



TUGAS AKHIR – TI 184833

**PERANCANGAN TATA LETAK PRODUK PADA GUDANG PRODUK JADI  
DENGAN SIMULASI DISKRIT (STUDI KASUS: WAREHOUSE PT. X)**

ENRICO ADELWIN PASARIBU  
NRP. 02411640000082

DOSEN PEMBIMBING:  
Dody Hartanto, S.T., M.T.  
NIP. 1979122932008121003

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





FINAL PROJECT – TI 184833

**PRODUCT LAYOUT PLANNING FOR FINISHED GOODS WAREHOUSE  
USING DISCRETE SIMULATION (STUDY CASE: WAREHOUSE OF PT.X)**

ENRICO ADELWIN PASARIBU  
NRP. 02411640000082

SUPERVISOR:  
Dody Hartanto, S.T., M.T.  
NIP. 1979122932008121003

DEPARTMENT OF INDUSTRIAL SYSTEM AND ENGINEERING  
FACULTY OF INDUSTRIAL TECHNOLOGY AND SYSTEMS ENGINEERING  
INSTITUT TEKNOLOGI SEPULUH NOPEMBER  
SURABAYA  
2020



**LEMBAR PENGESAHAN**

**PERANCANGAN TATA LETAK PRODUK PADA GUDANG PRODUK  
JADI DENGAN SIMULASI DISKRIT (STUDI KASUS: *WAREHOUSE PT.*  
*X*)**

**TUGAS AKHIR**

Diajukan untuk Memenuhi Salah Satu Syarat Memperoleh Gelar Sarjana Teknik  
pada Program Studi S-1 Departemen Teknik Sistem dan Industri  
Fakultas Teknologi Industri dan Rekayasa Sistem  
Institut Teknologi Sepuluh Nopember

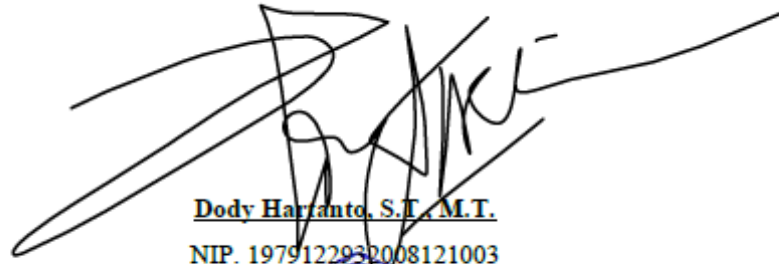
Oleh:

**Enrico Adelwin Pasaribu**

**NRP. 02411640000082**

Mengetahui dan Menyetujui

Dosen Pembimbing Tugas Akhir



**Dody Haryanto, S.T., M.T.**

**NIP. 1979122932008121003**





# PERANCANGAN TATA LETAK PRODUK PADA GUDANG PRODUK JADI DENGAN SIMULASI DISKRIT (STUDI KASUS: WAREHOUSE PT. X)

Nama : Enrico Adelwin Pasaribu  
NRP : 02411640000082  
Pembimbing : Dody Hartanto, S.T., M.T.

## ABSTRAK

PT. X merupakan perusahaan distributor yang bergerak sebagai penyedia produk keamanan dan aksesoris pintu dan jendela di Indonesia. Dalam menyimpan dan mengelola tata letak produknya, *storage policy* yang diterapkan oleh PT. X saat ini adalah *dedicated storage policy*, dimana produk dikelompokkan berdasarkan jenisnya. Terdapat 2 area dalam *warehouse* pusat PT. X, yaitu Area 0 dan Area 1 yang memiliki fungsi tertentu. Namun, tata letak produk pada saat itu tidak mempertimbangan besar jarak tempuh dan yang akan dihasilkan dalam melakukan *order-picking* karena pertimbangan perancangan tata letak produk hanya berdasarkan kemudahan dalam pencarian produk pada saat *order-picking*, mengakibatkan jarak tempuh yang dihasilkan pada saat *order-picking* tidak bernilai minimum. Pada penelitian ini akan menggunakan *Discrete Event Simulation* untuk menggambarkan sistem *order-picking* pada *warehouse* pusat PT. X, bertujuan untuk memperoleh skenario terbaik dengan *storage policy* terbaik dan dapat mereduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *material handling*. Penentuan skenario adalah berdasarkan aspek *product layout*. Terdapat 4 skenario perbaikan yang akan diuji terhadap masing-masing area, yaitu skenario berdasarkan aspek komplemen, aspek popularitas, aspek dimensi (*cube*), dan aspek COI (*Cube-per-Order Index*). Hasil penelitian menunjukkan bahwa model simulasi yang dirancang dapat digunakan untuk mereduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *material handling*. Dengan pertimbangan 4 skenario berdasarkan aspek *product layout* dan perubahan tata letak produk dalam rak penyimpanan *warehouse* pusat berdasarkan skenario terbaik yang terpilih, didapatkan reduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *material handling* sebesar 16.817% pada Area 0 dan 10.002% pada Area 1.

**Kata Kunci:** *Warehouse, Storage Policy, Discrete-Event Simulation. Order-Picking, Travel Time*





# **PRODUCT LAYOUT PLANNING FOR FINISHED GOODS WAREHOUSE USING DISCRETE SIMULATION (STUDY CASE: WAREHOUSE OF PT.X)**

Name : Enrico Adelwin Pasaribu  
NRP : 02411640000082  
Supervisor : Dody Hartanto, S.T., M.T.

## **ABSTRACT**

PT. X is a distributor company that engages as a provider of door and window security and accessories in Indonesia. In storing and managing its product layout, the storage policy implemented by PT. X is dedicated storage policy, where products are grouped based on their types. There are 2 areas with specific functions in the central warehouse of PT. X, which is Area 0 and Area 1. However, at that time, this product layout does not consider the amount of *material handling* mileage that will be produced in order-picking. This happens because the only consideration of product layout planning is based on the ease of searching for products while doing order-picking, resulting in the not-minimum material handling mileage produced when the order-picking occurs. In this study, a Discrete Event Simulation will be used to represent the order-picking system at PT. X, aiming to get the best scenario with the best storage policy and reduce order-picking travel time and material handling mileage. The considerations of the scenario are based on aspects of the product layout. There are 4 improvement scenarios that will be tested in each area (Area 0 and 1), namely scenarios based on complement aspects, popularity aspects, dimension (cube) aspects, and COI (Cube-per-Order Index) aspects. The results showed that the scenario model that was designed could be used to reduce order-picking travel time and material handling mileage. By considering 4 scenarios based on product layout aspects and product layout modification in the central warehouse storage rack, the best scenario is obtained with a reduction in order-picking travel time and material handling distance of 16,817% in Area 0, and 10.002% in Area 1.

**Keywords:** *Warehouse, Storage Policy, Discrete-Event Simulation. Order-Picking, Travel Time*



## KATA PENGANTAR

Puji syukur kepada Tuhan Yang Maha Esa karena berkat dan penyertaanNya, penulis dapat menyelesaikan laporan Tugas Akhir ini yang berjudul “Perancangan Tata Letak Produk pada Gudang Produk Jadi dengan Simulasi Diskrit (Studi Kasus: *Warehouse* PT. X)”. Laporan ini dibuat sebagai salah satu syarat kelulusan sarjana program studi S1 Departemen Teknik Industri, Institut Teknologi Sepuluh Nopember. Penulis mengucapkan terima kasih kepada:

1. Bapak Dody Hartanto S.T., M.T selaku dosen pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, ilmu, saran, dan motivasi selama pengerjaan laporan Tugas Akhir.
2. Bapak Henri selaku direktur utama PT. X yang telah memberikan kesempatan untuk melakukan penelitian di PT. X.
3. Ibu Susi selaku Manager Bidang *Purchasing* PT. X dan Bapak Harry selaku *staff* bidang *warehouse* yang telah memberikan arahan dan bimbingan selama melakukan penelitian di PT. X.
4. Ibu Niniet Indah Arvitrida, S.T. M.T., Ph. D, Ibu Nani Kurniati, S.T., M.T., Ph. D, dan Bapak Dr. Eng., Ir. Ahmad Rusdiansyah, M. Eng selaku dosen penguji seminar proposal, dan Prof. Dr. Ir. Suparno, MSIE, dan Ibu Diesta Iva Maftuhah, S.T., M.T. selaku dosen penguji sidang akhir yang telah memberikan arahan, saran, dan perbaikan dalam pengerjaan laporan Tugas Akhir.
5. Bapak Nurhadi Siswanto, S.T., M.SIE., Ph. D selaku Kepala Departemen Teknik Industri ITS.
6. Papa, Mama, Bang Ivan dan Kak Yola atas doa dan dukungan pada penulis selama proses pengerjaan laporan Tugas Akhir.
7. Tulang Rony selaku narahubung antara penulis dengan PT. X.
8. Yohana Selliabreint Br. Sembiring Meliala atas doa, saran, motivasi, dan waktu yang telah diluangkan untuk penulis.

9. Teknik Industri ITS 2016 atau Adhigana yang telah menjadi rekan, sahabat, dan keluarga selama masa perkuliahan.

Penulis menyadari bahwa laporan Tugas Akhir ini tidak luput dari kesalahan. Oleh karena itu, kritik dan saran sangat terbuka untuk penulis dan laporan Tugas Akhir ini. Besar harapan penulis agar laporan Tugas Akhir ini dapat diimplementasikan, dan dijadikan sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya.

Tangerang Selatan, Juli 2020

Enrico Adelwin Pasaribu

## DAFTAR ISI

ABSTRAK .....	i
ABSTRACT .....	iii
KATA PENGANTAR .....	v
DAFTAR ISI .....	vii
DAFTAR TABEL .....	xi
DAFTAR GAMBAR .....	xiii
BAB 1 .....	1
PENDAHULUAN .....	1
1.1    Latar Belakang .....	1
1.2    Rumusan Masalah .....	5
1.3    Tujuan Penelitian .....	6
1.4    Manfaat Penelitian .....	6
1.5    Ruang Lingkup Penelitian .....	6
1.5.1    Batasan .....	6
1.5.2    Asumsi .....	7
1.6    Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir .....	7
BAB 2 .....	9
TINJAUAN PUSTAKA .....	9
2.1 <i>Inventory</i> .....	9
2.2 <i>Warehouse Management System</i> .....	10
2.7.1.    Warehouse Storage Policy .....	12
2.7.2.    Product Layout .....	13

2.3	Simulasi .....	14
2.4	<i>Discrete-Event Simulation</i> (DES).....	15
BAB 3	.....	18
METODOLOGI PENELITIAN	.....	18
3.1.	Diagram Alir Metode Penelitian.....	18
3.2.	Penjelasan Diagram Alir.....	19
3.2.1.	Observasi Lapangan dan Studi Literatur .....	19
3.2.2.	Identifikasi Sistem .....	20
3.2.3.	Pengumpulan Data.....	21
3.2.4.	Pengolahan Data.....	22
3.2.5.	Pembuatan Model Konseptual.....	22
3.2.6.	Validasi Model Konseptual .....	22
3.2.7.	Pembuatan Model Simulasi Eksisting .....	23
3.2.8.	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi Eksisting.....	23
3.2.9.	Pengembangan Skenario Perbaikan.....	24
3.2.10.	Running Experiment .....	25
3.2.11.	Analisis dan Interpretasi Hasil .....	25
BAB 4	.....	26
PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA	.....	26
4.1.	Hasil Observasi dan Pengumpulan Data.....	26
4.4.1.	Data Kuantitas Produk yang Dikirim .....	26
4.4.2.	Layout Lantai Dasar Warehouse Pusat PT. X .....	26
4.4.3.	Alur Order-Picking .....	29
4.4.4.	Jarak.....	29

4.2.	Pengolahan Data .....	32
4.2.1.	Fitting Distribution.....	32
4.2.2.	Identifikasi Data Kuantitas Produk yang Dikirim.....	34
4.3.	Model Konseptual .....	43
4.4.	Model Simulasi Eksisting.....	44
4.4.1.	Submodel Eksisting Kuantitas Order yang Masuk .....	47
4.4.2.	Submodel Penginstruksian Material Handling .....	48
4.4.3.	Submodel Order-Picking oleh Material Handling .....	49
4.4.4.	Submodel Pengembalian Hand Trolley menuju Starting Point .....	50
4.5.	Penentuan Jumlah Replikasi.....	51
4.6.	Verifikasi dan Validasi Model Simulasi .....	55
4.6.1.	Verifikasi.....	55
4.6.2.	Validasi .....	59
4.7.	Pengembangan Skenario Perbaikan .....	64
4.7.1.	Dedicated Storage Policy; Aspek Komplemen .....	64
4.7.2.	Dedicated Storage Policy; Aspek Popularitas.....	66
4.7.3.	Dedicated Storage Policy; Aspek Dimensi (Cube) .....	68
4.7.4.	Dedicated Storage Policy; Aspek COI (Cube-per-Order Index).....	70
4.8.	<i>Running</i> dan Hasil Simulasi .....	72
BAB 5	.....	77
ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA.....		77
5.1.	Analisis <i>Order-Picking Travel Time</i> , Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Kondisi Eksisting .....	77

5.2. Analisis <i>Order-Picking Travel Time</i> dan Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Skenario Perbaikan .....	78
5.2.1. Skenario Perbaikan 1: Aspek Komplemen .....	78
5.2.2. Skenario Perbaikan 2: Aspek Popularitas .....	79
5.2.3. Skenario Perbaikan 3: Aspek Dimensi (Cube) .....	80
5.2.4. Skenario Perbaikan 4: Aspek COI (Cube-per-Order Index) .....	81
5.3. Analisis Pemilihan Skenario Terbaik .....	82
BAB 6 .....	85
KESIMPULAN DAN SARAN .....	85
6.1. Kesimpulan .....	85
6.2. Saran .....	87
LAMPIRAN .....	89
DAFTAR PUSTAKA .....	104



## DAFTAR TABEL

Tabel 1.1. Rata-rata Persentase Alokasi Waktu <i>Order-picking</i> .....	2
Tabel 3. 1 Elemen Sistem <i>Order Picking</i> .....	20
Tabel 3. 2 Variabel Sistem <i>Order Picking</i> .....	20
Tabel 3. 3 Data yang Digunakan dalam Penelitian .....	21
Tabel 3. 4 Model Eksisting dan Skenario Perbaikan untuk Lantai Dasar <i>Warehouse</i> Pusat PT. X .....	25
Tabel 4. 1 Keterangan Tata Letak Produk Eksisting pada Lantai Dasar <i>Warehouse</i> Pusat PT. X .....	28
Tabel 4. 2 Jarak Antarlokasi pada Area 0 (satuan : Meter).....	30
Tabel 4. 3 Jarak Tempuh Masing-masing Lokasi pada Area 1 (satuan : Meter) .....	31
Tabel 4. 4 Hasil <i>Fitting Distribution</i> dan Probabilitas Produk pada Area 0 .....	32
Tabel 4. 5 Hasil <i>Fitting Distribution</i> dan Probabilitas Produk pada Area 1 .....	33
Tabel 4. 6 Identifikasi berdasarkan Aspek Komplemen pada Produk Area 0 dan 1 ..	34
Tabel 4. 7 Identifikasi berdasarkan Aspek Popularitas terhadap Produk Area 0.....	36
Tabel 4. 8 Identifikasi berdasarkan Aspek Popularitas terhadap Produk Area 1 .....	36
Tabel 4. 9 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 0 .....	38
Tabel 4. 10 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 1 .....	38
Tabel 4. 11 Identifikasi berdasarkan Aspek COI terhadap Produk Area 0 .....	40
Tabel 4. 12 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 1 .....	41
Tabel 4. 13 Hasil <i>Running</i> Model Simulasi pada Area 0 dengan 5 Kali Replikasi ....	51
Tabel 4. 14 Hasil <i>Running</i> Model Simulasi pada Area 1 dengan 5 Kali Replikasi ....	53
Tabel 4. 15 Perbandingan <i>Total Order</i> pada Model Simulasi Area 0.....	60
Tabel 4. 16 Uji <i>Student's-T</i> Model Simulasi terhadap Model Eksisting (Area 0) .....	61
Tabel 4. 17 Perbandingan <i>Total Order</i> pada Model Simulasi Area 1 .....	62
Tabel 4. 18 Uji <i>Student's-T</i> Model Simulasi terhadap Model Eksisting (Area 0) .....	63
Tabel 4. 19 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Komplemen.....	64
Tabel 4. 20 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Komplemen.....	65

Tabel 4. 21 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Popularitas.....	66
Tabel 4. 22 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Popularitas.....	67
Tabel 4. 23 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Dimensi .....	68
Tabel 4. 24 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Dimensi .....	69
Tabel 4. 25 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek COI.....	70
Tabel 4. 26 Skenario Tata letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek COI .....	71
Tabel 4. 27 Perbandingan Simulasi Terhadap <i>Order-picking Travel Time</i> Area 0.....	72
Tabel 4. 28 Perbandingan Hasil Simulasi terhadap Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> Area 0 .....	74
Tabel 4. 29 Hasil Simulasi Terhadap <i>Order-picking Travel Time</i> Area 1 .....	74
Tabel 4. 30 Hasil Simulasi terhadap Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> Area 0.....	75
Tabel 6. 1 Tata Letak Produk Terbaik untuk Area 0.....	85
Tabel 6. 2 Tata Letak Produk Terbaik untuk Area 1 .....	86

## DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. 1 Alur Proses Bisnis PT. X .....	3
Gambar 3. 1 Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir.....	19
Gambar 4. 1 <i>Layout</i> Lantai Dasar <i>Warehouse</i> Pusat PT. X .....	27
Gambar 4. 2 Model Konseptual <i>Order-Picking</i> pada <i>Warehouse</i> Pusat PT. X .....	44
Gambar 4. 3 Model Simulasi <i>Order-Picking</i> Area 0 .....	45
Gambar 4. 4 Model Simulasi <i>Order-Picking</i> Area 1 .....	46
Gambar 4. 5 Submodel Kuantitas <i>Order</i> yang Masuk pada Area 0.....	47
Gambar 4. 6 Submodel Kuantitas <i>Order</i> yang Masuk pada Area 1.....	48
Gambar 4. 7 Submodel Penginstruksian <i>Material Handling</i> pada Area 0.....	49
Gambar 4. 8 Submodel Penginstruksian <i>Material Handling</i> pada Area 1.....	49
Gambar 4. 9 Submodel <i>Order-Picking</i> oleh <i>Material Handling</i> pada Area 0 .....	50
Gambar 4. 10 Submodel <i>Order-Picking</i> oleh <i>Material Handling</i> pada Area 1 .....	50
Gambar 4. 11 Submodel Pengembalian <i>Hand Trolley</i> menuju SP pada Area 0.....	51
Gambar 4. 12 Submodel Pengembalian <i>Hand Trolley</i> menuju SP pada Area 1.....	51
Gambar 4. 13 Verifikasi Model Simulasi dengan fitur <i>Check Model</i> pada ARENA .	56
Gambar 4. 14 Kondisi <i>Hand Trolley</i> Sebelum Melakukan <i>Order-Picking</i> .....	57
Gambar 4. 15 Kondisi <i>Hand Trolley</i> pada saat Memasuki <i>Inbound/Outbound Area</i> .	57
Gambar 4. 16 Kondisi <i>Hand Trolley</i> pada Saat Selesai Melakukan <i>Order-Picking</i> terhadap Seluruh <i>Order</i> .....	58
Gambar 4. 17 Kondisi Rak Pada Saat Dilalui <i>Hand-Trolley</i> .....	59
Gambar 4. 18 Kondisi Rak pada Saat Tidak Dilalui <i>Hand-Trolley</i> .....	59



# **BAB 1**

## **PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pendahuluan yang terdiri atas latar belakang, rumusan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, dan ruang lingkup penelitian.

