

dari rata-rata, maka hal tersebut yang disebut *relative error*. Half width awal dapat dihitung menggunakan persamaan berikut.

Diketahui,

$$Z^{\alpha/2} = 1,96 \text{ (NORM. S. INV (probability))}$$

$$s = 0,772$$

$$\gamma = 5\%$$

$$\text{Half width Relative error} = \frac{(t_n - 1,1 - \alpha/2) \sqrt{\frac{s^2}{n}}}{|\bar{X}|}$$

$$\text{Half width Relative error} = \frac{(2,26 - 0,278)}{90,62} = 0,007$$

Half width relatif error bernilai sama dengan *half width* awal dibagi dengan rata-rata sampel. Nilai dari *hw relative error* (0,007) lebih kecil dari *relative error* (0,05) yang ditentukan. Sehingga, replikasi dengan (n=10) telah cukup untuk merepresentasikan *real system*.

4.5 Validasi Model

Validasi dapat dilakukan dengan membandingkan hasil simulasi dengan n replikasi dengan hasil dari real system menggunakan statistik inferensial. Karena sampel yang dimiliki adalah sampel independen maka, *uji student's t test* dilakukan untuk menentukan apakah data sampel dari model simulasi dan real system memiliki parameter populasi yang sama (Siswanto et al., 2018). Jika kedua sistem tidak menunjukkan perbedaan yang signifikan, berarti model simulasi sudah valid dan mampu untuk merepresentasikan real system. Hipotesis yang digunakan dalam pengujian *student t test* adalah sebagai berikut

$$H_0: \mu_1 = \mu_2$$

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

Dengan,

μ_1 = rata-rata *output real system*

μ_2 = rata-rata *output* model simulasi

H_0 = hipotesis awal

H_1 = hipotesis alternatif

Apabila H_0 secara statistik benar, maka real system dan model simulasi tidak berbeda secara signifikan dan dinyatakan valid. Namun, jika H_1 yang dikatakan benar secara statistik maka *real system* dan model simulasi berbeda secara signifikan dan dinyatakan tidak valid. Parameter yang digunakan untuk melakukan validasi adalah utilitas gudang. Hal tersebut karena utilitas gudang merupakan salah satu *Key Performance Indikator* pada gudang PT. X

Tabel 4.15 Validasi model

Replikasi ke-n	Rata-rata Utilitas Gudang/ Bulan (%)	
	Simulasi	Eksisting
1	91.4	90
2	91.2	90
3	89.7	90
4	91.8	90
5	89.7	90
6	91.5	90
7	90.2	90
8	90	90
9	91.2	90
10	89.5	90
Rata-rata	90.62	90
St. Deviasi	0.879	0

Tabel 4.16 Hasil Data Analysis t-Test: Two-Sample Assuming Unequal Variances

Replikasi ke-n	Rata-rata Utilitas Gudang/ Bulan (%)	
	Simulasi	Eksisting
1	91.4	90
2	91.2	90
3	89.7	90

Replikasi ke-n	Rata-rata Utilitas Gudang/ Bulan (%)	
	Simulasi	Eksisting
4	91.8	90
5	89.7	90
6	91.5	90
7	90.2	90
8	90	90
9	91.2	90
10	89.5	90
Rata-rata	90.62	90
St. Deviasi	0.879	0

Hasil dari Tabel 4.13 dan Tabel 4.14 dapat diketahui nilai dari t-stat adalah 1,75. Nilai tersebut akan dibandingkan dengan nilai *t-critical two tail* sebagai berikut

$$-t \text{ Critical} < t \text{ Stat} < t \text{ Critical}$$

$$-2,26 < 1,75 < 2,26$$

Gagal menolak Ho

Nilai t hitung berada diantara nilai +t crit dan -t crit sehingga t hitung berada jatuh di area penerimaan (*acceptance area*). Sehingga, dapat disimpulkan bahwa tidak ada bukti cukup untuk membuktikan bahwa model simulasi berbeda terhadap sistem aktual. Maka hipotesis nol tidak ditolak dan model simulasi dinyatakan valid dan dapat mewakili sistem aktual.

BAB 5

SKENARIO PERBAIKAN DAN ANALISIS HASIL

Pada bab ini akan dijelaskan terkait analisis kondisi eksisting, pembentukan skenario perbaikan, dan analisis hasil untuk setiap skenario perbaikan yang diusulkan. Selain itu akan dijelaskan pula terkait dampak yang diterima PT. X jika mengimplementasikan skenario yang diusulkan.

5.1 Analisa Kondisi Eksisting

Pada kondisi eksisting PT. X membagi kegiatan pergudangan dalam tiga sub-sistem yaitu *receiving*, *staging* dan *put away*, serta *picking*. Dalam kegiatan operasional sehari-hari, PT. X telah mengimplementasikan AGV sebagai alat *material handling* serta didukung oleh *pods inventory* sebagai rak penyimpanan sekaligus *material handling* mereka. PT. X saat ini menggunakan 16 AGV dan 112 *pods inventory* untuk kegiatan operasional. Dalam penugasannya, AGV digunakan secara acak (*undedicated*) sehingga setiap unit AGV dapat melakukan tugas *put away* maupun *picking*. Kegiatan operasional pergudangan *spareparts* PT. X dilakukan dari hari senin hingga jum'at. Setiap harinya diberlakukan dua *shift* kerja, *shift* pertama pada pukul 07.00 hingga 16.00 dan *shift* kedua pada pukul 16.00 hingga 24.00. Pada setiap *shift* terdapat waktu istirahat selama satu jam. Jam operasional tersebut akan mengikat jam operasional dari seluruh *material handling* (AGV dan *pods inventory*) serta operator.

Dalam model simulasi kondisi eksisting yang dibangun menggunakan *software ARENA*. Spesifikasi gudang dari segi jumlah *material handling*, jumlah *workstation*, tata letak gudang, jarak antar *workstation*, jumlah *receiving*, jumlah *picking*, dan dikerjakan dalam jam operasional telah dibuat sesuai dengan real system. Dalam mengukur performansi model simulasi yang dibangun, dipilih indikator penilaian yang dapat menilai performansi sistem tersebut. Indikator yang digunakan adalah rata-rata utilitas gudang, jumlah *box* terlayani, dan rata-rata durasi produk *hold overload*. Rata-rata utilitas gudang didapat dari akumulasi utilitas per *aisle* rak dibagi dengan

jumlah rak. Sedangkan utilitas rak merupakan perbandingan kondisi saat rak terisi dan kosong selama durasi waktu jam operasional. Jumlah *polybox* terlayani adalah pencatatan tentang jumlah *polybox* yang dikelola baik dalam proses *receiving* maupun *picking*. Produk *overload* merupakan kejadian yang terjadi bila terdapat produk yang harus disimpan dalam gudang namun pada saat yang sama tidak terdapat rak yang tersedia untuk penyimpanan tersebut, sehingga produk akan di-*hold* hingga rak tempat penyimpanan tersedia. Rata-rata durasi waktu tunggu availibitas rak tersebut yang disebut sebagai rata-rata durasi produk *overload*. Berikut adalah rekapitulasi dari model simulasi kondisi eksisting dengan jumlah replikasi sebanyak 10 kali yang disajikan pada Tabel 5.1.