### **1.1 Latar Belakang**

Permintaan konsumen terhadap produk semakin beragam dan terus mengalami peningkatan. Untuk dapat memenuhi permintaan tersebut, perusahaan manufaktur harus mampu menjaga ketersediaan barang. Hal tersebut dapat dipenuhi dengan adanya perencanaan produksi yang baik. Perencanaan produksi merupakan hal yang tidak dapat dipisahkan dari industri manufaktur, karena perencanaan produksi melibatkan kepuasan konsumen dan pengelolaan *supplier* (Bryant, 2017). Namun, perencanaan produksi saja tidak cukup karena perusahaan juga harus mempertimbangkan tempat yang tepat untuk menyimpan seluruh barang yang diproduksi. Dalam hal ini, dibutuhkan *warehouse*. *Warehouse* merupakan gudang atau tempat penyimpanan barang milik perusahaan, baik barang baku (*raw materials*), barang setengah jadi atau WIP (*Work in Process*), maupun barang jadi (*finished goods*). Seluruh barang ini disimpan untuk kebutuhan produksi atau penjualan. Adapun dibutuhkannya *warehouse* dalam perusahaan manufaktur bertujuan untuk meminimalisir biaya dan memaksimalkan kinerja *customer service* (Arnold, et al., 2008). Dengan perencanaan produksi dan pengelolaan *warehouse* yang baik, maka proses produksi akan berjalan lancar sehingga perusahaan akan semakin mudah untuk memenuhi permintaan konsumen.

Sebagian besar *warehouse* memiliki aktivitas pengoperasian *material handling*. *Material handling* dioperasikan untuk proses *unloading*, *storing*, *order-picking*, dan *unloading*. Proses yang menjadi sorotan adalah *order-picking*, dimana proses *order-picking* dapat memakan biaya 55% dari total biaya operasi *warehouse*

(Karasek, 2013). *Order-picking* terdiri dari *travelling* (berjalan), *searching* (mencari produk), *extracting/picking* (mengambil produk), dan *paperwork and other activities* (penulisan dokumen dan aktivitas lainnya). Adapun rata-rata alokasi waktu *order-picking* adalah sebagai berikut (Bartholdi & Hackman, 2014).

**Tabel 1.1. Rata-rata Persentase Alokasi Waktu *Order-picking***

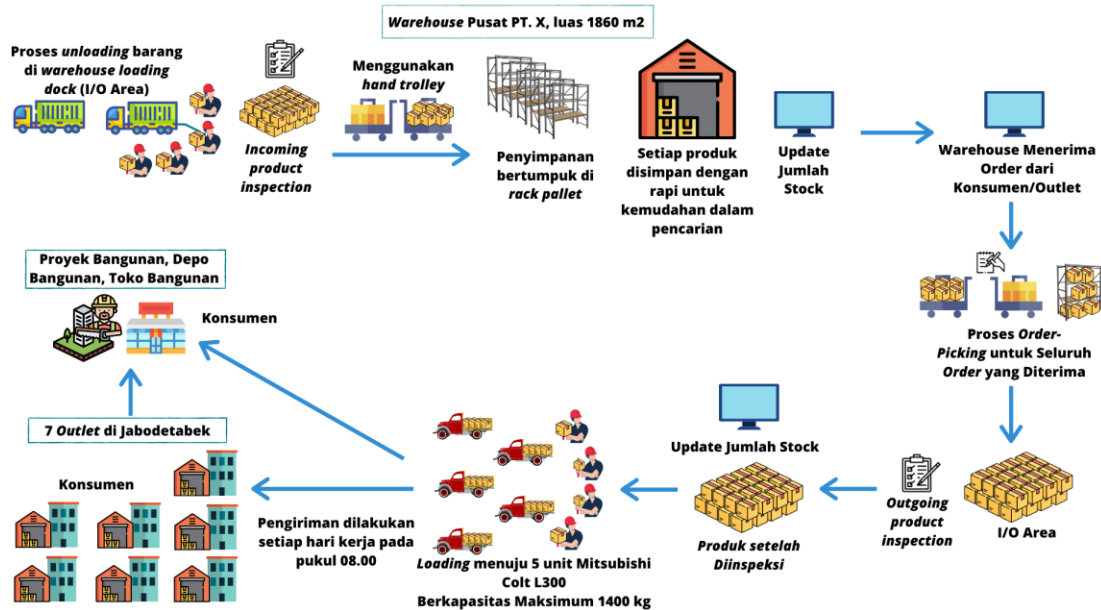
Aktivitas	% waktu <i>order-picking</i>
<i>Travelling</i>	55%
<i>Searching</i>	15%
<i>Extracting</i>	10%
<i>Paperwork and other activities</i>	20%

**Sumber :** (Bartholdi & Hackman, 2014)

Berdasarkan tabel 1.1, aktivitas *travelling* memiliki persentase waktu *order-picking* terbesar dalam proses *order-picking*, yaitu 55%. Tingginya waktu *travelling* dapat disebabkan oleh tingginya intensitas untuk mencari produk akibat tata letak produk yang tidak teratur. Hal ini mengakibatkan aktivitas *travelling* yang membutuhkan pengoperasian *material handling* dalam waktu yang lama berdampak pada tingginya jarak tempuh *material handling*, sehingga menghasilkan biaya *material handling* yang tinggi. Untuk mengatasi hal tersebut, pengurangan jarak tempuh *material handling* menjadi hal yang penting untuk dilakukan untuk menghemat waktu tempuh dan biaya *material handling*. Salah satu hal yang dapat dilakukan adalah dengan merancang desain *layout warehouse*. Desain *layout warehouse* yang dirancang dengan baik dapat mengurangi biaya *material handling* dan meningkatkan utilitas *space* yang digunakan. (Wibowo, et al., 2016).

PT. X merupakan perusahaan distributor yang bergerak sebagai penyedia produk keamanan dan aksesoris pintu dan jendela di Indonesia. Secara garis besar PT. X tidak memproduksi produknya sendiri, namun bekerjasama dengan perusahaan manufaktur (*supplier*) keamanan dan aksesoris pintu dan jendela di beberapa negara seperti Italia dan Jepang, dimana setiap *supplier* menyediakan lebih dari 1 jenis produk

untuk dikirim ke PT. X. Gambar 1.1 dibawah ini merupakan alur proses *warehouse* PT. X dari awal kedatangan produk hingga pengiriman.



Gambar 1. 1 Alur Proses Warehouse PT. X

Pada awal kedatangan produk dari *supplier*, dilakukan proses *unloading*. Seluruh produk yang datang sudah berada dalam kardus. Seluruh kardus yang datang dipindahkan dari armada ke *Inbound Area* oleh pekerja secara manual, tanpa menggunakan *material handling*. Setiap kardus yang sudah dipindahkan akan diinspeksi pada *Inbound Area*. Inspeksi ini bertujuan untuk memastikan seluruh produk yang datang merupakan produk yang tidak rusak. Produk yang tidak lulus inspeksi akan diserahkan ke divisi *Purchasing* untuk pembuatan laporan *defect* yang akan dikirimkan ke *supplier*. Produk yang lulus inspeksi akan diangkut dan disimpan di rak penyimpanan (*put-away*) menggunakan 2 unit *hand trolley* berkapasitas 200 kg. Warehouse terbagi atas 2 area, yaitu Area 0 yang hanya memiliki 1 lantai (lantai dasar) dan Area 1 yang memiliki 3 lantai.

Sistem penyimpanan tata dan letak produk yang diterapkan PT. X adalah *dedicated storage policy*, dimana setiap lokasi penyimpanan secara permanen akan dikhususkan untuk penyimpanan terhadap masing-masing produk (Bartholdi &

Hackman, 2014). Masing-masing jenis produk memiliki *slot* penyimpanan sendiri dalam rak penyimpanan, dan hanya boleh menempati *slot*-nya masing-masing. Tata letak produk dikelompokkan berdasarkan jenis produk, dengan tujuan agar produk mudah dicari pada saat melakukan *order-picking*. Rak yang digunakan adalah rak bertingkat 4 dan setiap produk disimpan secara bertumpuk. Jarak *aisle* pada setiap rak mempertimbangkan ukuran *hand trolley* yang digunakan sehingga memudahkan pengoperasian *hand trolley*. Warehouse PT. X juga menerapkan metode FIFO berdasarkan tanggal kedatangannya produk oleh *supplier*.

Setelah produk disimpan di masing-masing rak penyimpanannya, dilakukan *update* jumlah *stock*. Setiap hari, *warehouse* pusat PT. X menerima *form* PO dari konsumen dan *outlet* yang berbeda untuk permintaan pengiriman produk. *Order* yang masuk dikumpul terlebih dahulu, dan kemudian akan melakukan *order-picking* setiap pukul 16.00 untuk setiap produk yang dipesan konsumen. Metode *order-picking* yang diterapkan oleh *warehouse* pusat PT. X adalah *batch-picking* dengan menggunakan 2 unit *hand trolley* yang sama yang digunakan pada saat melakukan *put-away*. *Batch-picking* dilakukan dan akan diangkut menuju *Outbound Area* yang merupakan satu area dengan *Inbound Area*, dengan menggunakan *hand trolley*. Pada *Outbound Area*, dilakukan inspeksi terhadap seluruh produk yang akan dikirim terlebih dahulu untuk memastikan seluruh produk dalam kondisi 100% baik dan tidak ada kecacatan. Kemudian, dilakukan *loading* barang ke 5 armada Mitsubishi Colt L300 berkapasitas 1400 kg oleh pekerja secara manual, tanpa menggunakan *material handling*. Setelah proses *loading* selesai, dilakukan *update* jumlah *stock warehouse* pusat PT. X. Pengiriman produk menuju konsumen akan dilakukan esok hari pukul 8 pagi, pada saat jam kerja dimulai.

Pengelolaan *warehouse* yang baik akan menghemat waktu, aktivitas dalam *warehouse*, dan jarak tempuh dan biaya *material handling*, sehingga produktivitas akan semakin meningkat (Richards, 2011). Namun yang terjadi pada kondisi eksisting *warehouse* pusat PT. X adalah kebijakan PT. X yang ditetapkan mengenai tata letak setiap produk dalam *warehouse* pusat PT. X yang tidak mempertimbangan besar jarak



tempuh *hand trolley* yang akan dihasilkan dalam pengoperasian *hand trolley* pada saat melakukan *order-picking*. Hal ini disebabkan kebijakan yang diterapkan PT. X mengenai tata letak setiap produk PT. X adalah berdasarkan jenis produk, dengan tujuan agar memberikan kemudahan bagi *picker* dalam pencarian produk. Selain itu, tidak adanya pertimbangan aspek *product layout* dalam penentuan tata letak produk juga menjadi alasan yang mengakibatkan jarak tempuh *hand trolley* yang dihasilkan pada saat melakukan *order-picking* tidak bernilai minimum, sehingga biaya pengoperasian *hand trolley* juga tidak bernilai minimum.

Oleh karena itu, evaluasi dan analisis tata letak produk eksisting pada *warehouse* pusat PT. X menjadi sesuatu yang penting untuk dilakukan untuk mengetahui sebaik apa tata letak produk pada *warehouse* PT. X, dengan kriteria jarak tempuh *hand trolley* yang dihasilkan pada saat *order-picking*. Sehingga, dalam Tugas Akhir ini akan merancang skenario berupa skenario tata letak produk perbaikan dengan mempertimbangkan aspek *storage policy* dan *product layout* dengan kriteria jarak tempuh *material handling* pada saat *order-picking*. Skenario perbaikan ini akan dibandingkan dengan kondisi eksisting, dengan harapan skenario perbaikan menghasilkan jarak tempuh *hand trolley* yang lebih kecil dibandingkan kondisi eksisting. Skenario ini akan dibantu oleh simulasi. Penggunaan simulasi didasari oleh adanya kesalingbergantungan antarproses dan ketidakpastian mengenai variansi, kuantitas, perubahan pesanan, dan kombinasi produk yang diinginkan konsumen dalam sekali pemesanan. Pada penelitian ini akan menggunakan pendekatan *Discrete-Event Simulation* dengan menggunakan *software* ARENA. Penggunaan *Discrete-Event Simulation* didasari oleh adanya perubahan pada sistem pada titik-titik diskrit pada waktu tertentu. Dengan ini, skenario perbaikan berdasarkan aspek *product layout* dapat diuji hingga mendapatkan alternatif solusi untuk *warehouse* pusat PT. X.

## **1.2 Rumusan Masalah**

Berdasarkan latar belakang pada subbab sebelumnya, maka permasalahan yang akan diangkat dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. *Storage policy* apakah yang paling layak untuk diterapkan dalam tata letak produk pada *warehouse* pusat PT. X sehingga jarak tempuh *material handling* bernilai lebih kecil?
2. Bagaimana tata letak produk yang menghasilkan jarak tempuh *material handling* yang lebih kecil pada *warehouse* pusat PT. X?

### **1.3 Tujuan Penelitian**

Tujuan yang ingin dicapai dalam penelitian ini adalah:

1. Mengevaluasi tata letak produk eksisting pada *warehouse* pusat PT. X.
2. Menentukan *storage policy* dan tata letak produk perbaikan untuk diterapkan pada *warehouse* pusat PT. X.

### **1.4 Manfaat Penelitian**

Manfaat dari penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Mengetahui cara membandingkan dan menemukan *storage policy* dan tata letak produk perbaikan yang akan digunakan pada *warehouse* pusat PT. X.
2. Sebagai referensi untuk penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan bidang *warehouse* dan simulasi.

### **1.5 Ruang Lingkup Penelitian**

Pada subbab ini akan menjelaskan mengenai ruang lingkup penelitian yang terdiri dari batasan dan asumsi.

#### **1.5.1 Batasan**

Batasan yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah:

1. Objek amatan pada penelitian ini adalah lantai dasar *warehouse* pusat PT. X. Penentuan lantai dasar *warehouse* sebagai objek amatan disebabkan oleh aktivitas *hand trolley* yang hanya beroperasi di lantai dasar *warehouse* dan tidak beroperasi di lantai 2 dan 3.

2. Skenario tata letak produk perbaikan tidak mempertimbangkan pengaturan posisi rak penyimpanan. Hal ini disebabkan posisi setiap rak penyimpanan pada kondisi eksisting adalah *fixed* (posisi rak tidak dapat digeser ataupun dipindahkan).
3. Dalam penelitian ini tidak mempertimbangkan periode melakukan *batch-picking* sebagai skenario perbaikan untuk PT. X.

#### 1.5.2 Asumsi

Dibawah ini merupakan asumsi yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir.

1. *Hand trolley* yang digunakan tidak mengalami kerusakan saat proses *order-picking*.
2. *Hand trolley* dan *picker* selalu tersedia pada saat akan melakukan *order-picking*.
3. Penelitian ini tidak mempertimbangkan pengaruh pandemi *Covid-19* yang sedang melanda dunia pada saat penelitian ini ditulis dan dilakukan.
4. Kecepatan rata-rata *hand trolley* adalah 85 cm / detik dan bersifat konstan.

### 1.6 Sistematika Penulisan Laporan Tugas Akhir

Laporan penelitian Tugas Akhir ini terbagi atas 6 bab, yaitu:

#### **BAB 1 PENDAHULUAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai latar belakang laporan penelitian Tugas Akhir dan penjelasan rumusan masalah untuk mengetahui permasalahan yang akan diselesaikan sehingga tujuan dan manfaat penelitian dapat dicapai. Pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai ruang lingkup penelitian berupa batasan dan asumsi untuk memberikan pemahaman lebih lanjut terhadap penelitian Tugas Akhir, serta sistematika penulisan laporan Tugas Akhir yang berisi penjelasan mengenai setiap bab.

#### **BAB 2 TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai landasan teori sebagai dasar dalam pengerjaan laporan penelitian Tugas Akhir.

### **BAB 3 METODOLOGI PENELITIAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tahapan/alur pengerjaan penelitian Tugas Akhir.

### **BAB 4 PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai hasil pengumpulan dan pengolahan data sebagai *input* dalam melakukan simulasi. Kemudian akan dilakukan perancangan model simulasi eksisting dan penentuan jumlah replikasi dan proses verifikasi serta validasi untuk memastikan model dan *output* simulasi merupakan representatif kondisi *real*. Pada bab ini juga akan dijelaskan mengenai pengembangan skenario perbaikan dan hasil *running* simulasi terhadap model eksisting dan model skenario.

### **BAB 5 ANALISIS DAN INTERPRETASI HASIL**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi, serta perbandingan hasil *running* simulasi terhadap model eksisting dan model skenario. Pada bab ini akan menjelaskan pemilihan skenario terbaik berdasarkan *output* jarak tempuh *hand trolley* terkecil.

### **BAB 6 KESIMPULAN DAN SARAN**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dalam pengerjaan laporan Tugas Akhir, dan saran yang diberikan untuk perusahaan dan penelitian selanjutnya.

## **BAB 2**

### **TINJAUAN PUSTAKA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai tinjauan pustaka yang terdiri dari *inventory*, *Warehouse Management System*, simulasi, dan *Discrete Event Simulation* (DES).

#### **2.1     *Inventory***

Salah satu parameter keberhasilan dari sebuah perusahaan adalah mampu melayani konsumen dengan baik. Bagi perusahaan manufaktur, akan menjadi kesalahan fatal bila produk yang diinginkan konsumen tidak tersedia karena akan menurunkan kepuasan konsumen. Oleh karena itu, dibutuhkan *inventory* atau persediaan. *Inventory* merupakan barang baku (*raw materials*), barang setengah jadi atau *WIP* (*Work in Process*), dan barang jadi (*finished goods*) yang disimpan untuk proses produksi atau penjualan. Adapun beberapa alasan pentingnya *inventory* adalah (Muller, 2019):

1. Mengantisipasi terjadinya fluktuasi permintaan, dimana permintaan dapat naik secara tidak terduga, sehingga membutuhkan persediaan cadangan.
2. Mengantisipasi terjadinya masalah dalam *supplier*, dimana persediaan tetap tersedia jika *supplier* tengah mengalami masalah.
3. Perlindungan harga, dimana membeli persediaan pada waktu yang tepat dapat membantu menghindar dari dampak inflasi biaya
4. Berpotensi mendapatkan potongan harga, dimana pembelian barang dalam jumlah yang besar seringkali mendapatkan potongan harga/diskon
5. Biaya pemesanan lebih rendah, dimana pembelian dalam jumlah yang besar, namun jarang akan menghasilkan biaya pemesanan lebih rendah.

## 2.2 Warehouse Management System

Perusahaan yang memiliki *inventory* menyimpan persediaannya di *warehouse*. *Warehouse* berperan penting sebagai tempat penyimpanan, dimana akan memudahkan dalam pencarian barang-barang yang disimpan dan meningkatkan layanan terhadap konsumen. Dalam mengelola *warehouse* akan melibatkan beberapa proses, seperti (Bartholdi & Hackman, 2014):

### 1. *Receiving*

*Receiving* merupakan proses penerimaan produk pada *warehouse*. Pada proses ini dilakukan *unloading* untuk memindahkan produk dari armada pengiriman menuju area *warehouse*, dan dilakukan *inspection* untuk pengecekan kesesuaian produk yang datang terhadap pemesanan dan pengecekan kondisi kecacatan produk. Proses ini menghasilkan biaya sekitar 10% dari total *warehouse operation cost*.