Tabel 5.1 Rekapitulasi Hasil *Running Model* Simulasi Kondisi Eksisting

Replikasi ke-n	Rata-rata utilitas gudang (%)	#Box terlayani (<i>receiving</i> + <i>picking</i>)	Durasi produk <i>overload</i>
1	91.3	103656	2.38
2	91.84	103394	2.12
3	91.22	104331	2.25
4	90.38	104798	2.38
5	91.96	104354	2.26
6	92.26	103753	1.97
7	91.94	104427	2.42
8	91.82	104963	1.81
9	91.86	104833	2.17
10	91.36	103920	2.38
Rata-rata	91.59	104243	2.21

Dari Tabel 5.1 dapat diketahui rata-rata utilitas gudang kondisi eksisting adalah 91,59% yang mampu melayani 104.243 *box* setiap bulannya untuk proses *put away* maupun *picking*. Jumlah *box* terlayani tidak berbanding lurus dengan rata-rata utilitas gudang. Hal ini dapat diamati pada replikasi pertama tingkat utilitasnya 91,3% mampu mengelola 103.656 *box*, sedangkan pada replikasi kedua memiliki utilitas lebih tinggi namun jumlah *box* yang dikelola lebih rendah. Selain itu, jumlah

box paling banyak dikelola pada replikasi ke- 8 sedangkan utilitas gudang tertinggi pada replikasi ke- 6. Kondisi tersebut dapat terjadi karena probabilitas variasi waktu antar kedatangan dan variasi jumlah *box* yang datang pada setiap kedatangan *supply*. Kedua faktor tersebut akan memengaruhi jumlah produk yang harus disimpan dalam gudang serta memengaruhi antrian yang terjadi.

5.2 Perancangan Skenario Perbaikan

Perancangan skenario perbaikan digunakan untuk membuat keputusan terkait saran yang dapat diimplementasikan pada gudang PT. X untuk menentukan alokasi *pods inventory* yang sebaiknya digunakan. Penentuan tersebut mempertimbangkan tingkat utilitas gudang, jumlah *box terlayani*, dan durasi produk tertahan akibat *overload* (produk *hold overload*). Skenario perbaikan pada penelitian ini berdasarkan kebijakan perusahaan untuk tidak menambah jumlah luasan gudang. Hal ini disebabkan karena luas lahan yang ada tidak dapat di ekspansi lagi. Awalnya perusahaan akan mereduksi layout yang ada karena lahan akan dialokasikan untuk *plant* baru yang perlu diperluas. Selain itu, pada kondisi eksisting kapasitas AGV mampu mengangkat 1.000 kg namun rata-rata setiap *pods inventory* hanya berbobot 400 kg hingga 500 kg. Sehingga masih terdapat kapasitas tonase sekaligus peluang sumber daya yang dapat digunakan untuk skenario perbaikan. Berikut merupakan rancangan eksperimen yang akan dilakukan.

Tabel 5.2 Rancangan Skenario Perbaikan

Faktor	Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	#AGV	#Unit Produksi
Eksisting	0	112	40	16	2200
#Pods inventory	1	116	40	16	2200
	2	120	40	16	2200
#Cell/pods	3	112	48	16	2200
	4	112	56	16	2200
#Pods inventory dan #Cell/pods	5	116	48	16	2200
	6	116	56	16	2200
	7	120	48	16	2200

Faktor	Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	#AGV	#Unit Produksi
	8	120	56	16	2200

Skenario perbaikan pada Tabel 5.2 berdasarkan kondisi eksisting PT.X dan *resource* yang digunakan adalah 16 unit AGV, *pods* inventory 112 unit dengan kapasitas 40 *polybox per unitnya*, dan jumlah unit produksi sebanyak 2200 unit. Faktor eksperimen yang digunakan merupakan penambahan jumlah *pods* inventory, penambahan jumlah kapasitas per *pods*, dan kombinasi penambahan jumlah *pods* *inventory* beserta jumlah kapasitas per *pods*. Skenario 0 merupakan kondisi eksisting. Skenario 1 dan 2 merupakan skenario perbaikan dengan menambah jumlah *pods* *inventory*. Skenario 3 dan 4 merupakan skenario perbaikan dengan menambah jumlah kapasitas *pods* *inventory*. Pada kondisi eksisting terdapat 5 tingkatan rak per *pods*, di skenario 3 menjadi 6 tingkatan, dan di skenario 4 menjadi 7 tingkatan. Skenario 5 hingga 8 merupakan kombinasi 2 faktor eksperimen yaitu penambahan jumlah *pods* *inventory* dan kapasitas per *pods*.

5.3 Analisa Hasil Skenario Perbaikan

Dari setiap skenario perbaikan yang dirancang pada subab 5.2, dilakukan running menggunakan software ARENA. Dilakukan rekapitulasi hasil dari setiap running skenario perbaikan berdasarkan parameter yang telah ditentukan. Parameter yang digunakan dalam penentuan skenario terpilih adalah rata-rata utilitas gudang, jumlah *polybox* terlayani, dan durasi produk *overload*. Berikut merupakan hasil running dari setiap skenario perbaikan yang dirancang disajikan dalam bentuk Tabel 5.3..

Tabel 5.3 Hasil Skenario Perbaikan

Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	Kapasitas Total	#Unit Produksi	Rata-rata utilitas gudang (%)	#Box terlayani (<i>receiving</i> + <i>picking</i>)	Durasi produk <i>overload</i>
0	112	40	4480	2200	91.3	103656	2.38

Skenario	#Pods <i>inventory</i>	#Cell/ <i>pods</i>	Kapasitas Total	#Unit Produksi	Rata-rata utilitas gudang (%)	#Box terlayani (<i>receiving + picking</i>)	Durasi produk <i>overload</i>
1	116	40	4640	2200	90.84	104651	2.28
2	120	40	4800	2200	88.94	104479	2.26
3	112	48	5376	2200	88.82	103841	2.25
4	112	56	6272	2200	85.98	104212	2.18
5	116	48	5568	2200	88.3	104257	2.23
6	116	56	6496	2200	85.16	104277	2.15
7	120	48	5760	2200	87.3	104654	2.21
8	120	56	6720	2200	84.1	104217	2.11

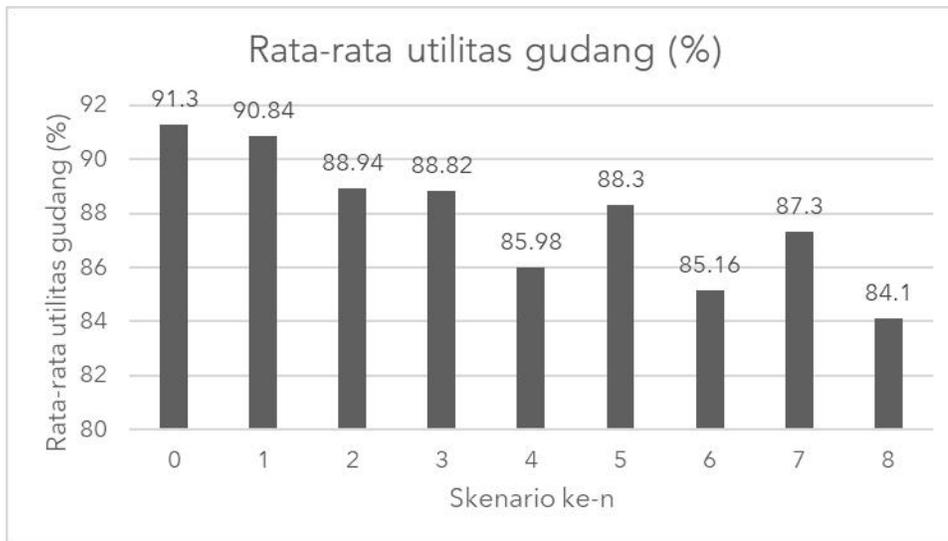
Cell per pods merupakan kapasitas *cell* yang dapat ditampung setiap *pods inventory*. Kapasitas tersebut bergantung pada jumlah level *pods inventory*. Pada kondisi eksiting level *pods inventory* hanya 5 tingkat, sedangkan setiap tingkat dapat menyimpan 8 *pods inentory*. *Cell per pods* dapat ditingkatkan kapasitasnya menjadi 48 *cell* dengan menggunakan 6 tingkat dan ditingkatkan kapasitasnya menjadi 56 *cell* dengan menggunakan 7 tingkat. Kapasitas total merupakan hasil dari perkalian jumlah *pods inventory* yang digunakan dikali dengan jumlah kapasitas *cell/pods*.