### 2. *Put-away*

*Put-away* merupakan proses penyimpanan produk menuju area/rak penyimpanan. Rak penyimpanan harus memiliki kapasitas yang dapat menampung seluruh produk yang akan disimpan. Setelah produk disimpan, posisi rak penyimpanan harus didata untuk memudahkan proses *order-picking* nantinya. Proses ini menghasilkan biaya sekitar 15% dari total *warehouse operation cost*.

### 3. *Order-picking*

*Order-picking* merupakan proses pemindahan produk dari area/rak penyimpanan untuk pengiriman menuju konsumen. Dalam proses *order-picking* melibatkan proses *travelling* (perjalanan), *searching* (pencarian), *extracting* (pengambilan produk), dan *paperwork and other activities* (penulisan dokumen dan aktivitas lainnya).

### 4. *Checking and packing*

*Checking* merupakan proses inspeksi produk yang akan dikirim. Parameter *checking* adalah kesesuaian dengan pesanan konsumen dan kondisi kecacatan produk. Produk yang melewati tahap inspeksi akan dikemas (*packing*) dan siap untuk dikirimkan menuju konsumen.

## 5. *Shipping*

*Shipping* merupakan proses pemindahan produk menuju armada pengiriman. Proses ini disebut juga sebagai proses *loading*.

Tantangan dalam pengoperasian *warehouse* adalah kompleksitas *warehouse*. Kompleksitas ini bergantung pada jumlah barang dalam *warehouse* saat ini, jumlah barang yang datang, dan jumlah barang yang keluar. Untuk memaksimalkan produktivitas dan meminimalisir biaya, *warehouse* harus mampu memaksimalkan penggunaan *space*, produktivitas pekerja dan mempertimbangkan *storage policy* (kebijakan *warehouse*) (Arnold, et al., 2008). *Space* ini meliputi luas dan volume total *warehouse*, volume kebutuhan masing-masing produk untuk penyimpanan, dan jarak *aisle* untuk memudahkan pekerja mengoperasikan *material handling* untuk pengambilan dan penyimpanan barang. Sementara, produktivitas pekerja meliputi penyesuaian tenaga kerja dan kapasitasnya, kemudahan dalam pencarian SKU, dan proses pemindahan barang secara efisien.

Terdapat aspek-aspek penting dalam pengelolaan *warehouse*, yaitu kesesuaian ukuran *space* terhadap barang dan *material handling* yang disimpan, jarak *aisle* pada setiap rak penyimpanan, kebutuhan *space* untuk bagian lainnya, dan jarak tempuh *material handling*. Dalam penyimpanan barang pada *warehouse* juga mempertimbangkan *warehouse storage policy* dan aspek *product layout*. Dibawah ini akan dijelaskan lebih detail mengenai *warehouse storage policy* dan *product layout*.

### 2.7.1. *Warehouse Storage Policy*

Metode ini berperan dalam menentukan *layout* masing-masing barang yang disimpan dalam *warehouse*. Terdapat 3 *storage policy* atau metode dalam pengelolaan *warehouse* (Bartholdi & Hackman, 2014), yaitu:

#### 2.7.1.1. *Dedicated Storage Policy / Fixed Location*

*Dedicated storage policy* merupakan kebijakan penyimpanan barang dimana setiap lokasi penyimpanan akan dikhususkan untuk penyimpanan terhadap barang tertentu (Bartholdi & Hackman, 2014). Setiap rak atau tempat penyimpanan diberi identitas atau kode yang menunjukkan jenis produk, sehingga lokasi penyimpanan ditetapkan sebagai lokasi permanen yang hanya boleh ditempati oleh produk yang memiliki identitas atau kode tersebut. Dikarenakan setiap produk hanya boleh menempati masing-masing lokasi permanennya, maka setiap lokasi penyimpanan harus didesain untuk menampung tingkat *inventory* maksimal dari masing-masing produk, sehingga biaya kebutuhan ruangan (*space cost*) akan meningkat. Di sisi lain, kebijakan ini dapat meminimalisir *handling cost* karena setiap lokasi memiliki identitas atau kode sehingga lebih memudahkan untuk pencarian. Contoh: Pompa air bermerek X hanya boleh ditempati di tempat penyimpanan khusus pompa air bermerek X dan tidak boleh menempati tempat penyimpanan pompa air bermerek Y.

#### 2.7.1.2. *Random Storage Policy / Floating Location*

*Random storage policy* merupakan kebijakan penyimpanan barang dimana barang dapat disimpan di tempat kosong manapun yang tersedia di gudang (*random*). Setiap rak atau tempat penyimpanan tidak harus ditempati oleh barang tertentu, sehingga utilitas penyimpanan lebih tinggi dan *space cost* bernilai minimum. Namun, kebijakan ini akan meningkatkan *handling cost* dikarenakan tidak tentunya posisi setiap barang yang disimpan akibat tidak adanya identitas atau kode pada masing-masing tempat penyimpanan, sehingga membutuhkan waktu yang lebih lama untuk mengambil barang (Sooksaksun, et al., 2012). Contoh: Pompa air bermerk X boleh



menempati tempat penyimpanan kipas angin bermerk Y asalkan tempat penyimpanan kipas angin bermerk Y masih tersedia.

#### 2.7.1.3. *Class-Based Storage Policy*

*Class-based storage policy* merupakan kebijakan penyimpanan barang dimana Setiap lokasi penyimpanan akan dikhususkan untuk penyimpanan terhadap barang tertentu. Namun produk dapat disimpan di tempat kosong manapun yang tersedia di gudang asalkan lokasi penyimpanannya masih kosong/tersedia (Lamberts, 2005). Kebijakan ini merupakan kombinasi antara kebijakan *dedicated* dan *random*. Adapun pengelompokan barang dapat menggunakan metode *Activity Based Costing* (ABC) dan COI (Cube-per Order) (Lorenc, 2019). Metode yang paling mudah untuk digunakan adalah pengelompokan berdasarkan jenis produk. Contoh: Pompa air bermerk X boleh menempati pompa air bermerk Y, namun tidak boleh menempati kipas angin bermerk Y.

#### 2.7.2. *Product Layout*

Dalam merancang *layout* setiap produk pada *warehouse*, terdapat beberapa aspek yang dipertimbangkan, yaitu: (Ballou, 2007)

##### 2.7.2.1. Aspek Komplemen

Pada bagian ini mempertimbangkan pasangan barang yang bersifat komplemen akan ditempatkan berdekatan. Hal ini dikarenakan pemesanan akan melibatkan pasangan barang tersebut. Contoh: Pasta gigi dan sikat gigi, tinta dan pulpen.

##### 2.7.2.2. Aspek *Compatibility*

Pada bagian ini mempertimbangkan karakteristik barang dengan barang lainnya, sehingga terdapat suatu batasan bahwa sebuah barang tidak boleh ditempatkan berdekatan dengan barang tertentu. Contoh: Minyak dengan peralatan elektronik.

#### 2.7.2.3. Aspek Popularitas

Pada bagian ini mempertimbangkan popularitas barang, dimana popularitas menunjukkan tinggi permintaan yang diterima oleh perusahaan. Barang yang memiliki popularitas tinggi akan ditempatkan berdekatan dengan *warehouse outbound point* (titik keluar).

#### 2.7.2.4. Aspek Dimensi (*Cube*)

Pada bagian ini akan mempertimbangkan ukuran barang, dimana barang yang lebih kecil akan ditempatkan berdekatan dengan *warehouse outbound point*.

#### 2.7.2.5. *Cube per Order Index* (COI)

COI merupakan indeks yang menunjukkan rasio kebutuhan *space* terhadap jumlah permintaan suatu barang. Semakin kecil nilai COI yang dimiliki sebuah barang, maka produk akan ditempatkan berdekatan dengan *warehouse outbound point*, dan sebaliknya (Ming-Huang, et al., 2011).

### 2.3 Simulasi

Simulasi didefinisikan sebagai eksperimen dengan sebuah tiruan sistem operasi dengan menggunakan *software* atau komputer dengan tujuan untuk memberikan pemahaman dan meningkatkan sistem tersebut (Robinson, 2014). Dengan kata lain, simulasi bertujuan untuk mengukur dan mengevaluasi kinerja suatu sistem. Simulasi dilakukan ketika adanya kompleksitas dalam sebuah sistem yang tidak dapat diselesaikan oleh model matematis. Kompleksitas tersebut diketahui dengan adanya variabilitas (ketidakpastian) dan interdependensi (saling bergantung) antarvariabel.

Simulasi dapat dibagi menjadi 3 tipe, yaitu (Law, 2015):

#### 1. Simulasi statis dan simulasi dinamis

Simulasi statis merupakan simulasi yang merepresentasikan suatu sistem pada waktu tertentu dan tidak dipengaruhi oleh waktu. Simulasi dinamis merupakan simulasi yang merepresentasikan sistem yang berkembang dari waktu ke waktu.

## 2. Simulasi deterministik dan simulasi stokastik

Simulasi deterministik merupakan simulasi yang tidak mengandung komponen probabilistik sehingga simulasi ini memiliki *input* dan *output* yang tidak acak dan tidak dapat digunakan untuk sistem yang bersifat *uncertainty* (ketidakpastian). Simulasi stokastik merupakan simulasi yang mengandung komponen probabilistik, sehingga simulasi ini memiliki *input* dan *output* yang acak dan dapat digunakan untuk sistem yang bersifat *uncertainty* (ketidakpastian).

## 3. Simulasi kontinu dan simulasi diskrit

Simulasi kontinu merupakan simulasi dimana sistem dapat berubah terus menerus seiring waktu berjalan. Simulasi diskrit merupakan simulasi dimana sistem berubah pada titik-titik waktu yang diskrit (terpisah).

### 2.4 *Discrete-Event Simulation* (DES)

*Discrete-event simulation* (DES) merupakan simulasi yang memodelkan suatu sistem dimana perubahan variabel pada sistem terjadi pada titik-titik waktu yang terpisah/diskrit (Law, 2015). Titik-titik waktu ini merupakan titik dimana suatu kejadian (*event*) terjadi. *Discrete-event simulation* digunakan untuk permodelan sistem antrian. Suatu sistem direpresentasikan sebagai entitas yang mengalir dari satu proses ke proses lainnya.

Dalam simulasi, termasuk *discrete-event simulation*, sistem memiliki 4 elemen yang terdiri dari:

#### 1. Entitas

Entitas merupakan objek dinamik dalam sistem dan model simulasi. Entitas berperan sebagai “pemain” yang akan dikenai proses dan memberikan dampak pada sistem. Contoh: Pelanggan, produk, manusia

#### 2. *Resource*

*Resource* merupakan fasilitas yang digunakan untuk memproses entitas. Contoh: Mesin produksi, operator, *material handling*

### 3. Aktivitas

Aktivitas merupakan serangkaian kegiatan yang sedang dikerjakan terhadap entitas. Contoh: Proses produksi, proses penyimpanan

### 4. Kontrol

Kontrol merupakan aturan yang berlaku di sistem dan dapat memengaruhi perilaku sistem itu sendiri. Contoh: Aturan FIFO pada gudang

Selain elemen, sebuah sistem juga memiliki variabel. Variabel merupakan identitas yang melekat pada sistem secara keseluruhan. Dalam simulasi terdapat 3 jenis variabel, yaitu:

#### a. Variabel Keputusan

Variabel keputusan merupakan variabel yang nilainya dapat diubah-ubah untuk mencari *output* dari perubahan nilai tersebut. Variabel keputusan disebut juga sebagai *independent variables*.

#### b. Variabel Respons

Variabel respons merupakan variabel yang dihasilkan dari variabel keputusan. Variabel keputusan disebut juga sebagai *dependent variables*

#### c. Variabel Status

Variabel status merupakan variabel yang melekat di sistem, menunjukkan status atau keadaan sistem pada waktu tertentu.

*Discrete-event simulation* dapat dilakukan dengan menggunakan *software* simulasi. Pada penelitian tugas akhir ini akan menggunakan ARENA sebagai *software*

untuk menjalankan *discrete-event simulation*. Permodelan pada *software* ini menggunakan modul-modul *flowchart* yang berfungsi untuk memodelkan sistem dan komponen yang terdapat pada sistem. Sekumpulan modul-modul ini terbagi atas 3, yaitu *Basic Process Pannel*, *Advanced Process Pannel*, dan *Advanced Transfer Pannel*.

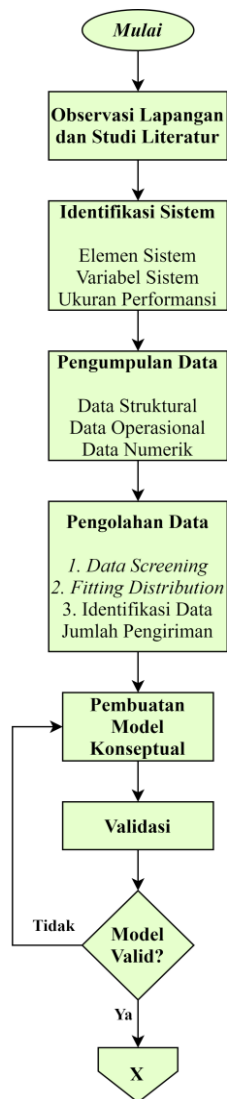
## BAB 3

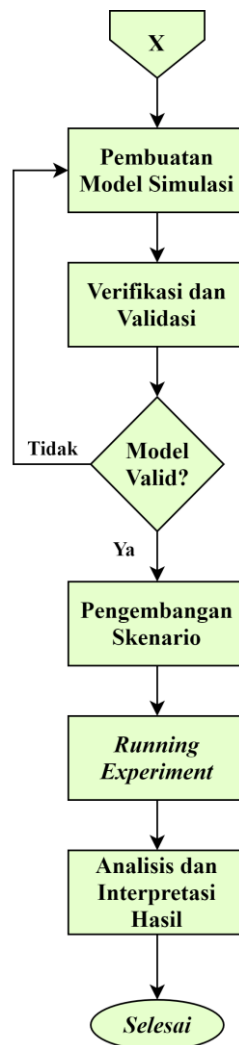
### METODOLOGI PENELITIAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai metodologi penelitian melalui tahapan-tahapn untuk mendapatkan hasil penelitian yang telah dirumuskan.

#### 3.1. Diagram Alir Metode Penelitian

Dibawah ini merupakan diagram alir metode penelitian dalam pengerjaan Tugas Akhir ini.





**Gambar 3. 1** Diagram Alir Pengerjaan Tugas Akhir

### 3.2. Penjelasan Diagram Alir

Pada subbab ini akan menjelaskan diagram alir pada subbab 3.1, dengan penjelasan sebagai berikut.

#### 3.2.1. Observasi Lapangan dan Studi Literatur

Pada tahap ini dilakukan observasi lapangan dan studi literatur. Observasi lapangan dilakukan dengan pengamatan langsung dan wawancara dengan pihak

perusahaan PT. X. Sementara studi literatur dilakukan dengan pencarian literatur melalui buku, jurnal, dan Tugas Akhir mengenai konsep *warehousing* dan metode simulasi yang telah dibuat sebelumnya.

### 3.2.2. Identifikasi Sistem

Pada tahap ini akan dilakukan identifikasi terhadap sistem yang diamati, yaitu *order picking* di *warehouse* pusat PT. X. Identifikasi sistem meliputi identifikasi elemen, variabel, dan ukuran performansi.

#### 3.2.2.1. Elemen Sistem

Elemen dari sebuah sistem terdiri atas entitas, *resources*, atribut, dan kontrol. Tabel 3.1 dibawah ini merupakan 4 elemen dari sistem *order picking* di *warehouse* pusat PT. X.

**Tabel 3. 1 Elemen Sistem Order Picking**

Elemen Sistem	Keterangan
Entitas	Seluruh produk pada rantai dasar <i>warehouse</i> pusat PT. X
<i>Resources</i>	<i>Hand trolley</i> , rak penyimpanan
Aktivitas	<i>Order-picking</i>
Kontrol	<i>Order-picking</i> secara FIFO ( <i>First-In-First-Out</i> ) Metode <i>order-picking</i> : <i>Batch picking</i>

#### 3.2.2.2. Variabel Sistem

Variabel dari sebuah sistem terdiri dari variabel keputusan, variabel respons, dan variabel status. Tabel 3.2 dibawah ini merupakan 3 variabel dari sistem *order picking* di *warehouse* pusat PT. X.

**Tabel 3. 2 Variabel Sistem Order Picking**

Variabel Sistem	Keterangan
Variabel Keputusan	Tata letak setiap produk
Variabel Respon	<i>Order-picking travel time</i> , jarak tempuh <i>hand trolley</i>



Variabel Status	Kondisi <i>hand trolley</i>
-----------------	-----------------------------

### 3.2.2.3. Ukuran Performansi (*Performance Measure*)

Ukuran performansi merupakan ukuran kuantitatif untuk mengukur performansi dalam mencapai tujuan permasalahan. Ukuran performansi yang akan digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini adalah jarak tempuh *hand trolley*. Dibandingkan *order-picking travel time*, jarak tempuh *hand trolley* lebih merepresentasikan performansi skenario perbaikan. Hal ini disebabkan *order-picking travel time* dipengaruhi oleh *material handling* yang digunakan. Dengan rute *order-picking* yang sama namun menggunakan *material handling* yang berbeda, maka akan menghasilkan *order-picking travel time* yang berbeda, sementara jarak tempuh *material handling* akan bernilai sama.

### 3.2.3. Pengumpulan Data

Pengumpulan data dari penelitian Tugas Akhir ini terdiri dari data struktural, data operasional, dan data numerik (Harrel, et al., 2004). Data struktural merupakan data yang berkaitan dengan objek dalam sistem. Data operasional merupakan data yang menjelaskan bagaimana sistem akan berjalan. Data numerik merupakan data kuantitatif pada sistem. Tabel 3.3 dibawah ini merupakan data yang akan digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini.

**Tabel 3. 3 Data yang Digunakan dalam Penelitian**

Jenis Data	Keterangan
Data Struktural	Entitas : Seluruh produk keamanan dan aksesoris pintu dan jendela PT. X
	<i>Resources</i> : <i>Hand trolley</i> , rak penyimpanan
	Lokasi : Lantai Dasar <i>Warehouse</i> Pusat PT. X
Data Operasional	<i>Order-picking policy</i> saat ini, <i>layout warehouse</i> saat ini, dan <i>storage policy</i> saat ini

Data Numerik	Kecepatan rata-rata <i>hand trolley</i> , kapasitas <i>hand trolley</i> , jumlah dan kapasitas rak penyimpanan, <i>demand</i> historis periode Januari – Desember 2019
--------------	--

#### 3.2.4. *Pengolahan Data*

Pengolahan data akan dilakukan setelah seluruh data yang dibutuhkan telah diperoleh. Pengolahan data terbagi atas 3, yaitu *data screening*, *fitting distribution*, dan identifikasi data kuantitas produk yang dikirim. *Data screening* merupakan penyortiran data-data yang tidak diperlukan dan bersifat *outlier* dalam penelitian, untuk memastikan bahwa data merepresentasikan sistem dalam keadaan normal. Data *outlier* dapat dideteksi dengan batas bawah dan batas atas. Data *outlier* merupakan data yang tidak berada di batas bawah dan batas atas data. *Fitting distribution* merupakan proses yang dilakukan untuk mengetahui persebaran distribusi dari data yang digunakan. Pertimbangan dalam pemilihan distribusi didasarkan pada nilai *Square Error*  $< 0.05$ . Identifikasi data kuantitas produk yang dikirim merupakan proses pengolahan data *order* berdasarkan aspek *product layout*.