5.3.1 Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Rata-Rata Utilitas Gudang

Tabel 5.4 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Rata-Rata Utilitas Gudang

Skenario	#Pods <i>inventory</i>	#Cell/ <i>pods</i>	Kapasitas Total	#Unit Produksi	Rata-rata utilitas gudang (%)
0	112	40	4480	2200	91.3
1	116	40	4640	2200	90.84
2	120	40	4800	2200	88.94
3	112	48	5376	2200	88.82
4	112	56	6272	2200	85.98

Skenario	#Pods <i>inventory</i>	#Cell/pods	Kapasitas Total	#Unit Produksi	Rata-rata utilitas gudang (%)
5	116	48	5568	2200	88.3
6	116	56	6496	2200	85.16
7	120	48	5760	2200	87.3
8	120	56	6720	2200	84.1



Gambar 5.1 Rata-rata Utilitas Gudang (%)

Rata-rata utilitas gudang merupakan perbandingan kondisi saat rak terisi dan kosong selama durasi waktu jam operasional. Penambahan jumlah kapasitas didapat dari penambahan jumlah *pods inventory* atau penambahan tingkatan pada *pods inventory* secara berkala, maupun kombinasi dari keduanya. Dari rekapitulasi hasil pada Tabel 5.4., dapat diidentifikasi bahwa rata-rata utilitas gudang berbanding terbalik dengan jumlah kapasitas yang tersedia di dalam gudang. Semakin banyak jumlah kapasitas gudang yang dialokasikan maka rata-rata utilitas gudang cenderung semakin rendah.

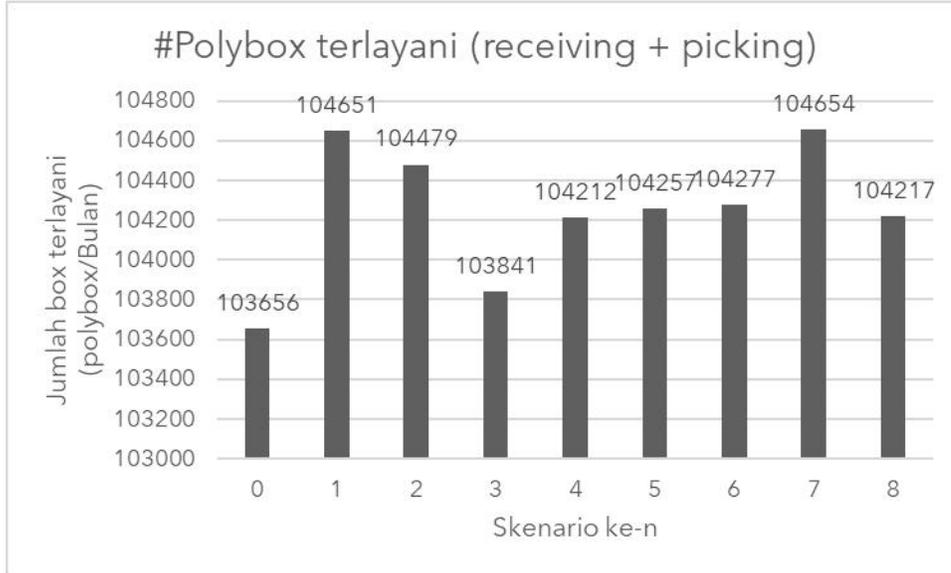
Hal tersebut dapat diidentifikasi misalkan pada skenario 0, rata-rata utilitas gudang berada pada kisaran 91,3%. Pada skenario 1 dan 2 menggunakan jumlah *pods*

inventory yang berbeda dan menghasilkan rata-rata utilitas yang lebih rendah yaitu 90,8% dan 88,94%. Pada skenario 3 dan 4 jumlah *Pods inventory* yang digunakan sama yaitu 112 *Pods* namun dengan level tingkatan rak ditambah menjadi 6 dan 7 tingkat, rata-rata utilitasnya menjadi 88,82% dan 85,98%. Pada skenario 5 dan 6 menggunakan 116 *Pods inventory* dengan level rak 6 dan 7 menghasilkan rata-rata utilitas gudang 88,3% dan 85,16%. Pada skenario 7 dan 8 menggunakan 120 *Pods inventory* dengan level rak 6 dan 7 menghasilkan rata-rata utilitas gudang 87,3% dan 84,1%.

5.3.2 Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Jumlah Polybox Terlayani

Tabel 5.5 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Jumlah Polybox Terlayani

Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	Kapasitas Total	#Unit Produksi	#Box terlayani (receiving + picking)
0	112	40	4480	2200	103656
1	116	40	4640	2200	104651
2	120	40	4800	2200	104479
3	112	48	5376	2200	103841
4	112	56	6272	2200	104212
5	116	48	5568	2200	104257
6	116	56	6496	2200	104277
7	120	48	5760	2200	104654
8	120	56	6720	2200	104217



Gambar 5.2 Jumlah *Polybox* Terlayani

Jumlah *polybox* terlayani merupakan akumulasi dari jumlah *box* dari proses *receiving* dan *box* dari proses *order picking*. Penambahan jumlah kapasitas gudang melalui penambahan jumlah *pods inventory*, jumlah tingkatan *pods inventory* maupun kombinasi keduanya, tidak selalu menyebabkan peningkatan pada jumlah *polybox* yang dikelola. Hal tersebut dapat terjadi karena beberapa faktor misalkan variabilitas pada waktu proses kedatangan *supply* dan variabilitas pada jumlah dan jenis produk yang dikelola. Faktor tersebut menyebabkan jumlah produk yang dikelola dari setiap skenario berbeda walaupun secara jumlah unit produksi yang dihasilkan setiap harinya sama.

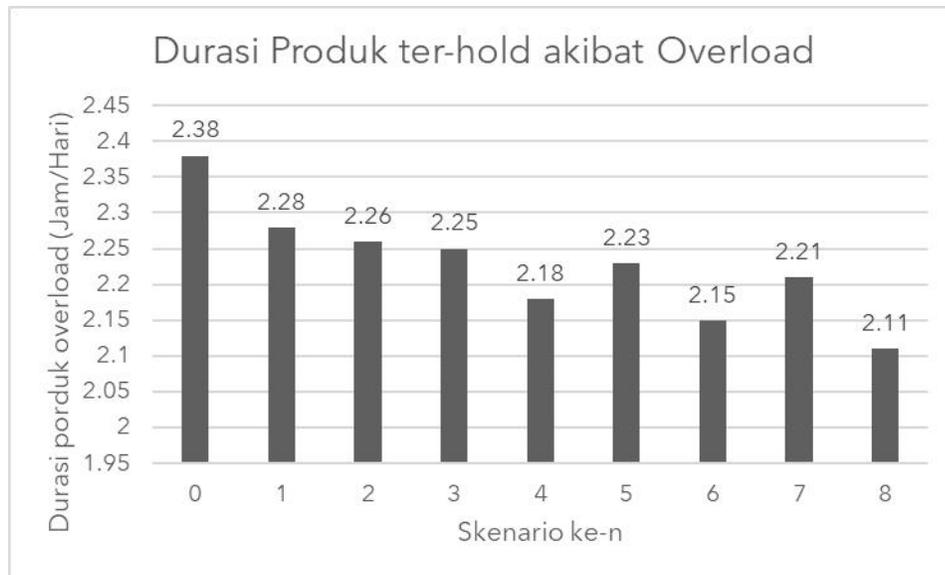
Dari hasil rekapitulasi hasil dapat diidentifikasi bahwa jumlah *polybox* paling banyak dikelola pada skenario ke 7 yaitu 104654 *polybox*. Perbedaan jumlah dari jumlah *polybox* terbanyak dan tersedikit sekitar 800 *box* per bulan.