#### 3.2.5. *Pembuatan Model Konseptual*

Pembuatan model konseptual dilakukan untuk menggambarkan proses secara berurutan. Model konseptual dibuat dengan menggunakan diagram alir, menggambarkan alur *order picking* eksisting pada rantai dasar *warehouse* pusat PT. X.

#### 3.2.6. *Validasi Model Konseptual*

Berdasarkan model konseptual yang telah dibuat, akan dilakukan validasi. Validasi merupakan proses pengecekan apakah model konseptual sudah merupakan representatif dari kondisi nyata. Validasi model konseptual dilakukan dengan cara konsultasi kepada pihak perusahaan PT. X.

### 3.2.7. Pembuatan Model Simulasi Eksisting

Model simulasi eksisting akan dibuat berdasarkan model konseptual yang telah dibuat. Model simulasi yang akan dibuat adalah model simulasi *order-picking travel time*. Pembuatan model simulasi eksisting akan menggunakan *software* ARENA 14 dan data-data yang telah diolah di-*input* kedalam *software* ARENA 14. Setelah model simulasi eksisting selesai dibuat, dilakukan penentuan jumlah replikasi. Replikasi merupakan sebuah mekanisme dimana simulasi perlu dijalankan beberapa kali dengan tujuan untuk mengatasi hasil *random* akibat variabilitas sistem, sehingga *output* yang dihasilkan akan lebih merepresentasikan kondisi sistem eksisting.

### 3.2.8. Verifikasi dan Validasi Model Simulasi Eksisting

Berdasarkan model simulasi eksisting yang telah dibuat, akan dilakukan verifikasi. Verifikasi merupakan proses pengecekan apakah model yang telah dirancang sudah dapat dijalankan dan merepresentasikan model konseptual, dengan mengecek apakah terdapat *error* pada logika operasional model. *Error* terbagi atas 2, yaitu *syntax error* dan *semantic error*. *Syntax error* merupakan kesalahan dalam memasukkan nilai, notasi, atau penamaan modul. *Semantic error* merupakan kesalahan dalam logika alur model simulasi.

Validasi merupakan proses pengecekan apakah model simulasi sudah merupakan representatif dari kondisi nyata. Metode validasi yang digunakan adalah uji *student's-t*. Uji *student's-t* dilakukan untuk membandingkan apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara rata-rata *output* model simulasi dengan kondisi nyata. Hipotesis nol ( $H_0$ ) yang digunakan adalah rata-rata *output* sistem eksisting (1) sama dengan rata-rata *output* model simulasi (2), sementara hipotesis alternatif ( $H_a$ ) yang digunakan adalah rata-rata *output* sistem eksisting (1) tidak sama dengan rata-rata *output* model simulasi (2) dengan membandingkan nilai *t-test* dengan *t-critical*. Nilai *t-test* yang berada di interval *t-critical* atas dan bawah berarti terima  $H_0$  (tidak ada perbedaan yang signifikan antara rata-rata *output* sistem eksisting dan model simulasi; model simulasi sudah valid), sementara nilai *t-test* yang berada diluar interval *t-critical*

atas dan bawah berarti tolak  $H_0$  (terjadi perbedaan yang signifikan antara rata-rata *output* sistem eksisting dan model simulasi; model simulasi tidak valid)

### 3.2.9. Pengembangan Skenario Perbaikan

Perancangan skenario bertujuan untuk menghasilkan skenario yang akan dibandingkan terhadap kondisi eksisting. Perbandingan ini dilakukan untuk mendapatkan skenario terbaik yang dapat diterapkan. Perancangan skenario berupa skenario tata letak produk pada setiap rak penyimpanan dengan mempertimbangkan aspek *storage policy* dan *product layout*. Pada subbab 1.1 telah dijelaskan bahwa dalam penentuan skenario akan melibatkan 3 *warehouse storage policy*, yaitu *dedicated storage policy*, *random storage policy*, dan *class-based storage policy*. Namun, *random storage policy* tidak akan dipertimbangkan sebagai opsi skenario perbaikan. Hal ini disebabkan tidak adanya lokasi penyimpanan yang tetap terhadap setiap produk, sehingga memunculkan potensi terjadinya kesulitan *picker* dalam pencarian produk, sehingga opsi ini tidak efisien untuk diterapkan, mengingat banyaknya jenis produk yang dimiliki PT. X.

Selain itu, *class-based storage policy* juga tidak akan dipertimbangkan sebagai opsi skenario perbaikan. Berdasarkan hasil wawancara dengan salah satu karyawan *warehouse* PT. X, tidak ada tercatat kasus *overstock* sepanjang tahun 2019. Hal ini disebabkan kapasitas setiap rak penyimpanan yang sangat besar dan selalu tersedia pada saat *replenishing*. Kebijakan PT. X mengenai kuantitas pengadaan setiap produk juga memperkirakan kemampuan rak penyimpanan untuk menyimpan masing-masing produk. Hal ini mengakibatkan tidak ada masalah kapasitas untuk setiap rak penyimpanan, sehingga pertimbangan *class-based storage policy* sebagai skenario perbaikan dianggap kurang bermanfaat untuk diterapkan. Oleh karena itu, *storage policy* yang akan dipertimbangkan sebagai skenario perbaikan adalah *dedicated storage policy*, dengan membentuk kombinasi dengan masing-masing aspek *product layout* sebagai berikut.

**Tabel 3. 4 Model Eksisting dan Skenario Perbaikan untuk Lantai Dasar Warehouse Pusat PT. X**

No	Model Eksisting
1.	<i>Dedicated storage policy</i> ; pengelompokan berdasarkan jenis produk
No	Skenario Perbaikan ( <i>Warehouse Storage Policy</i> ; <i>Product Layout</i> )
1	<i>Dedicated storage policy</i> ; aspek komplemen
2	<i>Dedicated storage policy</i> ; aspek popularitas
3	<i>Dedicated storage policy</i> ; aspek dimensi ( <i>cube</i> )
4.	<i>Dedicated storage policy</i> ; aspek COI ( <i>Cube-per-Order Index</i> )

#### 3.2.10. *Running Experiment*

*Running experiment* dilakukan berdasarkan model simulasi eksisting dan skenario yang telah dibuat sebelumnya. *Running experiment* akan menghasilkan *output* berupa *order-picking travel time* untuk setiap skenario. *Order-picking travel time* kemudian di-convert ke jarak tempuh *hand trolley* dengan mengalikan *order-picking travel time* dengan kecepatan *hand trolley*.

#### 3.2.11. *Analisis dan Interpretasi Hasil*

Berdasarkan hasil *running experiment* terhadap model simulasi eksisting dan skenario perbaikan, dilakukan analisis dan interpretasi hasil. Tahap ini dilakukan dengan membandingkan jarak tempuh *hand trolley* pada model eksisting terhadap skenario perbaikan. Perbandingan tersebut akan menghasilkan opsi skenario dengan jarak tempuh *hand trolley* yang paling kecil dibandingkan skenario lainnya.

## **BAB 4**

### **PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai pengumpulan dan pengolahan data dalam penelitian Tugas Akhir ini, terdiri dari pengumpulan data, pengolahan data, pembuatan model konseptual, pembuatan model simulasi, penentuan jumlah replikasi, verifikasi dan validasi model simulasi, pengembangan skenario perbaikan, dan *running* dan hasil simulasi.

#### **4.1. Hasil Observasi dan Pengumpulan Data**

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai hasil observasi berupa data-data yang digunakan dalam penelitian Tugas Akhir ini. Data-data yang digunakan meliputi data kuantitas produk yang dikirim, *layout* lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, dan alur *order-picking*.

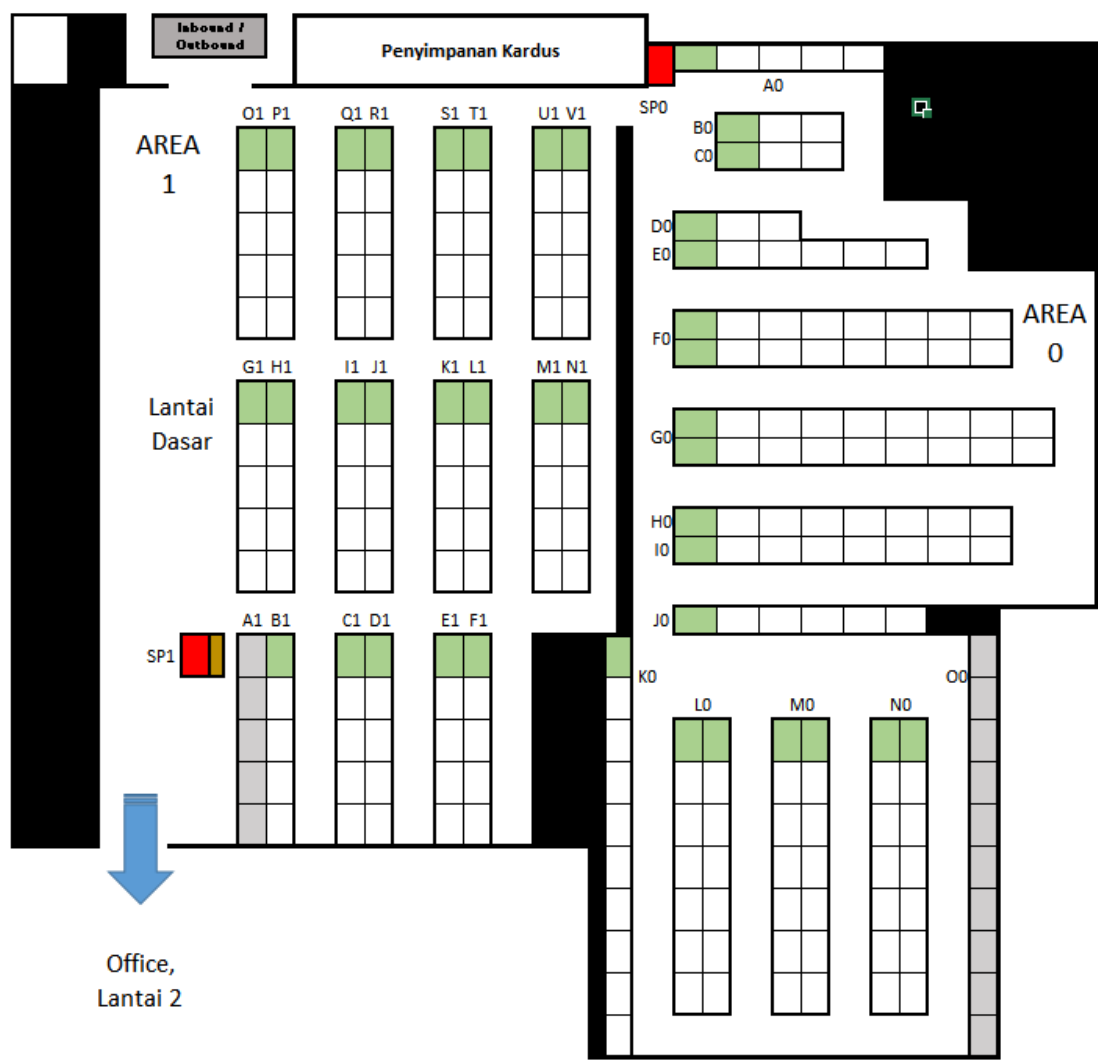
##### *4.4.1. Data Kuantitas Produk yang Dikirim*

Data kuantitas produk yang dikirim merupakan informasi pengiriman produk dari *warehouse* pusat PT. X menuju konsumen. Informasi pengiriman produk berupa jenis dan jumlah produk yang dikirim. Data kuantitas produk yang dikirim yang akan digunakan merupakan data selama 1 tahun, yaitu bulan Januari 2019 hingga Desember 2019 (sebelum adanya kasus *Covid-19* pertama kali), dan akan digunakan untuk *fitting distribution* terhadap setiap produk *warehouse* pusat PT. X.

##### *4.4.2. Layout Lantai Dasar Warehouse Pusat PT. X*

Pada lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, terdapat 2 area penyimpanan produk, yaitu Area 0 yang dikhususkan untuk penyimpanan aksesoris *pull handle door* bermerk A) dan Area 1 yang dikhususkan untuk penyimpanan aksesoris *non-pull handle door* dan jendela. Kedua area memiliki kapasitas yang berbeda, dimana Area 0 memiliki 14 rak penyimpanan dan Area 1 memiliki 21 rak penyimpanan. Kebijakan

penyimpanan yang digunakan dalam *warehouse* pusat PT. X adalah *dedicated storage policy* dimana masing-masing produk akan disimpan berdasarkan jenisnya (kelas) dalam rak penyimpanan yang sudah ditetapkan dan masing-masing produk hanya boleh menempati rak penyimpanannya. Pada subbab ini akan ditampilkan *layout* lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, seperti pada gambar 4.1 berikut.



Gambar 4. 1 *Layout* Lantai Dasar *Warehouse* Pusat PT. X

Dibawah ini merupakan tabel keterangan tata letak produk eksisting dan masing-masing rak penyimpanan pada lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, serta massa

masing-masing produk. (Keterangan: Contoh kode produk P-16PD04-A501: P menyatakan jenis produk, 16PD04 menyatakan kode produksi produk, A menyatakan merk produk, 501 menyatakan varian produk).

**Tabel 4. 1 Keterangan Tata Letak Produk Eksisting pada Lantai Dasar Warehouse Pusat PT. X**

Kode Rak	Kode Produk	Massa (kg)	Kode Rak	Kode Produk Produk	Massa (kg)
A0	P-16PD04-A501	0.5	A1	Barang Tak Terpakai	
B0	H-16PD04-A201	0.3	B1	L-19WD04-C603	0.5
C0	H-16PD04-A202	0.3	C1	L-19WD04-A601	0.5
D0	C-16PD04-A302	0.3	D1	L-19WD04-B601	0.5
E0	C-16PD04-A301	0.3	E1	L-19WD04-C601	0.5
F0	PH-16PD04-A401	1.2	F1	L-19WD04-C602	0.5
G0	PH-16PD04-A402	1.2	G1	G-19WD04-B501	0.5
H0	PH-16PD04-A403	1.2	H1	C-19WD04-B701	0.3
I0	PH-16PD04-A404	1.2	I1	C-19WD04-B702	0.3
J0	L-16PD04-A101	0.5	J1	C-19WD04-A701	0.3
K0	PS-16PD04-A3001	2	K1	C-19WD04-A702	0.3
L0	PS-16PD04-A3002	2	L1	C-19WD04-C701	0.3
M0	PS-16PD04-A3003	2	M1	C-19WD04-C702	0.3
N0	PS-16PD04-A3004	2	N1	E-19WD04-B901	0.3
O0	Produk Reject		O1	SDS-30SS04-J3101	6
			P1	SC-19SD04-J1001	0.6
Kode	Keterangan		Q1	SC-19SD04-J1002	0.6
	Lokasi <i>Picking</i> tiap Rak		R1	SC-19SD04-J1003	0.6
SP0	<i>Starting Point material handling</i> untuk Area 0		S1	WS-30SS04-B3201	1.5
			T1	H-19WD04-A801	0.3
SP1	<i>Starting Point material handling</i> untuk Area 1		U1	H-19WD04-A802	0.3
			V1	H-19WD04-B801	0.3



#### 4.4.3. Alur Order-Picking

Proses *order-picking* pada PT. X diawali oleh Bergeraknya *picker* bersama dengan *material handling* masing-masing area dari tempat penyimpanan *material handling* (*starting point*) menuju rak penyimpanan terdekat, berdasarkan *order* yang diterima. *Material handling* yang digunakan adalah *hand trolley* berkapasitas maksimum 200 kg. Namun berdasarkan data kuantitas produk yang dikirim pada periode Januari 2019 – Desember 2019, terdapat hari dimana PT. X tidak menerima *order* produk tertentu, sehingga pada hari itu tidak ada *order-picking* untuk produk tersebut. Hal ini mengakibatkan setiap harinya, *hand trolley* tidak mengunjungi seluruh rak sehingga setiap hari tidak ada alur *order-picking* yang tetap. Namun demikian, terdapat kebijakan perusahaan yaitu yaitu *picker* dan *hand trolley* wajib melakukan *order-picking* dimulai dari rak penyimpanan terjauh dari *Inbound/Outbound*. Hal ini bertujuan agar pada saat *hand trolley* sudah mencapai kapasitas maksimum, jarak antara *picker* dan *hand trolley* berisi produk akan lebih dekat dengan *Inbound/Outbound*, sehingga jarak tempuh dan tenaga yang dikeluarkan akan lebih kecil. Kebijakan tersebut juga akan diterapkan pada skenario perbaikan.

Jika *hand trolley* sudah mencapai kapasitas maksimum, *picker* akan bergerak menuju *inbound/outbound* untuk menurunkan produk-produk yang diangkut. *Inbound/Outbound* Area berperan sebagai area penerimaan, inspeksi, dan pengiriman. Produk yang sudah diturunkan akan diinspeksi oleh petugas lainnya, dan akan di-*loading* ke armada pengiriman setelah melakukan inspeksi. *Picker* beserta *hand-truck* akan kembali melakukan *order-picking* untuk *order* yang belum diambil, dan seterusnya hingga seluruh *order* untuk hari tersebut telah diangkut. Lantai dasar *warehouse* pusat PT. X memiliki 2 area dan masing-masing area memiliki 1 unit *hand trolley* yang beroperasi khusus di areanya masing-masing.

#### 4.4.4. Jarak

Pada subbab ini akan dijelaskan besar jarak antarlokasi. Lokasi yang dimaksud berupa lokasi *starting point material handling*, rak penyimpanan, dan

*Inbound/Outbound Area*. Jarak antarlokasi ini digunakan sebagai jarak tempuh *material handling* menuju lokasi tertentu dalam aktivitas *order-picking*. Tabel 4.2 dibawah ini merupakan jarak antarlokasi pada Area 0, dalam satuan meter.

**Tabel 4. 2 Jarak Antarlokasi pada Area 0 (satuan : Meter)**

	SP0	A0	B0	C0	D0	E0	F0	G0	H0	I0	J0	K0	L0	M0	N0	I/O
SP0																
A0	1															
B0	3.2	2.8														
C0	5	4.4	4													
D0	5.4	4.8	4.4	2.8												
E0	7	8.8	8.4	6.8	4											
F0	8.6	10.4	10	8.4	5.6	1.6										
G0	11.8	13.6	13.2	11.6	8.8	7.2	5.6									
H0	15	16.8	16.4	14.8	12	10.4	7.2	5.6								
I0	16.6	18.4	18	16.4	13.6	12	10.4	7.2	4							
J0	18.2	20	19.6	18	15.2	13.6	12	8.8	5.6	1.6						
K0	20.7	22.5	22.1	20.5	17.7	16.1	14.5	11.3	8.1	6.5	4.9					
L0	21.5	23.3	22.9	21.3	18.5	16.9	15.3	12.1	8.9	7.3	5.7	4				
M0	24.7	30.5	27.7	26.1	23.3	21.7	18.5	15.3	12.1	10.5	8.9	7.2	5.6			
N0	27.9	33.7	30.9	29.3	26.5	24.9	21.7	18.5	15.3	13.7	12.1	10.4	8.8	5.6		
I/O	15.9	18.2	19.8	21.4	21.3	22.9	24.5	27.7	30.9	32.5	34.1	36.6	37.4	40.6	44.6	

Tabel 4.3 dibawah ini merupakan jarak antarlokasi pada Area 1, dalam satuan meter.

**Tabel 4. 3 Jarak Tempuh Masing-masing Lokasi pada Area 1 (satuan : Meter)**

	SP1	B1	C1	D1	E1	F1	G1	H1	I1	J1	K1	L1	M1	N1	O1	P1	Q1	R1	S1	T1	U1	V1	I/O
SP1																							
B1	5																						
C1	6.6	1.6																					
D1	7.8	4.8	3.2																				
E1	9.4	6.4	4.8	1.6																			
F1	10.6	7.6	6	4.8	3.2																		
G1	8.4	7.8	9.4	10.6	12.2	13.4																	
H1	9.6	6.6	8.2	9.4	11	12.2	3.2																
I1	11.2	8.2	6.6	7.8	9.4	10.6	4.8	1.6															
J1	12.4	9.4	7.8	6.6	8.2	9.4	6	4.8	3.2														
K1	14	11	9.4	8.2	6.6	7.8	7.6	6.4	4.8	1.6													
L1	15.2	12.2	10.6	9.4	7.8	6.6	8.8	7.6	6	4.8	3.2												
M1	16.8	13.8	12.2	11	9.4	8.2	10.4	9.2	7.6	6.4	4.8	1.6											
N1	18	15	13.4	12.2	10.6	9.4	11.6	10.4	8.8	7.6	6	4.8	3.2										
O1	15	14.4	16	17.2	18.8	20	6.6	7.8	9.4	10.6	12.2	13.4	15	16.2									
P1	16.2	13.2	14.8	16	17.6	18.8	7.8	6.6	8.2	9.4	11	12.2	13.8	15	3.2								
Q1	17.8	14.8	13.2	14.4	16	17.2	9.4	8.2	6.6	7.8	9.4	10.6	12.2	13.4	4.8	1.6							
R1	19	16	14.4	13.2	14.8	16	10.6	9.4	7.8	6.6	8.2	9.4	11	12.2	6	4.8	3.2						
S1	20.6	17.6	16	14.8	13.2	14.4	12.2	11	9.4	8.2	6.6	7.8	9.4	10.6	7.6	6.4	4.8	1.6					
T1	21.8	18.8	17.2	16	14.4	13.2	13.4	12.2	10.6	9.4	7.8	6.6	8.2	9.4	8.8	7.6	6	4.8	3.2				
U1	23.4	20.4	18.8	17.6	16	14.8	15	13.8	12.2	11	9.4	8.2	6.6	7.8	10.4	9.2	7.6	6.4	4.8	1.6			
V1	24.6	21.6	20	18.8	17.2	16	16.2	15	13.4	12.2	10.6	9.4	7.8	6.6	11.6	10.4	8.8	7.6	6	4.8	3.2		
I/O	0	21.9	23.5	24.7	26.3	27.5	14.1	15.3	16.9	18.1	19.7	20.9	22.5	23.7	7.5	8.7	10.3	11.5	13.1	14.3	15.9	17.1	

## 4.2. Pengolahan Data

Pada bagian ini akan dijelaskan mengenai pengolahan data berdasarkan data-data yang telah dikumpulkan untuk penelitian Tugas Akhir ini. Pengolahan data pada subbab ini meliputi *fitting distribution* dan identifikasi data kuantitas produk yang dikirim.

### 4.2.1. *Fitting Distribution*

Pada subbab ini akan menampilkan hasil *fitting distribution* terhadap data kuantitas produk yang dikirim pada seluruh produk pada lantai dasar *warehouse* pusat PT. X dengan menggunakan fitur *Input Analyzer* pada *software ARENA*. Pertimbangan dalam pemilihan distribusi didasarkan pada nilai *Square Error*  $< 0.05$ . Hasil *distribution* untuk setiap produk akan digunakan sebagai *input* dalam merancang model simulasi dan perbaikan. Tabel 4.4 dibawah ini merupakan hasil *fitting distribution* terhadap kuantitas produk yang dikirim yang terletak pada Area 0 lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, beserta probabilitas terjadinya pemesanan produk Area 0 dalam periode kerja Januari 2019 – Desember 2019. Bersama dengan *distribution*, probabilitas untuk setiap produk juga akan digunakan sebagai *input* dalam merancang model simulasi eksisting dan perbaikan.

**Tabel 4. 4 Hasil *Fitting Distribution* dan Probabilitas Produk pada Area 0**

Kode Rak	Kode Produk	Probabilitas	<i>Distribution</i>
A0	P-16PD04-A501	0.421687	TRIA(80.5, 88, 115)
B0	H-16PD04-A201	0.594378	NORM(156, 6.45)
C0	H-16PD04-A202	0.606426	139 + 37 * BETA(4.62, 4.3)
D0	C-16PD04-A302	0.670683	157 + 33 * BETA(1.42, 2.18)
E0	C-16PD04-A301	0.702811	145 + 37 * BETA(4.86, 4.51)
F0	PH-16PD04-A401	0.48996	NORM(154, 7.44)
G0	PH-16PD04-A402	0.481928	TRIA(142, 150, 174)
H0	PH-16PD04-A403	0.502008	NORM(152, 4.23)

Kode Rak	Kode Produk	Probabilitas	<i>Distribution</i>
I0	PH-16PD04-A404	0.48996	NORM(150, 5.87)
J0	L-16PD04-A101	0.626506	NORM(152, 6.33)
K0	PS-16PD04-A3001	0.200803	27.5 + 28 * BETA(1.7, 4.12)
L0	PS-16PD04-A3002	0.184739	NORM(34.4, 4.02)
M0	PS-16PD04-A3003	0.212851	NORM(32.6, 2.78)
N0	PS-16PD04-A3004	0.180723	TRIA(27.5, 33, 38.5)

Tabel 4.5 dibawah ini merupakan hasil *fitting distribution* terhadap kuantitas produk yang dikirim yang terletak pada Area 0 lantai dasar *warehouse* pusat PT. X, beserta probabilitas terjadinya pemesanan produk Area 0 dalam periode Januari 2019 – Desember 2019.

**Tabel 4. 5 Hasil *Fitting Distribution* dan Probabilitas Produk pada Area 1**

Kode Rak	Kode Produk	Probabilitas	<i>Distribution</i>
B1	L-19WD04-C603	0.775100402	135 + 29 * BETA(3.34, 3.3)
C1	L-19WD04-A601	0.823293173	NORM(155, 7.32)
D1	L-19WD04-B601	0.746987952	NORM(135, 7.33)
E1	L-19WD04-C601	0.78313253	TRIA(133, 155, 170)
F1	L-19WD04-C602	0.751004016	135 + 27 * BETA(2.2, 3.15)
G1	G-19WD04-B501	0.389558233	83.5 + 23 * BETA(1.03, 1.58)
H1	C-19WD04-B701	0.75502008	126 + 40 * BETA(2.78, 2.67)
I1	C-19WD04-B702	0.726907631	NORM(145, 7.15)
J1	C-19WD04-A701	0.859437751	NORM(176, 7.94)
K1	C-19WD04-A702	0.847389558	TRIA(156, 175, 197)
L1	C-19WD04-C701	0.791164659	NORM(163, 7.93)
M1	C-19WD04-C702	0.763052209	NORM(156, 7.25)
N1	E-19WD04-B901	0.855421687	TRIA(145, 158, 178)

Kode Rak	Kode Produk	Probabilitas	<i>Distribution</i>
O1	SDS-30SS04-J3101	0.092369478	$23.5 + 10 * \text{BETA}(1.42, 1.3)$
P1	SC-19SD04-J1001	0.136546185	$47.5 + 17 * \text{BETA}(0.991, 1.28)$
Q1	SC-19SD04-J1002	0.13253012	$49.5 + 11 * \text{BETA}(0.838, 0.621)$
R1	SC-19SD04-J1003	0.124497992	TRIA(43.5, 61, 70.5)
S1	WS-30SS04-B3201	0.212851406	TRIA(27.5, 32.7, 45.5)
T1	H-19WD04-A801	0.807228916	$126 + 43 * \text{BETA}(4.18, 6.36)$
U1	H-19WD04-A802	0.795180723	TRIA(134, 143, 169)
V1	H-19WD04-B801	0.730923695	NORM(143, 9.59)

#### 4.2.2. Identifikasi Data Kuantitas Produk yang Dikirim

Pada subbab ini akan mengidentifikasi *order* konsumen dalam periode Januari 2019 – Desember 2019 atau 249 hari kerja. Identifikasi *order* konsumen dilakukan berdasarkan aspek *product layout*, yaitu aspek komplemen, popularitas, dimensi (*cube*), dan COI (*Cube-per-Order Index*). Identifikasi berdasarkan *compatibility* tidak dilakukan karena tidak ada karakteristik tertentu yang membuat masing-masing produk tidak boleh disimpan berdekatan.

##### 4.2.2.1. Komplemen

Berdasarkan jenis produk yang disimpan dalam lantai dasar *warehouse*, beberapa produk yang berkomplemen atau saling melengkapi adalah produk berjenis L, H, dan C; PH dan PS; dan SC dan SDS. Tabel 4.6 dibawah ini merupakan rekapitulasi produk komplemen pada lantai dasar *warehouse* pusat PT. X. Warna menunjukkan aspek komplemen antarproduk.

**Tabel 4. 6 Identifikasi berdasarkan Aspek Komplemen pada Produk Area 0 dan 1**

Kode Rak	Kode Produk	Kode Rak	Kode Produk Produk
A0	P-16PD04-A501	A1	Barang Tak Terpakai
B0	H-16PD04-A201	B1	L-19WD04-C603

C0	H-16PD04-A202	C1	L-19WD04-A601
D0	C-16PD04-A302	D1	L-19WD04-B601
E0	C-16PD04-A301	E1	L-19WD04-C601
F0	PH-16PD04-A401	F1	L-19WD04-C602
G0	PH-16PD04-A402	G1	G-19WD04-B501
H0	PH-16PD04-A403	H1	C-19WD04-B701
I0	PH-16PD04-A404	I1	C-19WD04-B702
J0	L-16PD04-A101	J1	C-19WD04-A701
K0	PS-16PD04-A3001	K1	C-19WD04-A702
L0	PS-16PD04-A3002	L1	C-19WD04-C701
M0	PS-16PD04-A3003	M1	C-19WD04-C702
N0	PS-16PD04-A3004	N1	E-19WD04-B901
O0	Produk Reject	O1	SDS-30SS04-J3101
		P1	SC-19SD04-J1001
		Q1	SC-19SD04-J1002
		R1	SC-19SD04-J1003
		S1	WS-30SS04-B3201
		T1	H-19WD04-A801
		U1	H-19WD04-A802
		V1	H-19WD04-B801

#### 4.2.2.2. Popularitas

Identifikasi aspek popularitas yaitu identifikasi berdasarkan jumlah rata-rata kuantitas *order* yang keluar dari *warehouse* dalam 249 hari kerja, periode Januari 2019 – Desember 2019. Tabel 4.7 dibawah ini merupakan rekapitulasi produk pada Area 0 berdasarkan aspek popularitas.

**Tabel 4. 7 Identifikasi berdasarkan Aspek Popularitas terhadap Produk Area 0**

Kode Rak	Kode Produk	<i>Total Order</i> (unit)	Frekuensi Penerimaan Order	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
A0	P-16PD04-A501	9894	105	94.22857
B0	H-16PD04-A201	23035	148	155.6419
C0	H-16PD04-A202	23807	151	157.6623
D0	C-16PD04-A302	28254	167	169.1856
E0	C-16PD04-A301	28643	175	163.6743
F0	PH-16PD04-A401	18753	122	153.7131
G0	PH-16PD04-A402	18612	120	155.1
H0	PH-16PD04-A403	19046	125	152.368
I0	PH-16PD04-A404	18279	122	149.8279
J0	L-16PD04-A101	23788	156	152.4872
K0	PS-16PD04-A3001	1785	50	35.7
L0	PS-16PD04-A3002	1582	46	34.3913
M0	PS-16PD04-A3003	1729	53	32.62264
N0	PS-16PD04-A3004	1497	45	33.26667

Tabel 4.8 dibawah ini merupakan rekapitulasi produk pada Area 1 berdasarkan aspek popularitas, dari yang tertinggi hingga terendah.

**Tabel 4. 8 Identifikasi berdasarkan Aspek Popularitas terhadap Produk Area 1**

Kode Rak	Kode Produk	Total Order (unit)	Frekuensi Penerimaan Order	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
B1	L-19WD04-C603	28777	193	149.1036
C1	L-19WD04-A601	31678	205	154.5268
D1	L-19WD04-B601	25095	186	134.9194



Kode Rak	Kode Produk	Total Order (unit)	Frekuensi Penerimaan Order	Rata-rata Kuantitas Order (unit)
E1	L-19WD04-C601	29821	195	152.9282
F1	L-19WD04-C602	27228	187	145.6043
G1	G-19WD04-B501	8977	97	92.54639
H1	C-19WD04-B701	27433	188	145.9202
I1	C-19WD04-B702	26229	181	144.9116
J1	C-19WD04-A701	37650	214	175.9346
K1	C-19WD04-A702	37030	211	175.4976
L1	C-19WD04-C701	32163	197	163.264
M1	C-19WD04-C702	29580	190	155.6842
N1	E-19WD04-B901	34067	213	159.939
O1	SDS-30SS04-J3101	664	23	28.86957
P1	SC-19SD04-J1001	1890	34	55.58824
Q1	SC-19SD04-J1002	1867	33	56.57576
R1	SC-19SD04-J1003	1765	31	56.93548
S1	WS-30SS04-B3201	1867	53	35.22642
T1	H-19WD04-A801	28636	201	142.4677
U1	H-19WD04-A802	29144	198	147.1919
V1	H-19WD04-B801	26069	182	143.2363

#### 4.2.2.3. Dimensi (*cube*)

Identifikasi dimensi yaitu identifikasi berdasarkan ukuran atau *volume* produk dalam *warehouse*. Tabel 4.9 dibawah ini merupakan rekapitulasi produk pada Area 0 berdasarkan aspek dimensi.

**Tabel 4. 9 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 0**

Kode Rak	Kode Produk	Volume (cm <sup>3</sup> )
A0	P-16PD04-A501	72.675
B0	H-16PD04-A201	519.93
C0	H-16PD04-A202	519.93
D0	C-16PD04-A302	45.5
E0	C-16PD04-A301	45.5
F0	PH-16PD04-A401	2052
G0	PH-16PD04-A402	2052
H0	PH-16PD04-A403	1293.6
I0	PH-16PD04-A404	1293.6
J0	L-16PD04-A101	917.56
K0	PS-16PD04-A3001	4230
L0	PS-16PD04-A3002	4230
M0	PS-16PD04-A3003	5922
N0	PS-16PD04-A3004	5922

Tabel 4.10 dibawah ini merupakan rekapitulasi produk pada Area 1 berdasarkan aspek dimensi.

**Tabel 4. 10 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 1**

Kode Rak	Kode Produk	Volume (cm <sup>3</sup> )
B1	L-19WD04-C603	528
C1	L-19WD04-A601	537.5
D1	L-19WD04-B601	453.6
E1	L-19WD04-C601	442.98
F1	L-19WD04-C602	442.98

Kode Rak	Kode Produk	Volume (cm <sup>3</sup> )
G1	G-19WD04-B501	72.675
H1	C-19WD04-B701	37.62
I1	C-19WD04-B702	37.62
J1	C-19WD04-A701	37.62
K1	C-19WD04-A702	37.62
L1	C-19WD04-C701	31.416
M1	C-19WD04-C702	31.416
N1	E-19WD04-B901	50
O1	SDS-30SS04-J3101	2332
P1	SC-19SD04-J1001	357.5
Q1	SC-19SD04-J1002	353.4
R1	SC-19SD04-J1003	341
S1	WS-30SS04-B3201	663.642
T1	H-19WD04-A801	383.8
U1	H-19WD04-A802	383.8
V1	H-19WD04-B801	399

#### 4.2.2.4. COI (*Cube-per-Order Index*)

Identifikasi COI yaitu identifikasi berdasarkan rasio kebutuhan *space* terhadap jumlah permintaan suatu produk pada *warehouse* pusat PT. X. Tabel 4.11 dibawah ini merupakan rekapitulasi perhitungan COI untuk setiap produk dalam Area 0 dengan menggunakan data kuantitas produk yang dikirim pada Januari 2019 – Desember 2019.

**Tabel 4. 11 Identifikasi berdasarkan Aspek COI terhadap Produk Area 0**

Kode Rak	Kode Produk	1	2	3	4	5 = 3 / 4	6 = 1 x 3	7 = 6 / 5
		Ukuran Produk (cm <sup>3</sup> )	<i>Total Order</i>	Max Inventory (unit)	Jumlah Pengiriman Order (hari)	Rata-rata Order ( <i>Rounddown</i> )	<i>Required Storage Space</i> (cm <sup>3</sup> )	COI
A0	P-16PD04-A501	72.675	9894	1218	105	94	88518.15	941.6824468
B0	H-16PD04-A201	519.93	23035	2910	148	155	1512996.3	9761.266452
C0	H-16PD04-A202	519.93	23807	2715	151	157	1411609.95	8991.146178
D0	C-16PD04-A302	45.5	28254	3668	167	169	166894	987.5384615
E0	C-16PD04-A301	45.5	28643	3424	175	163	155792	955.7791411
F0	PH-16PD04-A401	2052	18753	2503	122	153	5136156	33569.64706
G0	PH-16PD04-A402	2052	18612	2339	120	155	4799628	30965.34194
H0	PH-16PD04-A403	1293.6	19046	2281	125	152	2950701.6	19412.51053
I0	PH-16PD04-A404	1293.6	18279	2201	122	149	2847213.6	19108.81611
J0	L-16PD04-A101	917.56	23788	2819	156	152	2586601.64	17017.11605
K0	PS-16PD04-A3001	4230	1785	229	50	35	968670	27676.28571
L0	PS-16PD04-A3002	4230	1582	206	46	34	871380	25628.82353
M0	PS-16PD04-A3003	5922	1729	224	53	32	1326528	41454
N0	PS-16PD04-A3004	5922	1497	206	45	33	1219932	36967.63636

Tabel 4.12 dibawah ini merupakan rekapitulasi perhitungan COI untuk setiap produk dalam Area 1 dengan menggunakan data kuantitas produk yang dikirim pada Januari 2019 – Desember 2019.