5.3.3 Analisa Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Durasi Produk terhold akibat Overload

Tabel 5.6 Hasil Skenario Perbaikan berdasarkan Durasi Produk Terhold akibat *Overload*

Skenario	#Pods <i>inventory</i>	#Cell/pods	Kapasitas Total(Cell)	#Unit Produksi	Durasi produk ter-hold akibat <i>overload</i>
----------	---------------------------	------------	--------------------------	-------------------	---

Skenario	#Pods inventory	#Cell/pods	Kapasitas Total(Cell)	#Unit Produk si	Durasi produk ter-hold akibat overload
0	112	40	4480	2200	2.38
1	116	40	4640	2200	2.28
2	120	40	4800	2200	2.26
3	112	48	5376	2200	2.25
4	112	56	6272	2200	2.18
5	116	48	5568	2200	2.23
6	116	56	6496	2200	2.15
7	120	48	5760	2200	2.21
8	120	56	6720	2200	2.11



Gambar 5.3 Durasi Produk Terhold Akibat *Overload*

Produk *ter-hold* akibat *overload* merupakan kejadian yang terjadi bila terdapat produk yang harus disimpan dalam gudang namun pada saat yang sama tidak terdapat rak yang tersedia untuk penyimpanan tersebut, sehingga produk akan di-*hold* hingga rak tempat penyimpanan tersedia. Rata-rata durasi waktu tunggu availibitas rak tersebut yang disebut sebagai rata-rata durasi produk *overload*. Dari hasil rekapitulasi data pada Tabel 5.6., diketahui bahwa jumlah

kapasitas gudang yang tersedia berdampak pada durasi produk *ter-hold* akibat *overload*. Jumlah kapasitas gudang berbanding terbalik dengan durasi produk akibat *overload*. Semakin banyak jumlah kapasitas gudang yang dimiliki akan semakin pendek durasi waktu *ter-hold* akibat *overload*.

Kondisi eksisting pada skenario 0 dengan kapasitas 4640 cell, durasi produk *ter-hold* adalah sekitar 2,38 jam per hari. Pada skenario 1 dan 2 terdapat penambahan kapasitas karena ada penambahan *pods inventory* sehingga kapasitasnya menjadi 4640 cell dan 4800 cell. Penambahan tersebut menghasilkan durasi produk *ter-hold* akibat *overload* sekitar 2,28 jam per hari dan 2,26 jam per hari. Pada skenario 3 dan 4 menggunakan 112 *pods* namun mengalami penambahan level rak sehingga kapasitasnya menjadi 5376 cell dan 6272 cell. Penambahan tersebut menghasilkan durasi produk *ter-hold* akibat *overload* sekitar 2,25 jam per hari dan 2,18 jam per hari. Durasi produk *ter-hold* akibat *overload* terpendek diperkirakan terjadi pada skenario perbaikan ke-8 sekitar 2,11 jam per hari dengan kapasitas 6720 cell.

5.4 Keputusan Skenario Terpilih

Pada subab 5.2 telah dijelaskan secara detil terkait skenario perbaikan yang digunakan untuk menentukan saran perbaikan pada gudang PT. X. Pada kondisi eksisting utilisasi dari gudang PT. X sudah mencapai batas yang cukup tinggi yaitu rata-rata 91,3% untuk setiap bulannya. Hal tersebut menjadi tantangan karena terdapat ketidaksesuaian dengan KPI yang ingin dicapai terkait utilitas gudang. KPI utilitas gudang yang ditentukan adalah 85%.

Menurut (Tompkins & Smith, 1998) Tingkat utilitas gudang yang harus berkisar 85% hingga 90%. Namun menurut Frazelle (2002) berpendapat bahwa ketika tingkat hunian mendekati 86% pemanfaatan, produktivitas dan keselamatan menurun sehingga utilitas gudang sekitar 80-85% dari kapasitas total gudang dianggap sebagai target yang baik. Ini memberikan ruang untuk pertumbuhan dan fleksibilitas, sambil tetap memanfaatkan ruang secara efisien.

Skenario perbaikan yang dipilih adalah skenario perbaikan ke-8 yaitu melakukan penambahan dua tingkat rak per *pods inventory* dan diimplementasikan pada 120 *pods inventory*. Bila skenario perbaikan ini diimplementasikan maka diharapkan utilitas dari gudang dapat berada di bawah 85% sehingga bila terdapat peningkatan jumlah *spareparts* yang akan terjadi untuk beberapa tahun ke depan maka, gudang masih dapat menampung dan berlaku dalam waktu panjang. Selain itu durasi produk akibat *overload* juga dapat dipersingkat menjadi kisaran 2,1 jam per hari.

BAB 6

KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan terkait kesimpulan dari penelitian tugas akhir ini dan saran untuk penelitian setelahnya.

6.1 Kesimpulan

Berikut merupakan beberapa kesimpulan yang dapat ditarik dari penelitian ini.

1. Pada kondisi eksisting gudang PT. X menggunakan 112 *pods inventory* dengan 5 tingkat rak per *pods inventory* dan 16 unit AGV. Kondisi ini bila disimulasikan menghasilkan utilitas gudang mencapai 91,3% dengan 103656 *polybox* terlayani per bulan, dan durasi produk *hold overload* akibat tidak tersedianya rak untuk menyimpan selama 2,38 jam per hari.
2. Skenario perbaikan pada penelitian ini berdasarkan kebijakan perusahaan untuk tidak menambah jumlah luasan gudang. Hal ini disebabkan karena luas lahan yang ada tidak dapat di ekspansi lagi. Awalnya perusahaan akan mereduksi layout yang ada karena lahan akan dialokasikan untuk plant baru yang perlu diperluas. Faktor eksperimen yang digunakan merupakan penambahan jumlah *pods inventory*, penambahan jumlah kapasitas per *pods*, dan kombinasi penambahan jumlah *pods inventory* beserta jumlah kapasitas per *pods*. Setiap

hasil skenario perbaikan diidentifikasi terkait rata-rata utilitas gudang (%), jumlah *polybox* terlayani (*polybox*/bulan), dan durasi produk *overload*(jam/hari).

3. Dari beberapa skenario perbaikan dengan melakukan penambahan 8 *pods inventory* dan setiap *pods* ditambah 2 tingkatan rak, dinilai menjadi saran yang dipilih untuk perbaikan gudang *spareparts* PT.X. Dengan perbaikan tersebut, utilitas gudang berada pada kisaran 84,1%, 104217 *polybox* terlayani per bulan, dan durasi produk tertahan akibat *overload* hanya selama 2,1 jam per hari.

6.2 Saran

Berikut merupakan saran yang diberikan setelah penelitian ini selesai.