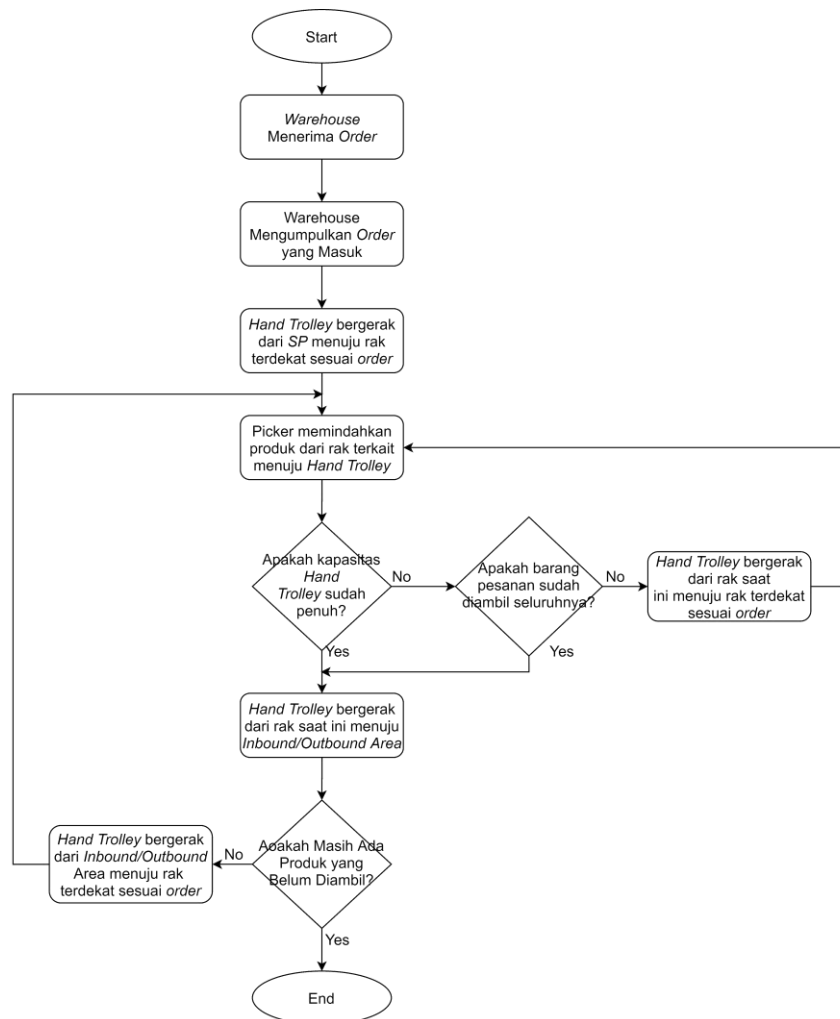
**Tabel 4. 12 Identifikasi berdasarkan Aspek Dimensi terhadap Produk Area 1**

Kode Rak	Kode Produk	1	2	3	4	5 = 3 / 4	6 = 1 x 3	7 = 6 / 5
		Ukuran Produk (cm <sup>3</sup> )	<i>Total Order</i>	Rata-rata <i>Inventory</i> (unit)	Jumlah Pengiriman <i>Order</i> (hari)	Rata-rata <i>Order</i> (Rounddown)	<i>Required Storage Space</i> (cm <sup>3</sup> )	COI
B1	L-19WD04-C603	528	28777	3497	193	149	1846416	12392.05369
C1	L-19WD04-A601	537.5	31678	3863	205	154	2076362.5	13482.87338
D1	L-19WD04-B601	453.6	25095	3057	186	134	1386655.2	10348.17313
E1	L-19WD04-C601	442.98	29821	3603	195	152	1596056.94	10500.37461
F1	L-19WD04-C602	442.98	27228	3425	187	145	1517206.5	10463.4931
G1	G-19WD04-B501	72.675	8977	1122	97	92	81541.35	886.3190217
H1	C-19WD04-B701	37.62	27433	3429	188	145	128998.98	889.6481379
I1	C-19WD04-B702	37.62	26229	3191	181	144	120045.42	833.64875
J1	C-19WD04-A701	37.62	37650	4569	214	175	171885.78	982.2044571
K1	C-19WD04-A702	37.62	37030	4461	211	175	167822.82	958.9875429
L1	C-19WD04-C701	31.416	32163	4035	197	163	126763.56	777.6905521
M1	C-19WD04-C702	31.416	29580	3699	190	155	116207.784	749.7276387

Kode Rak	Kode Produk	1	2	3	4	5 = 3 / 4	6 = 1 x 3	7 = 6 / 5
		Ukuran Produk (cm <sup>3</sup> )	<i>Total Order</i>	Rata-rata <i>Inventory</i> (unit)	Jumlah Pengiriman <i>Order</i> (hari)	Rata-rata <i>Order</i> (Rounddown)	<i>Required Storage Space</i> (cm <sup>3</sup> )	COI
N1	E-19WD04-B901	50	34067	4392	213	159	219600	1381.132075
O1	SDS-30SS04-J3103	2332	664	75	23	28	174900	6246.428571
P1	SC-19SD04-J1001	357.5	1890	246	34	55	87945	1599
Q1	SC-19SD04-J1002	353.4	1867	222	33	56	78454.8	1400.978571
R1	SC-19SD04-J1003	341	1765	238	31	56	81158	1449.25
S1	WS-30SS04-B3201	663.642	1867	258	53	35	171219.636	4891.9896
T1	H-19WD04-A801	383.8	28636	3581	201	142	1374387.8	9678.787324
U1	H-19WD04-A802	383.8	29144	3543	198	147	1359803.4	9250.363265
V1	H-19WD04-B801	399	26069	3133	182	143	1250067	8741.727273

#### 4.3. Model Konseptual

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai alur pengambilan produk atau *order-picking* pada rantai dasar *warehouse* pusat PT. X. Proses dimulai dengan adanya *order* yang masuk dan diterima oleh *warehouse*. *Order* datang dari konsumen yang berbeda dan tidak datang secara bersamaan, sehingga *warehouse* akan mengumpulkan seluruh *order* yang masuk terlebih dahulu. *Order-picking* akan dimulai setelah memasuki jam *order-picking*. *Order-picking* dimulai dengan bergerakinya *hand trolley* berkapasitas 200 kg dari *Starting Point* (SP) menuju rak penyimpanan terdekat dan mengangkat produk sesuai *order*. Jika *hand trolley* masih memiliki kapasitas untuk mengangkat produk lainnya, maka *picker* akan mengoperasikan *hand trolley* untuk bergerak menuju rak penyimpanan terdekat lainnya, berdasarkan *order* yang diterima. Jika kapasitas *hand trolley* sudah maksimal, maka *hand trolley* akan bergerak menuju *Inbound/Outbound Area* untuk penurunan produk agar produk dapat diinspeksi dan di-*loading* menuju armada pengiriman. *Hand trolley* akan kembali ke rak penyimpanan terdekat berdasarkan *order* yang diterima, jika masih ada *order* yang belum diambil. Proses ini dilakukan secara berulang hingga seluruh *order* sudah diambil seluruhnya. Gambar 4.1 dibawah ini akan menampilkan penjelasan lebih detail melalui model konseptual *order-picking* pada rantai dasar *warehouse* pusat PT. X.

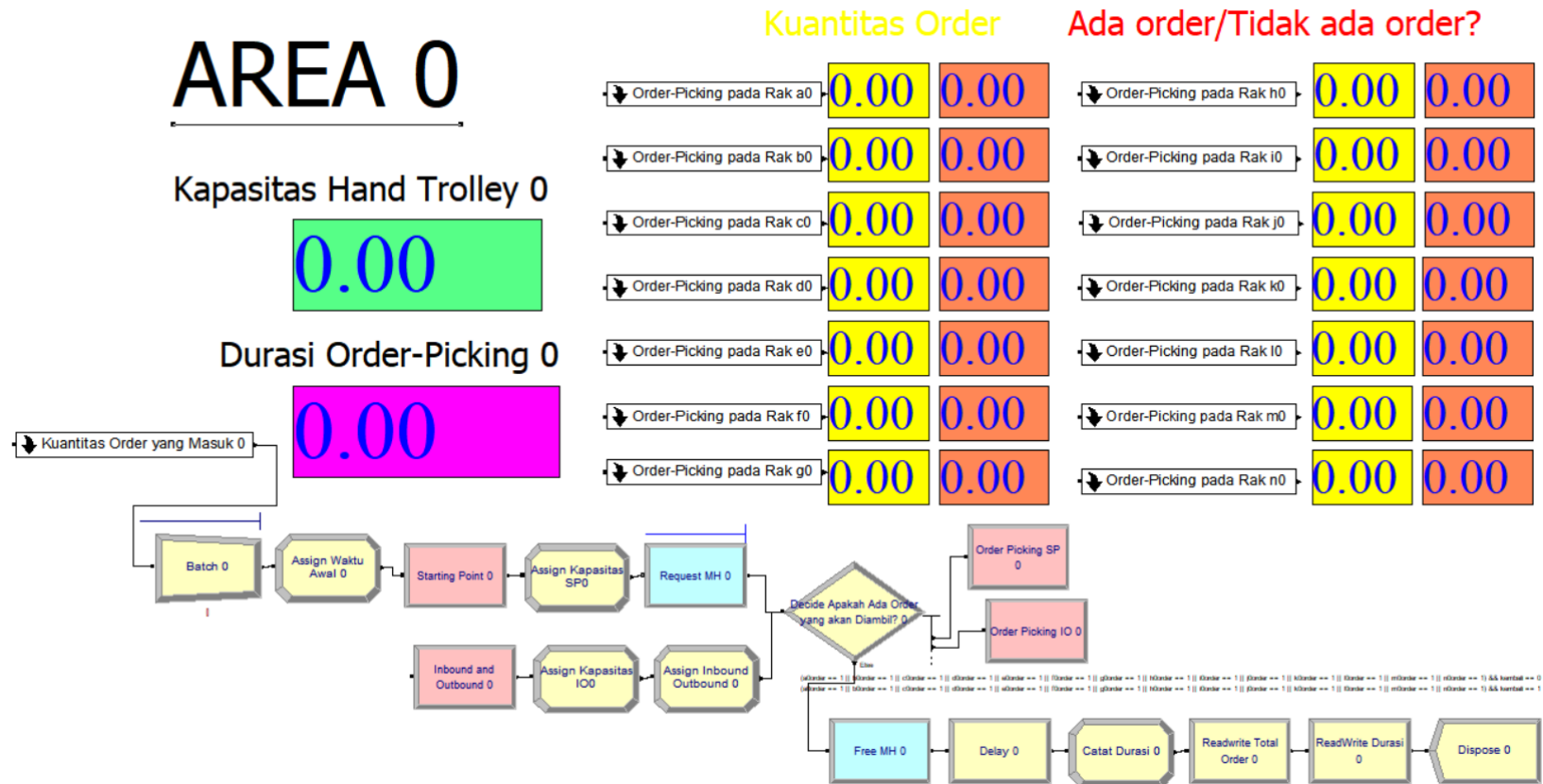


**Gambar 4. 2 Model Konseptual *Order-Picking* pada Warehouse Pusat PT. X**

#### **4.4. Model Simulasi Eksisting**

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pembuatan model simulasi eksisting dengan menggunakan *software* ARENA 14 berdasarkan model konseptual pada subbab sebelumnya. Model simulasi yang akan dibuat adalah model simulasi *order-picking travel time* eksisting pada rantai dasar *warehouse* pusat PT. X, pada Area 0 dan 1.





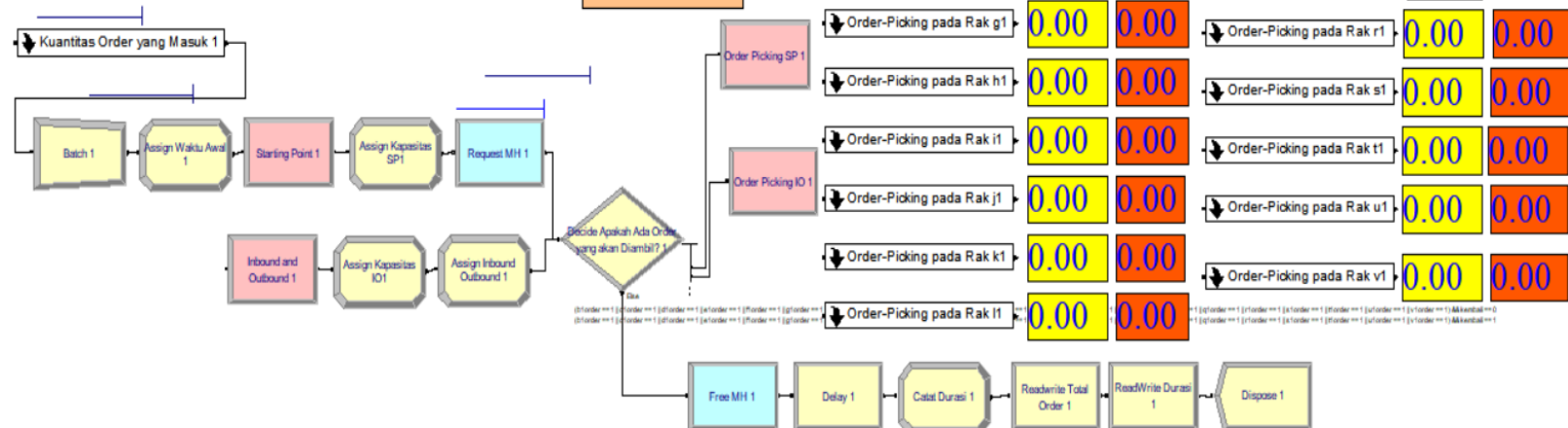
Gambar 4. 3 Model Simulasi *Order-Picking* Area 0

# AREA 1

Jam 00:00:00

Kapasitas Hand Trolley 1 0.00

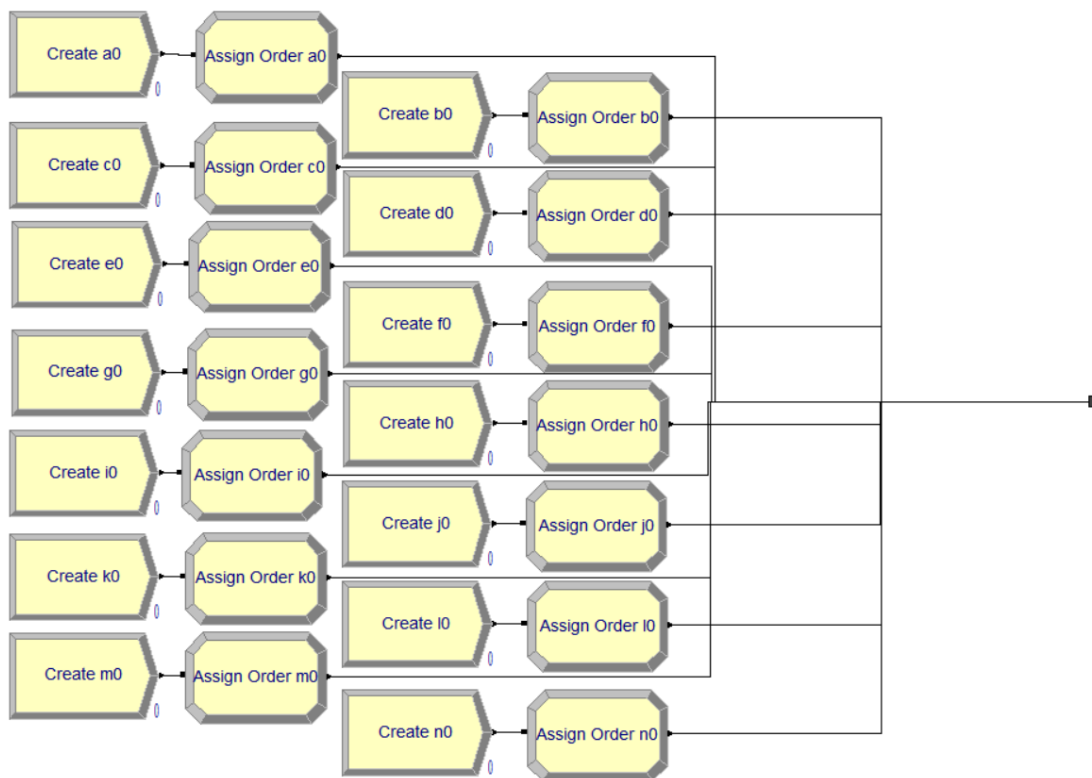
Durasi Order-Picking 1 0.00



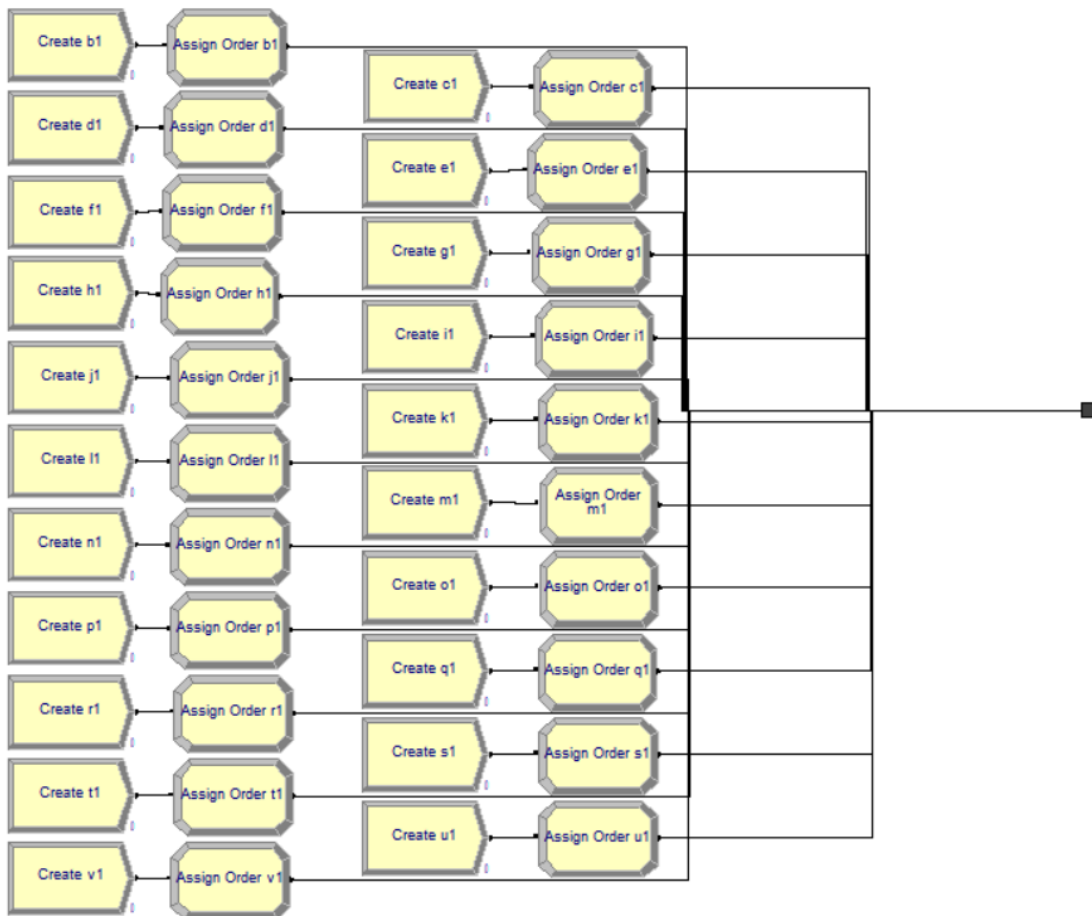
Gambar 4. 4 Model Simulasi Order-Picking Area 1

#### 4.4.1. Submodel Eksisting Kuantitas Order yang Masuk

Dibawah ini merupakan submodel eksisting mengenai kuantitas *order* yang diterima *warehouse* pusat PT. X, yang terbagi atas 2 model, yaitu model kuantitas order pada Area 0 dan 1. Model ini didasari oleh persebaran distribusi *order* terhadap seluruh produk di Area 0 dan 1 yang sebelumnya dilakukan pada subbab 4.2.1. Pada Area 0 terdapat 14 produk beserta masing-masing raknya dan terdapat 21 produk beserta masing-masing raknya pada Area 1. Data yang diinput adalah data distribusi untuk setiap produk dan probabilitas terjadinya pemesanan produk.



Gambar 4. 5 Submodel Kuantitas *Order* yang Masuk pada Area 0

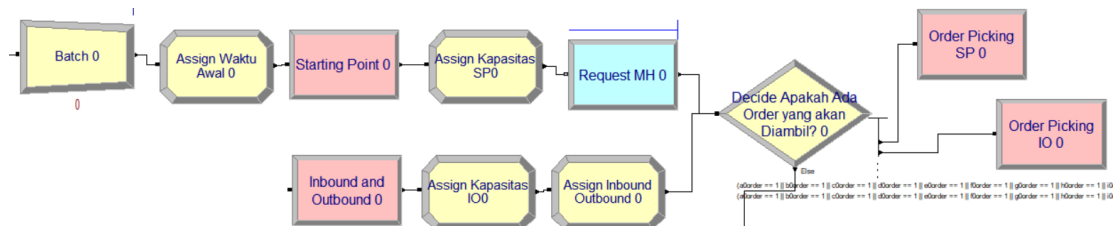


**Gambar 4. 6 Submodel Kuantitas Order yang Masuk pada Area 1**

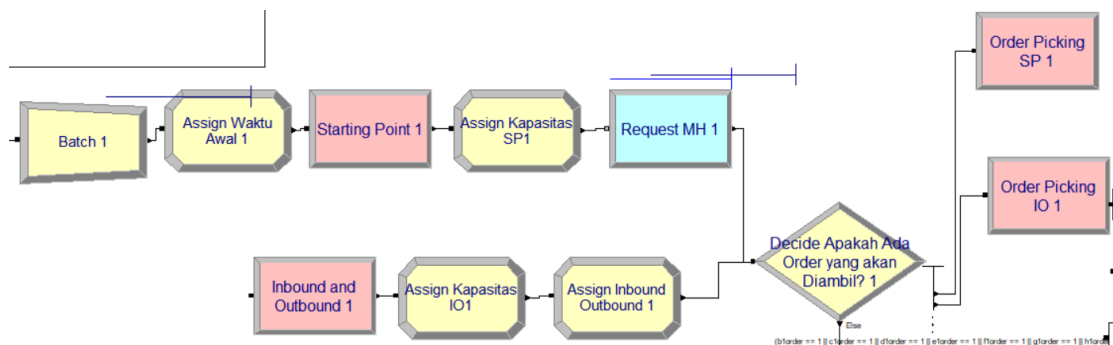
#### 4.4.2. Submodel Penginstruksian Material Handling

Dibawah ini merupakan submodel eksisting mengenai penginstruksian *material handling* berupa *hand trolley* sebelum melakukan *order-picking*. Masing-masing area memiliki 1 unit *hand trolley* berkapasitas 200 kg. Masing-masing *hand trolley* memiliki *starting point* sebagai lokasi penyimpanan *hand trolley* dan akan bergerak pada saat seluruh order dalam 1 hari telah diterima oleh *warehouse*. Terdapat 2 kondisi dalam penginstruksian *hand trolley*, yaitu kondisi *hand trolley* berada di *starting point* (kondisi 1) dan kondisi *hand trolley* berada di *Inbound/Outbound Area* (kondisi 2). Kondisi 1 terjadi ketika *hand trolley* belum dan akan melakukan *order-picking*. Kondisi 2 terjadi ketika *hand trolley* sudah melakukan *order-picking* sesuai

kapasitasnya. Masing-masing *hand trolley* akan terus melakukan *order-picking* sampai seluruh *order* telah diangkut menuju *Inbound/Outbound Area*.



**Gambar 4. 7 Submodel Penginstruksian *Material Handling* pada Area 0**

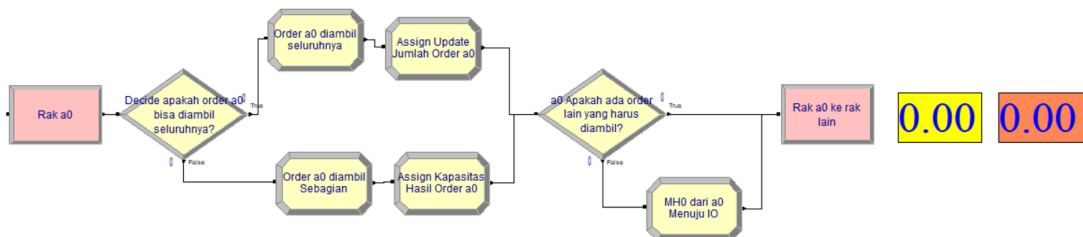


**Gambar 4. 8 Submodel Penginstruksian *Material Handling* pada Area 1**

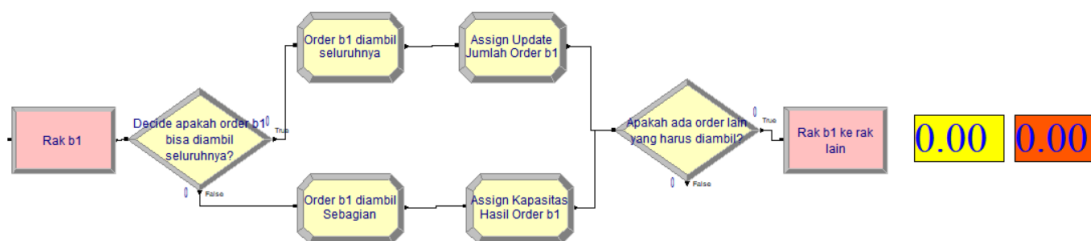
#### 4.4.3. Submodel Order-Picking oleh *Material Handling*

Dibawah ini merupakan submodel eksisting mengenai *order-picking* pada Area 0 dan 1 oleh masing-masing *hand trolley*, pada rak A0 dan B1. Model simulasi untuk setiap rak adalah sama. Berdasarkan *order* produk yang akan diambil, *hand trolley* akan bergerak menuju rak penyimpanan terdekat dari posisi awalnya. *Hand trolley* akan bergerak menuju rak penyimpanan terdekat lainnya jika kapasitas *hand trolley* masih tersedia untuk digunakan. Jika *hand trolley* sudah mencapai batas kapasitasnya, *hand trolley* akan bergerak menuju *Inbound/Outbound Area* untuk menurunkan produk-produk yang diangkut. *Variable box* berwarna *orange* menunjukkan kuantitas *order* yang akan keluar dari *warehouse*, sementara *variable*

*box* berwarna kuning menunjukkan apakah terdapat *order* pada rak penyimpanan tersebut (bernilai 1 jika terdapat *order*, bernilai 0 jika tidak ada *order*).



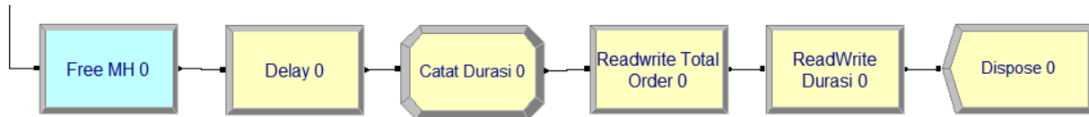
**Gambar 4. 9 Submodel Order-Picking oleh Material Handling pada Area 0**



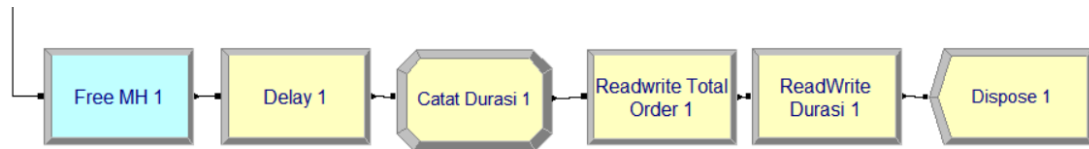
**Gambar 4. 10 Submodel Order-Picking oleh Material Handling pada Area 1**

#### 4.4.4. Submodel Pengembalian Hand Trolley menuju Starting Point

Dibawah ini merupakan submodel eksisting mengenai pengoperasian *hand trolley* menuju *Starting Point*. Hal ini terjadi setelah seluruh *order* telah diangkut oleh *hand trolley* (*order-picking* telah selesai). Jika tidak ada *order* lagi yang akan diambil, *hand trolley* akan kembali ke masing-masing *Starting Point* yang merupakan lokasi penyimpanan *hand trolley*. Kemudian, dilakukan pencatatan durasi (*order-picking travel time*) dan total *order* dalam 1 hari dengan menggunakan modul *ReadWrite*. Durasi yang dimaksud merupakan durasi masing-masing *hand trolley* bergerak dari *Starting Point* dan melakukan *order-picking*, hingga kembali ke *Starting Point* masing-masing.



**Gambar 4. 11 Submodel Pengembalian *Hand Trolley* menuju SP pada Area 0**



**Gambar 4. 12 Submodel Pengembalian *Hand Trolley* menuju SP pada Area 1**

#### 4.5. Penentuan Jumlah Replikasi

Pada subbab ini akan dilakukan penentuan jumlah replikasi dengan tujuan agar *output* yang dihasilkan model simulasi akan lebih merepresentasikan kondisi sistem yang sebenarnya. Tabel 4.13 dibawah ini merupakan rekapitulasi hasil *running* model simulasi pada Area 0 selama sepanjang tahun 2019 (249 hari kerja) dengan jumlah replikasi sebanyak 5 kali.

**Tabel 4. 13 Hasil *Running* Model Simulasi pada Area 0 dengan 5 Kali Replikasi**

Hari Kerja	Total Order pada Area 0				
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5
1	1232	733	968	944	740
2	504	473	605	1099	933
3	981	852	567	761	1090
4	688	983	1054	940	1278
5	802	588	896	977	707
6	669	756	1003	974	654
7	1117	627	1245	927	650
8	997	970	1093	1054	773
9	757	584	611	422	672
10	790	1158	572	823	513

...	...	...	...	...	...
241	1274	480	1097	1139	778
242	1084	965	685	815	969
243	715	892	639	825	1075
244	935	725	943	784	854
245	951	1094	1052	882	562
246	1266	1083	1208	771	728
247	706	568	494	921	1265
248	622	570	576	1262	1052
249	841	611	1125	1214	895
<i>Total Order</i>	219537	218299	224052	214724	216390
Rata-rata	218600.4				
Standar Deviasi	3556.696				

Setelah diperoleh rata-rata dan standar deviasi untuk *total order* pada Area 0 dengan 5 replikasi, dilakukan perhitungan HW (*half width*) untuk menentukan nilai *error* terhadap *total order* pada Area 0. Adapun rumus dari *half width* adalah sebagai berikut.

$$hw = \frac{(t_{n-1, \alpha/2})s}{\sqrt{n}} \quad (4.1)$$

Keterangan :

$(t_{n-1, \alpha/2})$  : Nilai pada tabel *Student's-T* dengan *significance level* ( $\alpha$ ) dan *degree of freedom* (n-1)

S : Standar Deviasi

N : Jumlah Data

Kemudian, dilakukan penentuan jumlah replikasi yang dibutuhkan berdasarkan nilai *error* yang diinginkan. Penentuan jumlah replikasi membutuhkan



*relative error*. Dengan menggunakan *relative error*, rumus untuk menentukan jumlah replikasi adalah sebagai berikut.

$$n_0' = \left[ \frac{(z_{\alpha/2})^2 s^2}{\left(\frac{\beta}{1+\beta}\right) \bar{X}} \right]^2 \quad (4.2)$$

Keterangan :

$(z_{\alpha/2})$  : Nilai pada tabel Z dengan *significance level* ( $\alpha$ )

$\beta$  : *Relative error* (%); Nilai *relative error* ditetapkan bernilai 3%

Untuk model simulasi yang telah dibuat, perhitungan *half width* untuk Area 0 adalah sebagai berikut.

$$hw_0 = \frac{(t_{n-1, \alpha/2}) \sqrt{\frac{S^2}{n}}}{[\bar{X}]} ; \alpha = 0.05; df = 5 - 1 = 4$$

$$hw_0 = \frac{(2.77) \sqrt{\frac{(3556.696)^2}{5}}}{[218600.4]}$$

$$hw_0 = 0.020202257 \approx 2.02\%$$

Dengan replikasi sebanyak 5 kali terhadap *total order* pada Area 0, didapatkan nilai *error* (*half width*) sebesar 2.02%. Dengan *relative error* sebesar 3%, *half width* bernilai lebih kecil dibandingkan *relative error*, sehingga jumlah replikasi sebanyak 5 kali dianggap cukup untuk merepresentasikan kondisi *real* dan perhitungan  $n_0'$  tidak perlu untuk dilakukan.

Tabel 4.14 dibawah ini merupakan rekapitulasi hasil *running* model simulasi pada Area 1 selama 1 tahun (249 hari kerja) dengan jumlah replikasi sebanyak 5 kali.

**Tabel 4. 14 Hasil *Running* Model Simulasi pada Area 1 dengan 5 Kali Replikasi**

Hari Kerja	Total Order pada Area 1				
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5

1	1264	1391	1698	1702	2135
2	1856	2063	1846	2254	1956
3	1728	1772	1944	1941	2097
4	2117	1891	1796	2147	1740
5	1818	1999	2174	2095	1715
6	1928	2281	2269	1782	2090
7	1908	1867	1909	1442	2200
8	2412	1773	2252	1715	1994
9	1344	1625	1748	2030	1948
10	1982	1831	2246	1396	1966
...	...	...	...	...	...
241	2043	1676	1651	1610	2187
242	1608	1293	1756	1810	1859
243	1985	2219	1078	1656	2119
244	1529	1895	1712	1875	2025
245	1763	2174	1759	1991	1706
246	1878	1887	1852	1384	2032
247	1943	1732	1780	1823	2124
248	1709	1487	1999	1921	2098
249	1972	2341	1534	2011	2011
<i>Total Order</i>	472253	467315	470799	461045	475952
Rata-rata	469472.8				
Standar Deviasi	5638.091				

Dengan menggunakan rumus yang sama, perhitungan *half width* untuk Area 1 adalah sebagai berikut.

$$hw_1 = \frac{(t_{n-1, \alpha/2}) \sqrt{\frac{S^2}{n}}}{[\bar{X}]} ; \alpha = 0.05; df = 5 - 1 = 4$$

$$hw_1 = \frac{(2.26) \sqrt{\frac{(5638.091)^2}{5}}}{[469472.8]}$$

$$hw_1 = 0.01491 \approx 1.49\%$$

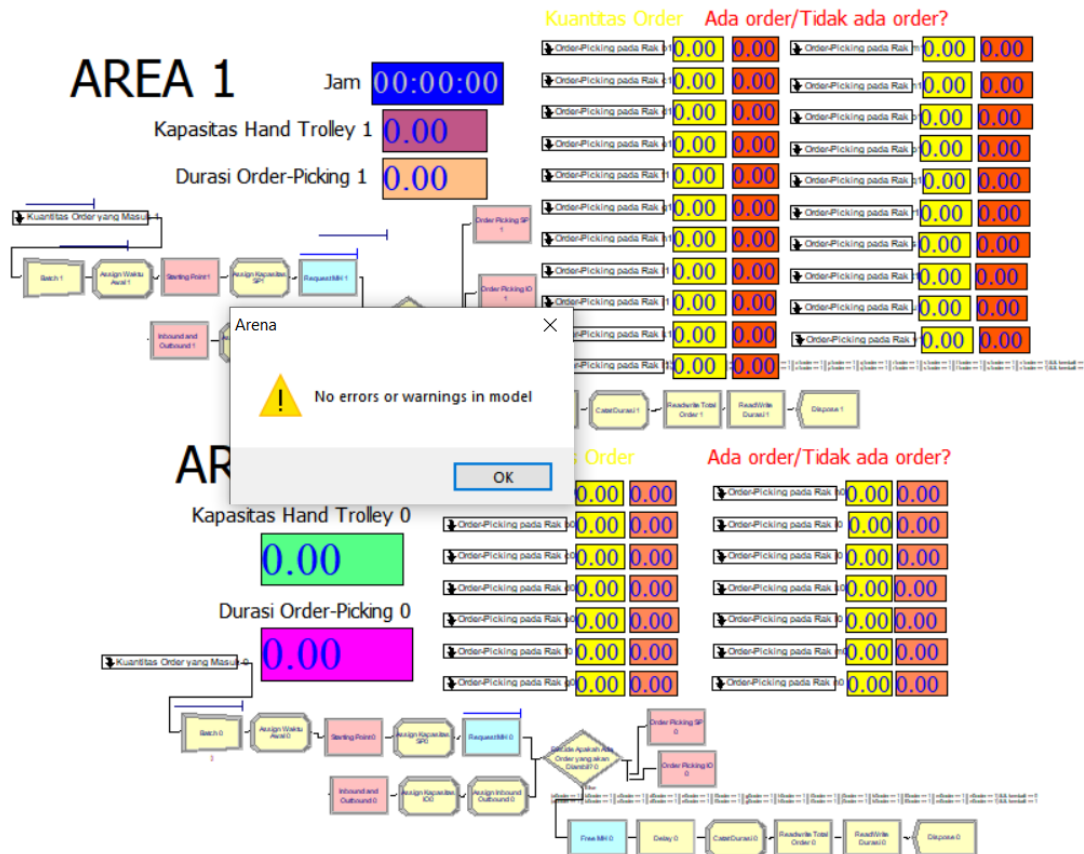
Dengan replikasi sebanyak 5 kali terhadap *total order* pada Area 0, didapatkan nilai *error (half width)* sebesar 1.49%. Dengan *relative error* sebesar 3%, *half width* bernilai lebih kecil dibandingkan *relative error*, sehingga jumlah replikasi sebanyak 5 kali dianggap cukup untuk merepresentasikan kondisi *real* dan perhitungan  $n_0$  tidak perlu untuk dilakukan.

#### **4.6. Verifikasi dan Validasi Model Simulasi**

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai verifikasi dan validasi model simulasi yang telah dibuat.

##### **4.6.1. Verifikasi**

Verifikasi bertujuan untuk mengecek dan memastikan apakah model yang telah dirancang sudah dapat berjalan dan merepresentasikan model konseptual. Verifikasi model simulasi berupa pengecekan apakah terdapat *error* pada logika operasional model. Pengecekan *error* dilakukan dengan menggunakan software *ARENA*. Gambar 4.7 dibawah ini merupakan hasil pengecekan *error* pada model simulasi.



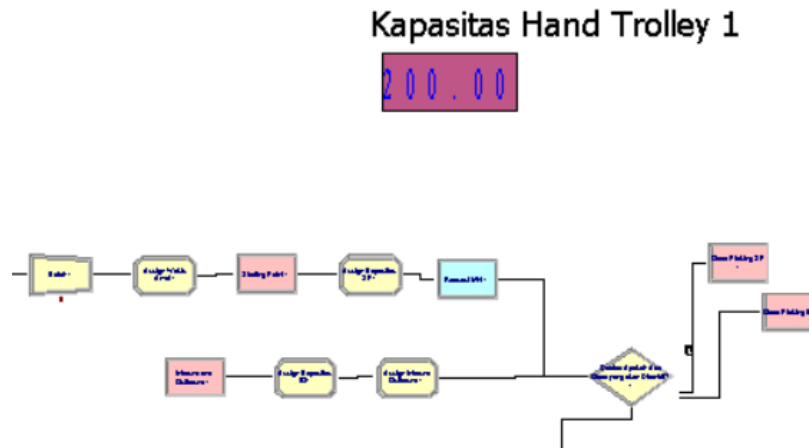
**Gambar 4. 13 Verifikasi Model Simulasi dengan fitur *Check Model* pada ARENA**

Berdasarkan verifikasi model simulasi dengan *Check Model*, tidak ada ditemukan kesalahan atau *error* dalam logika operasional model. Hal ini menunjukkan bahwa logika operasional model seluruhnya adalah benar. Selain pengecekan dengan *check model*, dilakukan juga pengecekan secara manual terhadap parameter tertentu.