1. Gudang *spareparts* PT.X disarankan menggunakan 120 *pods inventory* dan setiap *pods inventory* ditambah 2 tingkat rak agar dapat menyimpan produk lebih banyak namun tidak melampaui kapasitas AGV yang mengangkat kapasitas *pods inventory*. Penambahan alokasi *pods inventory* akan berdampak pada utilitas gudang, lama waktu tunggu, dan probabilitas terjadinya produk *overload* akibat tidak tersedia lokasi penyimpanan.
2. Pada penelitian selanjutnya dapat dipertimbangkan terkait kebutuhan AGV untuk melakukan isi ulang daya pada *charging station*.
3. Pada penelitian selanjutnya dapat mencoba berbagai algoritma urutan kegiatan *picking* di gudang yang dapat dijadikan suatu eksperimen misal *S shape*, *Return*, *Mid point* dan lain-lain.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Model *scope*

Konten Model		
Model Scope		
Komponen	Include/Exclude	Justifikasi
Entitas		
Box Spareparts	<i>Include</i>	Sebagai entitas yang bergerak dalam kegiatan pergudangan
		Merepresentasikan jumlah <i>box yang terlayani</i> baik pada proses <i>receiving</i> maupun <i>picking</i>
		Sebagai salah satu parameter perfomansi kinerja pergudangan
Aktivitas		
Receiving	<i>Include</i>	Pada kondisi nyata, <i>receiving</i> merupakan kegiatan pertama pada pergudangan untuk melakukan pengecekan kesesuaian <i>supply spareparts</i> dari segi jenis dan jumlah.
		Memberikan informasi berapa banyak <i>spareparts</i> yang diterima per periode yang ditentukan
		Memberikan informasi jenis <i>spareparts</i> yang diterima per periode yang ditentukan
Staging dan Put away	<i>Include</i>	Pada kondisi nyata, setelah produk diterima pada bagian <i>receiving</i> maka produk akan dialirkan ke bagian <i>staging</i> dan <i>put away</i> untuk siap disimpan.
		Memberikan informasi suatu <i>spareparts</i> akan disimpan pada rak A/B/C/D/E
		<i>Barcode</i> pada <i>spareparts</i> akan di scan untuk menginput data <i>staging</i> untuk part ID sekaligus penugasan penjemputan <i>pods</i> oleh AGV.
Picking	<i>Include</i>	Pada kondisi nyata, <i>picking</i> merupakan kegiatan terakhir pada proses pergudangan yaitu pengambilan persediaan dari <i>pods</i> sesuai dengan permintaan dari unit produksi
		<i>Barcode</i> pesanan dari unit produksi akan di scan dan sistem akan melacak keberadaan <i>spareparts</i> yang dibutuhkan. Sistem akan mengarahkan AGV melakukan penjemputan <i>pods</i> yang dituju untuk dibawa ke WS 2.
		Memberikan informasi berapa banyak <i>spareparts</i> yang dikirim ke unit produksi
Antrian		

Konten Model		
Model Scope		
Komponen	Include/Exclude	Justifikasi
<i>Receiving</i>	<i>Include</i>	Dibutuhkan untuk mengestimasi rata-rata waktu tunggu per periode
<i>Staging dan Put away</i>	<i>Include</i>	Dibutuhkan untuk mengestimasi rata-rata waktu tunggu per periode
<i>Picking</i>	<i>Include</i>	Dibutuhkan untuk mengestimasi rata-rata waktu tunggu per periode
Resource		
<i>Pods</i>	<i>Include</i>	Dibutuhkan sebagai tempat menyimpan persediaan <i>spareparts</i>
		Dibutuhkan sebagai faktor eksperimental (jumlah <i>Pods</i> yang digunakan dalam gudang)
<i>AGV</i>	<i>Include</i>	Dibutuhkan sebagai <i>material handling</i> pada proses pergudangan
		Dibutuhkan sebagai faktor eksperimental (jumlah <i>AGV</i> yang digunakan dalam gudang)
Luas gudang	<i>Include</i>	Dibutuhkan sebagai lokasi <i>Pods inventory</i> dan <i>AGV</i>

Lampiran 2. *Level of Detail*

Konten Model		
Level of Detail		
Komponen	Detail	Justifikasi
Aktivitas		
<i>Receiving</i>	Jarak waktu antar kedatangan <i>supply</i>	Dimodelkan dengan distribusi probabilitas
	Jumlah <i>spareparts</i> yang diterima (<i>box</i>)	Dimodelkan dengan distribusi probabilitas
	Jenis <i>spareparts</i> yang diterima (<i>small, medium, large</i>)	Dimodelkan dengan prosentase dari perusahaan
	Penentuan barang dilayani/tidak (berdasarkan jam kedatangan)	Jam operasional mulai 07.00 hingga 24.00 jika <i>supply</i> datang di luar jam tersebut maka tidak dapat dilayani dan menunggu hingga gudang kembali beroperasi.
<i>Staging</i>	Jarak tempuh dari WS 1 ke setiap <i>Pods</i>	Dimodelkan dengan distribusi probabilitas

Konten Model		
Level of Detail		
Komponen	Detail	Justifikasi
<i>dan Put away</i>	Durasi tempuh dari WS 1 ke setiap <i>Pods</i>	Dihitung dari jarak tempuh <i>put away</i> dibagi kecepatan rata-rata AGV yang digunakan (2 m/s)
	Waktu proses total <i>staging</i> dan <i>put away</i>	Durasi tempuh <i>put away</i> ditambah dengan waktu proses saat operator meletakkan produk ke <i>Pods</i>
<i>Picking</i>	Jarak tempuh dari setiap <i>Pods</i> ke WS 2	Dimodelkan dengan distribusi probabilitas
	Durasi tempuh dari <i>Pods</i> ke WS 2	Dihitung dari jarak tempuh <i>picking</i> dibagi kecepatan rata-rata AGV yang digunakan (2 m/s)
	Waktu proses total <i>picking</i>	Durasi tempuh <i>picking</i> ditambah dengan waktu proses saat operator mengambil produk ke <i>Pods</i>
Antrian		
<i>Receiving</i>	Durasi antrian <i>receiving</i>	Antrian berdasarkan urutan kedatangan <i>supply</i>
<i>Staging dan Put away</i>	Durasi antrian <i>staging</i> dan <i>put away</i>	Antrian berdasarkan urutan kedatangan <i>supply</i>
<i>Picking</i>	Durasi antrian <i>picking</i>	Antrian berdasarkan permintaan yang akan dipenuhi secara FIFO.
Resource		
<i>Pods</i>	Jumlah	Sebagai kapasitas area penyimpanan
<i>AGV</i>	Jumlah	Menentukan utilisasi setiap AGV yang berpengaruh pada jumlah <i>box yang terlayani</i> serta rata-rata waktu tunggu
	Strategi Penugasan	Menentukan utilisasi setiap AGV yang berpengaruh pada jumlah <i>box yang terlayani</i> serta rata-rata waktu tunggu
	Kecepatan	Menentukan durasi proses pergudangan yang berdampak pada jumlah <i>box terlayani</i> dan rata-rata waktu tunggu.

Lampiran Data Receiving

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
1	7:31:12 AM	
1	7:31:22 AM	0.17
4	7:33:08 AM	1.77
1	7:37:17 AM	4.15
1	7:38:23 AM	1.10
2	7:39:34 AM	1.18
1	7:39:48 AM	0.23
1	7:41:31 AM	1.72
2	7:41:40 AM	0.15
1	7:42:00 AM	0.33
2	7:42:21 AM	0.35
2	7:42:47 AM	0.43
1	7:43:23 AM	0.60
1	7:43:33 AM	0.17
1	7:44:03 AM	0.50
2	7:48:59 AM	4.93
6	7:49:33 AM	0.57
1	7:49:46 AM	0.22
1	7:53:01 AM	3.25
1	7:53:09 AM	0.13
1	7:53:20 AM	0.18
1	7:54:01 AM	0.68
1	7:55:23 AM	1.37
5	7:58:27 AM	3.07
1	7:58:40 AM	0.22
2	7:58:53 AM	0.22
6	8:08:09 AM	9.27
1	8:09:04 AM	0.92
13	8:10:00 AM	0.93
39	8:24:14 AM	14.23
1	8:24:44 AM	0.50
1	8:24:54 AM	0.17
2	8:26:38 AM	1.73
5	8:28:59 AM	2.35

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
1	8:30:05 AM	1.10
1	8:31:43 AM	1.63
1	8:32:28 AM	0.75
2	8:32:38 AM	0.17
1	8:34:27 AM	1.82
2	8:34:37 AM	0.17
18	8:37:55 AM	3.30
1	8:38:13 AM	0.30
1	8:39:33 AM	1.33
1	8:40:27 AM	0.90
1	8:41:27 AM	1.00
1	8:41:43 AM	0.27
1	8:42:11 AM	0.47
1	8:42:21 AM	0.17
9	8:45:01 AM	2.67
1	8:45:39 AM	0.63
1	8:46:01 AM	0.37
1	8:47:07 AM	1.10
1	8:47:44 AM	0.62
2	8:49:41 AM	1.95
1	8:49:56 AM	0.25
1	8:50:24 AM	0.47
5	8:53:33 AM	3.15
1	8:53:43 AM	0.17
8	8:56:38 AM	2.92
3	9:00:14 AM	3.60
2	9:03:04 AM	2.83
3	9:04:17 AM	1.22
14	9:07:00 AM	2.72
1	9:07:09 AM	0.15
1	9:09:28 AM	2.32
3	9:10:47 AM	1.32
1	9:11:02 AM	0.25
2	9:12:21 AM	1.32
2	9:13:54 AM	1.55
1	9:14:49 AM	0.92

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
1	9:15:25 AM	0.60
1	9:15:33 AM	0.13
1	9:17:05 AM	1.53
1	9:17:25 AM	0.33
1	9:42:04 AM	24.65
4	9:43:22 AM	1.30
2	9:43:46 AM	0.40
1	9:44:19 AM	0.55
1	9:44:35 AM	0.27
1	9:45:24 AM	0.82
1	9:50:34 AM	5.17
1	9:58:38 AM	8.07
1	10:03:28 AM	4.83
1	10:05:21 AM	1.88
2	10:05:30 AM	0.15
2	10:06:11 AM	0.68
7	10:19:18 AM	13.12
3	10:19:29 AM	0.18
10	10:20:07 AM	0.63
8	10:20:16 AM	0.15
1	10:21:33 AM	1.28
1	10:21:49 AM	0.27
2	10:26:16 AM	4.45
1	10:27:14 AM	0.97
1	10:27:27 AM	0.22
5	10:28:15 AM	0.80
1	10:29:29 AM	1.23
1	10:29:58 AM	0.48
4	10:29:59 AM	0.02
3	10:30:24 AM	0.42
1	10:30:42 AM	0.30
1	10:30:49 AM	0.12
1	10:31:23 AM	0.57
1	10:32:32 AM	1.15
1	10:32:41 AM	0.15
4	10:32:42 AM	0.02

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
1	10:32:48 AM	0.10
1	10:34:10 AM	1.37
1	10:34:59 AM	0.82
1	10:35:09 AM	0.17
1	10:35:40 AM	0.52
1	10:38:36 AM	2.93
18	10:38:59 AM	0.38
2	10:40:13 AM	1.23
1	10:42:44 AM	2.52
1	10:45:46 AM	3.03
1	10:45:57 AM	0.18
25	10:48:49 AM	2.87
1	10:50:16 AM	1.45
1	10:52:09 AM	1.88
1	10:52:20 AM	0.18
1	10:52:42 AM	0.37
1	10:53:13 AM	0.52
5	10:53:25 AM	0.20
1	10:53:41 AM	0.27
1	10:55:59 AM	2.30
1	10:56:31 AM	0.53
7	10:58:46 AM	2.25
1	10:59:39 AM	0.88
1	11:01:43 AM	2.07
4	11:02:17 AM	0.57
1	11:02:59 AM	0.70
1	11:03:37 AM	0.63
1	1:02:09 PM	118.53
1	1:03:06 PM	0.95
3	1:04:36 PM	1.50
1	1:05:37 PM	1.02
3	1:07:49 PM	2.20
2	1:07:59 PM	0.17
1	1:12:06 PM	4.12
4	1:14:35 PM	2.48
1	1:14:43 PM	0.13

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
23	1:17:16 PM	2.55
1	1:19:21 PM	2.08
3	1:20:08 PM	0.78
1	1:20:29 PM	0.35
1	1:22:23 PM	1.90
6	1:23:26 PM	1.05
15	1:30:28 PM	7.03
1	1:30:43 PM	0.25
9	1:35:49 PM	5.10
25	1:44:26 PM	8.62
8	1:46:40 PM	2.23
3	1:52:41 PM	6.02
10	2:00:02 PM	7.35
1	2:01:14 PM	1.20
1	2:02:13 PM	0.98
1	2:02:44 PM	0.52
1	2:03:09 PM	0.42
2	2:04:38 PM	1.48
1	2:05:24 PM	0.77
1	2:06:02 PM	0.63
2	2:06:41 PM	0.65
2	2:07:08 PM	0.45
3	2:08:39 PM	1.52
12	2:09:25 PM	0.77
2	2:11:02 PM	1.62
14	2:12:52 PM	1.83
6	2:17:48 PM	4.93
6	2:20:17 PM	2.48
4	2:23:22 PM	3.08
1	2:23:31 PM	0.15
3	2:25:43 PM	2.20
1	2:25:54 PM	0.18
1	2:26:14 PM	0.33
1	2:26:48 PM	0.57
1	2:27:12 PM	0.40
2	2:29:52 PM	2.67

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
2	2:30:28 PM	0.60
1	2:32:41 PM	2.22
2	2:33:37 PM	0.93
1	2:33:53 PM	0.27
7	2:35:33 PM	1.67
2	2:35:53 PM	0.33
1	2:37:55 PM	2.03
1	2:39:14 PM	1.32
1	2:39:35 PM	0.35
1	2:39:43 PM	0.13
1	2:40:08 PM	0.42
1	2:40:29 PM	0.35
15	2:40:29 PM	0.00
1	2:42:21 PM	1.87
14	2:42:21 PM	0.00
1	2:42:50 PM	0.48
1	2:43:01 PM	0.18
1	2:43:18 PM	0.28
1	2:43:28 PM	0.17
1	2:43:43 PM	0.25
1	2:44:41 PM	0.97
5	2:46:12 PM	1.52
1	2:47:31 PM	1.32
1	2:58:14 PM	10.72
3	2:58:59 PM	0.75
1	2:59:42 PM	0.72
2	3:01:17 PM	1.58
2	3:01:28 PM	0.18
1	3:02:31 PM	1.05
1	3:03:20 PM	0.82
1	3:03:36 PM	0.27
1	3:04:11 PM	0.58
16	3:07:42 PM	3.52
1	3:07:48 PM	0.10
7	3:08:16 PM	0.47
1	3:08:29 PM	0.22

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
4	3:08:50 PM	0.35
1	3:10:50 PM	2.00
1	3:11:03 PM	0.22
19	3:12:33 PM	1.50
2	3:13:16 PM	0.72
1	3:13:35 PM	0.32
6	3:14:57 PM	1.37
1	3:15:57 PM	1.00
2	3:16:31 PM	0.57
1	3:18:40 PM	2.15
8	3:19:49 PM	1.15
1	3:19:59 PM	0.17
1	3:22:11 PM	2.20
1	3:22:20 PM	0.15
1	4:47:15 PM	84.92
2	5:02:13 PM	14.97
15	5:02:38 PM	0.42
10	5:03:57 PM	1.32
2	5:04:43 PM	0.77
3	5:05:19 PM	0.60
5	5:05:50 PM	0.52
1	5:07:30 PM	1.67
1	5:08:12 PM	0.70
17	5:12:17 PM	4.08
4	5:16:17 PM	4.00
1	5:30:55 PM	14.63
5	5:33:44 PM	2.82
3	5:34:02 PM	0.30
24	5:40:26 PM	6.40
3	5:43:53 PM	3.45
9	5:44:46 PM	0.88
12	5:47:17 PM	2.52
12	6:18:21 PM	31.07
1	6:20:23 PM	2.03
1	6:20:40 PM	0.28
4	6:22:14 PM	1.57

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
1	6:22:22 PM	0.13
8	6:24:21 PM	1.98
45	6:33:46 PM	9.42
1	6:34:34 PM	0.80
1	6:35:31 PM	0.95
4	6:36:37 PM	1.10
1	6:36:42 PM	0.08
1	6:36:58 PM	0.27
1	6:38:19 PM	1.35
2	6:38:42 PM	0.38
1	6:39:22 PM	0.67
2	6:40:50 PM	1.47
1	6:41:12 PM	0.37
1	6:41:19 PM	0.12
1	6:41:41 PM	0.37
2	6:44:33 PM	2.87
4	6:44:43 PM	0.17
1	6:45:10 PM	0.45
1	6:46:03 PM	0.88
14	6:46:10 PM	0.12
1	6:46:36 PM	0.43
1	6:47:19 PM	0.72
1	6:47:34 PM	0.25
2	6:47:46 PM	0.20
2	6:48:39 PM	0.88
1	6:49:46 PM	1.12
6	6:50:06 PM	0.33
1	6:50:16 PM	0.17
2	6:50:59 PM	0.72
1	6:53:00 PM	2.02
3	6:53:59 PM	0.98
3	6:54:20 PM	0.35
1	6:55:53 PM	1.55
3	6:55:59 PM	0.10
1	6:56:12 PM	0.22
2	6:56:17 PM	0.08

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
7	8:12:16 PM	75.98
1	8:13:33 PM	1.28
1	8:14:32 PM	0.98
1	8:15:47 PM	1.25
1	8:15:55 PM	0.13
1	8:22:26 PM	6.52
2	8:22:38 PM	0.20
2	8:23:01 PM	0.38
1	8:23:18 PM	0.28
1	8:23:25 PM	0.12
3	8:24:03 PM	0.63
2	8:29:11 PM	5.13
1	8:32:36 PM	3.42
9	8:33:19 PM	0.72
1	8:39:35 PM	6.27
8	8:39:42 PM	0.12
3	8:39:55 PM	0.22
1	8:40:08 PM	0.22
4	8:41:25 PM	1.28
2	8:43:09 PM	1.73
2	8:43:40 PM	0.52
8	8:44:01 PM	0.35
2	8:44:07 PM	0.10
14	8:48:25 PM	4.30
5	8:48:33 PM	0.13
5	8:50:27 PM	1.90
6	8:51:54 PM	1.45
1	8:53:42 PM	1.80
3	8:54:09 PM	0.45
1	8:54:34 PM	0.42
1	9:25:58 PM	31.40
2	9:27:54 PM	1.93
2	9:28:42 PM	0.80
1	9:30:04 PM	1.37
4	9:31:10 PM	1.10
3	9:33:13 PM	2.05

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
2	9:34:40 PM	1.45
1	9:35:14 PM	0.57
1	9:35:28 PM	0.23
2	9:35:43 PM	0.25
1	9:36:11 PM	0.47
1	9:36:46 PM	0.58
3	9:45:13 PM	8.45
10	9:46:16 PM	1.05
8	9:50:46 PM	4.50
4	9:55:29 PM	4.72
1	10:00:09 PM	4.67
3	10:01:51 PM	1.70
6	10:06:59 PM	5.13
1	10:07:49 PM	0.83
1	10:08:02 PM	0.22
1	10:08:32 PM	0.50
1	10:13:15 PM	4.72
1	10:15:54 PM	2.65
2	10:24:12 PM	8.30
7	10:27:40 PM	3.47
1	10:28:29 PM	0.82
8	10:36:31 PM	8.03
2	10:36:38 PM	0.12
26	10:47:50 PM	11.20
1	10:48:22 PM	0.53
6	10:49:36 PM	1.23
5	10:53:49 PM	4.22
7	10:54:01 PM	0.20
16	10:55:46 PM	1.75
1	10:55:52 PM	0.10
19	10:56:12 PM	0.33
5	10:58:32 PM	2.33
3	10:58:45 PM	0.22
1	10:59:11 PM	0.43
29	10:59:21 PM	0.17
3	11:00:45 PM	1.40

Qty (Box)	Waktu Kedatangan <i>Inbound</i>	Selisih (dalam menit)
29	11:02:42 PM	1.95
5	11:04:05 PM	1.38
6	11:05:24 PM	1.32
9	11:06:51 PM	1.45
1	11:07:50 PM	0.98
3	11:15:28 PM	7.63
12	11:16:02 PM	0.57
28	11:16:49 PM	0.78
2	11:16:57 PM	0.13

DAFTAR PUSTAKA

- Accorsi, R., Manzini, R. & Bortoloni, M., 2012. A hierarchical procedure for storage allocation and assignment within an order-picking system. A case study. *International Journal Logistics Research Application*, 15(6), pp. 351-364.
- Allyson, S., Kees, J. R., Leandro, C. C. & Maryam, D., 2022. Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouse. *International Journal of Production Economics*, Volym 252.
- Al-Gwaiz, M., Chao, X. and Romeijn, H.E. (2016) 'Capacity expansion and cost efficiency improvement in the warehouse problem', *Naval Research Logistics (NRL)*, 63(5), pp. 367–373. doi:10.1002/nav.21703.
- Ariyanti, F.D., Raquel and Velio, D. (2021) 'Decision making in the warehouse expansion strategy at PT Dwitama Global Persada', *IOP Conference Series: Earth and Environmental Science*, 794(1), p. 012073. doi:10.1088/1755-1315/794/1/012073.
- Chan, F. T. & Chan, H., 2011. Improving the productivity of order picking of a manual pick and multi level rack distribution warehouse through the implementation of class based storage. *Expert Systems with Applications*, pp. 2686 - 2700.
- Cormier, G., Gunn, E.A., 1996. On coordinating warehouse sizing, leasing and inventory policy. *IIE Transactions* 28, 149–154
- Cormier, G. and Gunn, E.A. (1999) 'Modelling and analysis for capacity expansion planning in warehousing', *The Journal of the Operational Research Society*, 50(1), p. 52. doi:10.2307/3010388.
- D'Andrea, R. & Wurman, P., 2008. Coordinating hundreds of cooperative, autonomous vehicles in warehouses. *IEEE International Conference on Technologies for Practical Robots Applications*, Volym 1, p. 29.
- de Koster, R., Le Duc, T. & Roodbergen, K., 2007. Design and control of warehouse order picking: A literature review. *European Journal Operations Research*, 182(2), pp. 481-501.

- Duan, G. et al. (2021) 'Performance evaluation for *robotic mobile fulfillment systems* with time-varying arrivals', *Computers & Industrial Engineering*, 158, p. 107365. doi:10.1016/j.cie.2021.107365.
- Feng, L. et al. (2018) '*Picking station location in traditional and flying-V aisle warehouses for robotic mobile fulfillment system*', 2018 IEEE International Conference on Industrial Engineering and Engineering Management (IEEM) [Preprint]. doi:10.1109/ieem.2018.8607301.
- Frazelle, E. H., 2002. *World-class Warehousing and Material handling*. New York: McGraw Hill.
- Gharehgozli, A. & Zaepour, N., 2020. Robot scheduling for pod retrieval in a *robotic mobile fulfillment system*. *Transportation Research Part E: Logistics and Transportation Review*, p. 142.
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F., 2009. Research on warehouse design and performance evaluation: A. *European Journal of Operational Research*, pp. 539-549.
- Gu, J., Goetschalckx, M. & McGinnis, L. F., 2007. Research on warehouse operation: A comprehensive review. *European Journal of Operational Research*, pp. 1 - 21.
- Guo, X., Yu, Y. & de Koster, R., 2016. Impact of required storage space on storage policy performance in a unit-load warehouse. *International Journal Production Research*, pp. 2405-2428.
- Goh, M., Ou, J., Teo, C.-P., 2001. Warehouse sizing to minimize *inventory* and storage costs. *Naval Research Logistics* 48 (4), 299–312
- Harrel, C. R., 2004. *Simulation Using ProModel 2nd Edition*. 2nd Edition red. New York: McGraw-Hill.
- Heizer & Render, 2004. *Principles of Operations Management*. 5e, 7e red. Upper Saddle River N.J: Prentice Hall, Inc.
- Heragu, S. S., 2008. *Facility Design*. 3 red. London: Taylor & Francis Group.

- Horta, M., Coelho, F. & Relvas, S., 2016. Layout design modelling for real world just in time warehouse. *Computers & Industrial Engineering*, Volym 101, pp. 1-9.
- Koster, R. d., Le-Duc, T. & Roodbergen, K. J., 2007. Design and control of warehouse order picking:. *European Journal of Operational Research*, Volym 1, pp. 481-501.
- Lamballais, T., Roy, D. & De Koster, M., 2019. *Inventory allocation in robotic mobile fulfillment systems. IISE Transactions*, pp. 1-17.
- Le-Anh, T. & De Koster, M., 2006. A review of design and control of automated guided vehicle systems. *European Journal of Operational Research*, 171(1), pp. 1-23.
- Levy, J., 1974. The optimal size of a storage facility. *Naval Research Logistics Quarterly* 21 (2), 319–326
- Li, X. o.a., 2020. Storage assignment policy with awareness of energy consumption in the kiva mobile fulfillment system.. *Transportation Research Part E*.
- Lienert, T. et al. (2018) ‘Simulation-based performance analysis in robotic mobile fulfillment systems - analyzing the throughput of different layout configurations’, Proceedings of 8th International Conference on Simulation and Modeling Methodologies, Technologies and Applications [Preprint]. doi:10.5220/0006827103830390.
- Merschforman, M., Lamballais, T., de Koster, M. & Suhl, L., 2019. Decision rules for *Robotic Mobile Fulfillment Systems. Operations Research Perspectives*, Volym 6.
- Merschformann, M., Suhl, T. L. L. & De Koster, R. B., 2018. Decision Rules for *Robotic Mobile Fulfillment System. Operatonal Research Perspectives*.
- Mirzaei, M., Zaerpour, N. & Koster, R., 2021. The impact of integrated cluster-based storage allocation on parts-to-picker warehouse perfomance. *Transportation Research Part E*.
- Muppani, V. R. & Adil, G. K., 2008. Class-based storage-location assignment to minimise pick travel distance. *International Journal of Logistics: Research and Applications*, pp. 247 - 265.

- Petersen, C., Aese, G. & Heiser, D., 2004. Improving order-picking performance through the implementation of class-based storage.. *International Journal Physic Distribution Logistics Manage*, 34(7), pp. 534-544.
- Reyes, J., Solano-Charris & Montoya-Torres, 2019. The storage location assignment problem : A literature review. *International Journal Engineering Computation* , Volym 2, pp. 199-224.
- Rizma, M. & Vanany, I., 2022. FORECASTING AND MATERIAL *INVENTORY* CONTROL IN THE ELECTRICAL DISTRIBUTION INDUSTRY. *The 6th International Conference on Management of Technology, Innovation, and Project*.
- S, A. T., S, M. H. & B, S. P., 2012. ABC inventory classification in the presence of both quantitative and qualitative criteria. *Computers & Industrial Engineering*.
- Silver, Pyke & Peterson, 1998. *Inventory management and production planning and scheduling*. New York: Wiley.
- Silvia, A., Roodbergen, K. J., Coelho, L. C. & Darvish, M., 2022. Estimating optimal ABC zone sizes in manual warehouse. *International Journal of Production Economics*.
- Siswanto, N., Latiffianti, E. & Wiratno, S. E., 2017. *Simulasi Sistem Diskrit Implementasi dengan software Arena. 1 red*. Surabaya: ITS Tekno Sains.
- Tersine, R. J., 1994. *Priciples of Material and Inventory Management*. Prentice-Hall International, Inc red. New Jersey: 4.
- Tompkins, J. A., & Smith, J. D. (1998). *The Warehouse Management Handbook*. Tompkisn press.
- Waters, D., 2003. *Inventory Control and Management*. 2nd ed red. England: Wiley.
- Wu, S. et al. (2020) ‘Research of the layout optimization in *robotic mobile fulfillment systems*’, *International Journal of Advanced Robotic Systems*, 17(6), p. 172988142097854. doi:10.1177/1729881420978543.
- Xie, L., Thieme, N., Krenzler, R. & Li, H., 2021. Introducing split orders and optimizing operational policies in robotic. *European Journal of Operational Research*, Volym 1, pp. 80-97.

X, -B. W. & V, A. A., 1992. *SCHEDULING AND CONTROL OF AGV BASED MATERIAL HANDLING SYSTEMS*. Tokyo, Eight International PROLAMAT Conference.

Yang, X. et al. (2021) 'Non-traditional layout design for *robotic mobile fulfillment system* with multiple *workstations*', *Algorithms*, 14(7), p. 203. doi:10.3390/a14070203.

(Halaman ini sengaja untuk dikosongkan)

BIOGRAFI PENULIS



Penulis bernama Apsarini Pradipta, lahir di Surabaya pada 1 Januari 2001. Penulis merupakan lulusan sarjana S-1 Teknik Sistem dan Industri Institut Teknologi Sepuluh Nopember pada September 2023. Penulis berhasil menyelesaikan jenjang sarjana dalam kurun waktu 4 tahun dengan predikat cum laude. Berkesempatan mengikuti program *fast-track* dari Institut Teknologi Sepuluh Nopember yaitu dalam 5 tahun studi dapat menyelesaikan sarjana dan magister.

Sehingga, penulis merupakan penerima beasiswa *fast-track* ITS. Program tersebut yang menyebabkan penulis harus melaksanakan studi ganda pada semester 7 untuk S1 bersama semester 1 untuk S2 dan semester 8 untuk S1 bersama semester 2 untuk S2. Merupakan pengalaman yang berharga.

Pada jenjang Magister, penulis memutuskan untuk fokus pada bidang *Logistic and Supply Chain Management*. Selama studi S2, penulis berkesempatan untuk bergabung menjadi asister laboratorium *Logistic and Supply Chain Management* ITS (LSCM ITS) dan menjadi koordinator asisten laboratorium LSCM untuk jenjang magister. Selain itu, penulis juga berkesempatan membantu dosen pada beberapa proyek penelitian, penulis juga memiliki beberapa pencapaian seperti 1 proposal yang terdani hibah penelitian oleh ITS dan 1 artikel terpublikasi oleh jurnal nasional bereputasi.

Penulis memiliki minat penelitian dibidang pergudangan, rantai pasok, dan simulasi kejadian diskrit. Bila terdapat pertanyaan maupun diskusi lebih lanjut terkait

penelitian ini maka penulis dapat dihubungi melalui surel pradiptaapsarini@gmail.com dan linkedin www.linkedin.com/in/apsarinipradipta/.