#### 4.6.1.1. Verifikasi Penggunaan *Hand Trolley*

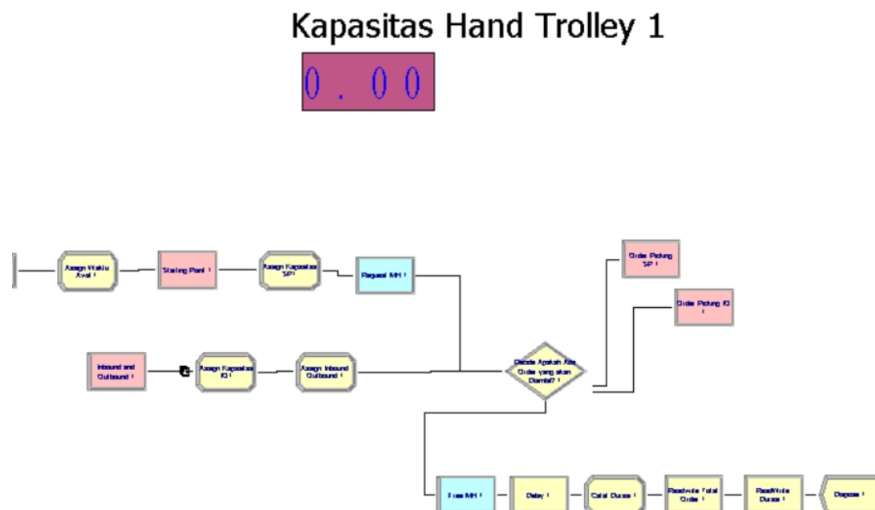
Pada subbab ini, dilakukan pengecekan secara manual terhadap penggunaan *hand trolley*. Kapasitas maksimum *hand trolley* adalah 200 kg. *Hand trolley* akan bergerak menuju rak penyimpanan terdekat sesuai lokasi *hand trolley* dan *order* yang diterima sebelum *hand trolley* mencapai batas kapasitasnya. Jika *hand trolley* sudah

mencapai batas kapasitasnya, *hand trolley* akan berhenti melakukan *order-picking* dan akan bergerak menuju *Inbound/Outbound Area*.



**Gambar 4. 14 Kondisi Hand Trolley Sebelum Melakukan *Order-Picking***

Berdasarkan gambar 4.8, kapasitas *hand trolley* sebelum melakukan *order-picking* adalah 200 kg, sesuai dengan logika operasional yang sudah dirancang sebelumnya.

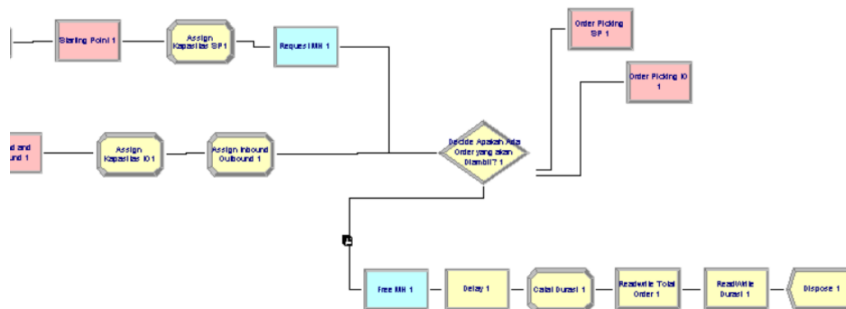


**Gambar 4. 15 Kondisi *Hand Trolley* pada saat Memasuki *Inbound/Outbound Area***

Berdasarkan gambar 4.10, kapasitas *hand trolley* menyisakan 0 kg pada saat memasuki *Inbound/Outbound Area*, sesuai dengan logika operasional dimana *hand trolley* akan mengangkut *order* sampai mencapai batas maksimal *hand trolley* sebelum berangkat menuju *Inbound/Outbound Area*.

### Kapasitas Hand Trolley 1

200,00



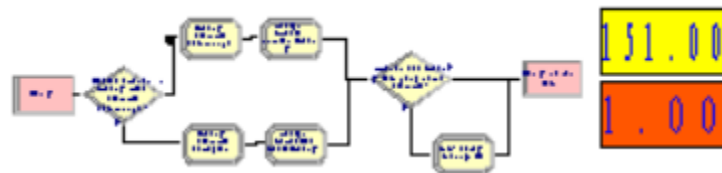
**Gambar 4. 16 Kondisi *Hand Trolley* pada Saat Selesai Melakukan *Order-Picking* terhadap Seluruh *Order***

Berdasarkan gambar 4.11, kapasitas *hand trolley* adalah sebesar 200 kg setelah meninggalkan *Inbound/Outbound Area*, sesuai dengan logika operasional dimana *hand trolley* akan kosong setelah melalui *Inbound/Outbound Area* untuk meletakkan produk. Jika seluruh *order* sudah diambil, maka *hand trolley* akan kembali ke *Starting Point* sebagai lokasi penyimpanan *hand trolley*, sesuai dengan gambar 4.11.

#### 4.6.1.2. Verifikasi *Order* yang Masuk

Pada subbab ini, dilakukan pengecekan secara manual terhadap *order* yang masuk. *Variable box* berwarna kuning menunjukkan kuantitas *order* berdasarkan sebaran distribusi pada subbab 4.2.1. Namun, keputusan untuk *order-picking* menuju rak tersebut ditunjukkan pada *variable box* berwarna merah. Jika *variable box* bernilai

1, maka *hand trolley* akan bergerak menuju rak tersebut dan melakukan pengambilan *order*, namun jika bernilai 0, terdapat 2 arti, yaitu *hand trolley* sudah mengambil seluruh produk dari rak tersebut, atau *hand trolley* tidak akan bergerak menuju rak tersebut.



Gambar 4. 17 Kondisi Rak Pada Saat Dilalui *Hand-Trolley*

Berdasarkan gambar 4.12, *variable box* kuning bernilai 151 dan *variable box* merah bernilai 1. Hal ini berarti terdapat jumlah *order* sebesar 151 dan akan diambil oleh *hand trolley*.



Gambar 4. 18 Kondisi Rak pada Saat Tidak Dilalui *Hand-Trolley*

Berdasarkan gambar 4.13, *variable box* kuning bernilai 60, namun *variable box* merah bernilai 0. Hal ini berarti terdapat jumlah *order* sebesar 60 tidak akan diambil oleh *hand trolley*, berdasarkan sebaran distribusi dan probabilitas munculnya *order* selama periode Januari 2019 - Desember 2019.

#### 4.6.2. Validasi

Validasi bertujuan untuk pengecekan apakah model simulasi sudah merupakan representatif dari kondisi sistem secara nyata. Model simulasi dikatakan valid jika simulasi menghasilkan nilai yang masih dapat diterima atau tidak ada perbedaan yang signifikan dengan data pada kondisi nyata. Metode validasi yang

digunakan adalah uji *student's-t*. Validasi ini akan membandingkan *total order* pada Area 0 dan 1 terhadap *total order* eksisting. Sebelumnya akan dilakukan validasi terhadap Area 0. Tabel 4.15 dibawah ini merupakan perbandingan *total order* model simulasi terhadap model eksisting pada Area 0.

**Tabel 4. 15 Perbandingan Total Order pada Model Simulasi Area 0**

Hari Kerja	Total Order					Total Order Eksisting
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	
1	1232	733	968	944	740	821
2	504	473	605	1099	933	941
3	981	852	567	761	1090	892
4	688	983	1054	940	1278	823
5	802	588	896	977	707	558
6	669	756	1003	974	654	860
7	1117	627	1245	927	650	626
8	997	970	1093	1054	773	1049
9	757	584	611	422	672	508
10	790	1158	572	823	513	1425
...	...	...	...	...	...	...
241	1274	480	1097	1139	778	802
242	1084	965	685	815	969	779
243	715	892	639	825	1075	670
244	935	725	943	784	854	995
245	951	1094	1052	882	562	790
246	1266	1083	1208	771	728	889
247	706	568	494	921	1265	806
248	622	570	576	1262	1052	757



249	841	611	1125	1214	895	732
<i>Total Order</i>	219537	218299	224052	214724	216390	218704

Data pada tabel 4.15 digunakan untuk pengujian statistik menggunakan uji *student's-t*. Hipotesis yang digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2$$

$\mu_1$  merupakan rata-rata *output (total order)* model simulasi Area 0, sementara  $\mu_2$  merupakan rata-rata *output (total order)* sistem eksisting Area 0. Selanjutnya, dilakukan uji *student's-t* untuk validasi model. Uji statistik dibantu dengan *Microsoft Excel*. Hasil dari uji *student's-t* ditampilkan pada tabel 4.16.

**Tabel 4. 16 Uji Student's-T Model Simulasi terhadap Model Eksisting (Area 0)**

	<i>Model Simulasi Area 0</i>	<i>Model Eksisting Area 0</i>
Mean	218600.4	218704
Variance	12650087.3	0
Observations	5	5
Pooled Variance	6325043.65	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	8	
t Stat	-0.065132537	
P(T<=t) one-tail	0.474833328	
t Critical one-tail	1.859548038	
P(T<=t) two-tail	0.949666656	
t Critical two-tail	2.306004135	

Berdasarkan tabel 4.14, diperoleh nilai *t-stat* sebesar -0.065132537 dan nilai *t-Critical two-tail* sebesar 2.306004135. Berdasarkan nilai ini, persamaan – (*t Critical*

$two-tail) < t_{stat} < t_{Critical\ two-tail}$  berlaku ( $-2.306004135 < -0.065132537 < 2.306004135$ ). Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima sehingga model simulasi untuk Area 0 dianggap valid.

Selanjutnya akan dilakukan validasi terhadap Area 1. Tabel 4.17 dibawah ini merupakan perbandingan *total order* model simulasi terhadap model eksisting pada Area 1.

**Tabel 4. 17 Perbandingan *Total Order* pada Model Simulasi Area 1**

Hari Kerja	<i>Total Order</i>					<i>Total Order Eksisting</i>
	Replikasi 1	Replikasi 2	Replikasi 3	Replikasi 4	Replikasi 5	
1	1264	1391	1698	1702	2135	1782
2	1856	2063	1846	2254	1956	1757
3	1728	1772	1944	1941	2097	2142
4	2117	1891	1796	2147	1740	1869
5	1818	1999	2174	2095	1715	2188
6	1928	2281	2269	1782	2090	1896
7	1908	1867	1909	1442	2200	2043
8	2412	1773	2252	1715	1994	1901
9	1344	1625	1748	2030	1948	1994
10	1982	1831	2246	1396	1966	1657
...	...	...	...	...	...	...
241	2043	1676	1651	1610	2187	1503
242	1608	1293	1756	1810	1859	2043
243	1985	2219	1078	1656	2119	1663
244	1529	1895	1712	1875	2025	1788
245	1763	2174	1759	1991	1706	2042
246	1878	1887	1852	1384	2032	2383
247	1943	1732	1780	1823	2124	1674

248	1709	1487	1999	1921	2098	1209
249	1972	2341	1534	2011	2011	1820
<i>Total Order</i>	472253	467315	470799	461045	475952	467630

Data pada tabel 4.17 digunakan untuk pengujian statistik menggunakan uji *student's-t*. Hipotesis yang sama yang akan digunakan adalah sebagai berikut.

$$H_0 : \mu_1 = \mu_2$$

$$H_0 : \mu_1 \neq \mu_2$$

$\mu_1$  merupakan rata-rata *output (total order)* model simulasi Area 1, sementara  $\mu_2$  merupakan rata-rata *output (total order)* sistem eksisting Area 1. Selanjutnya, dilakukan uji *student's-t* untuk validasi model. Uji statistik dibantu dengan *Microsoft Excel*. Hasil dari uji *student's-t* ditampilkan pada tabel 4.18.

**Tabel 4. 18 Uji *Student's-T* Model Simulasi terhadap Model Eksisting (Area 0)**

	<i>Model Simulasi Area 1</i>	<i>Model Eksisting Area 1</i>
Mean	469472.8	467630
Variance	31788066.2	0
Observations	5	5
Pooled Variance	15894033.1	
Hypothesized Mean Difference	0	
df	8	
t Stat	0.73085488	
P(T<=t) one-tail	0.242859616	
t Critical one-tail	1.859548038	
P(T<=t) two-tail	0.485719232	
t Critical two-tail	2.306004135	

Berdasarkan tabel 4.16, diperoleh nilai *t-stat* sebesar 0.73085488 dan nilai *t-Critical two-tail* sebesar 2.306004135. Berdasarkan nilai ini, persamaan – (*t Critical two-tail*) < *t stat* < *t Critical two-tail* berlaku ( $-2.306004135 < -0.73085488 < 2.306004135$ ). Hal ini menunjukkan bahwa hipotesis nol ( $H_0$ ) diterima sehingga model simulasi untuk Area 1 dianggap valid.

#### 4.7. Pengembangan Skenario Perbaikan

Pada subbab ini akan dijelaskan mengenai pengembangan model simulasi dengan membuat model skenario perbaikan untuk mengurangi jarak tempuh *hand trolley* pada saat melakukan *order-picking*. Model simulasi yang digunakan untuk skenario perbaikan adalah sama dengan model simulasi eksisting. Perbedaannya terletak pada penempatan produk pada masing-masing rak penyimpanan berdasarkan skenario yang diterapkan, yang akan memengaruhi input *distribution*, probabilitas, dan massa produk yang di-assign pada masing-masing rak penyimpanan. Pada subbab 3.2.9 telah dijelaskan mengenai opsi skenario untuk mengurangi jarak tempuh *hand trolley*, yaitu dengan menggunakan metode *dedicated storage policy* dengan beberapa skenario *product layout*, sebagai berikut.

##### 4.7.1. Dedicated Storage Policy; Aspek Komplemen

Pada subbab ini akan menampilkan skenario tata letak masing-masing produk pada Area 0 dan 1 berdasarkan aspek komplemen. Tabel 4.19 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 0 berdasarkan aspek komplemen. Produk yang berkomplemen adalah jenis produk C, H, dan L; PH dan PS; dan SC dan SDS. Penentuan tata letak produk pada skenario ini berdasarkan hasil *trial and error* penulis.

**Tabel 4. 19 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Komplemen**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)
A0	C-16PD04-A301	1820
B0	H-16PD04-A202	1980
C0	H-16PD04-A201	2140

D0	C-16PD04-A302	2130
E0	L-16PD04-A101	2290
F0	PH-16PD04-A403	2450
G0	PH-16PD04-A404	2770
H0	PH-16PD04-A402	3090
I0	PH-16PD04-A401	3250
J0	P-16PD04-A501	3410
K0	PS-16PD04-A3001	3660
L0	PS-16PD04-A3002	3740
M0	PS-16PD04-A3003	4060
N0	PS-16PD04-A3004	4460
O0	Produk Reject	

Tabel 4.20 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 1 berdasarkan aspek komplemen.

**Tabel 4. 20 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Komplemen**

Kode Rak	Kode Produk Produk	Jarak ke I/O (cm)
A1	Barang Tak Terpakai	
B1	WS-30SS04-B3201	2190
C1	SC-19SD04-J1001	2350
D1	SC-19SD04-J1002	2470
E1	SC-19SD04-J1003	2630
F1	SDS-30SS04-J3101	2750
G1	C-19WD04-C701	1410
H1	H-19WD04-A801	1530
I1	L-19WD04-A601	1690
J1	C-19WD04-C702	1810

K1	C-19WD04-B702	1970
L1	L-19WD04-C603	2090
M1	L-19WD04-C602	2250
N1	G-19WD04-B501	2370
O1	E-19WD04-B901	750
P1	C-19WD04-A701	870
Q1	C-19WD04-A702	1030
R1	H-19WD04-A802	1150
S1	L-19WD04-B601	1310
T1	C-19WD04-B701	1430
U1	H-19WD04-B801	1590
V1	L-19WD04-C601	1710

#### 4.7.2. *Dedicated Storage Policy; Aspek Popularitas*

Pada subbab ini akan menampilkan skenario tata letak masing-masing produk pada Area 0 dan 1 berdasarkan aspek popularitas. Semakin tinggi rata-rata kuantitas *order* yang dimiliki sebuah produk, maka penempatan produk akan semakin mendekati *Inbound/Outbound Area*. Tabel 4.21 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 0 berdasarkan aspek popularitas.

**Tabel 4. 21 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Popularitas**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
A0	C-16PD04-A302	1820	169.1856
B0	C-16PD04-A301	1980	163.6743
C0	H-16PD04-A202	2140	157.6623
D0	H-16PD04-A201	2130	155.6419
E0	PH-16PD04-A402	2290	155.1

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
F0	PH-16PD04-A401	2450	153.7131
G0	L-16PD04-A101	2770	152.4872
H0	PH-16PD04-A403	3090	152.368
I0	PH-16PD04-A404	3250	149.8279
J0	P-16PD04-A501	3410	94.22857
K0	PS-16PD04-A3001	3660	35.7
L0	PS-16PD04-A3002	3740	34.3913
M0	PS-16PD04-A3004	4060	33.26667
N0	PS-16PD04-A3003	4460	32.62264

Tabel 4.22 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 1 berdasarkan aspek popularitas.

**Tabel 4. 22 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Popularitas**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
B1	L-19WD04-B601	2190	134.9193548
C1	SC-19SD04-J1003	2350	56.93548387
D1	SC-19SD04-J1001	2470	55.58823529
E1	WS-30SS04-B3201	2630	35.22641509
F1	SDS-30SS04-J3101	2750	28.86956522
G1	L-19WD04-A601	1410	154.5268293
H1	L-19WD04-C603	1530	149.1036269
I1	C-19WD04-B701	1690	145.9202128
J1	C-19WD04-B702	1810	144.9116022
K1	H-19WD04-B801	1970	143.2362637

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
L1	H-19WD04-A801	2090	142.4676617
M1	G-19WD04-B501	2250	92.54639175
N1	SC-19SD04-J1002	2370	56.57575758
O1	C-19WD04-A701	750	175.9345794
P1	C-19WD04-A702	870	175.4976303
Q1	C-19WD04-C701	1030	163.2639594
R1	E-19WD04-B901	1150	159.9389671
S1	C-19WD04-C702	1310	155.6842105
T1	L-19WD04-C601	1430	152.9282051
U1	H-19WD04-A802	1590	147.1919192
V1	L-19WD04-C602	1710	145.6042781

#### 4.7.3. *Dedicated Storage Policy; Aspek Dimensi (Cube)*

Pada subbab ini akan menampilkan skenario tata letak masing-masing produk pada Area 0 dan 1 berdasarkan aspek dimensi atau volume. Semakin rendah *volume* yang dimiliki sebuah produk, maka penempatan produk semakin mendekati *Inbound/Outbound Area*. Tabel 4.23 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 0 berdasarkan aspek dimensi (*cube*).

**Tabel 4. 23 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek Dimensi**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
A0	C-16PD04-A301	1820	45.5
B0	C-16PD04-A302	1980	45.5
C0	P-16PD04-A501	2140	72.675
D0	H-16PD04-A201	2130	519.93
E0	H-16PD04-A202	2290	519.93



Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
F0	L-16PD04-A101	2450	917.56
G0	PH-16PD04-A403	2770	1293.6
H0	PH-16PD04-A404	3090	1293.6
I0	PH-16PD04-A401	3250	2052
J0	PH-16PD04-A402	3410	2052
K0	PS-16PD04-A3001	3660	4230
L0	PS-16PD04-A3002	3740	4230
M0	PS-16PD04-A3003	4060	5922
N0	PS-16PD04-A3004	4460	5922

Tabel 4.24 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 1 berdasarkan aspek dimensi (*cube*).

**Tabel 4. 24 Skenario Tata Letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek Dimensi**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
B1	L-19WD04-C601	2190	442.98
C1	L-19WD04-B601	2350	453.6
D1	L-19WD04-A601	2470	537.5
E1	WS-30SS04-B3201	2630	663.642
F1	SDS-30SS04-J3101	2750	2332
G1	C-19WD04-A702	1410	37.62
H1	G-19WD04-B501	1530	72.675
I1	SC-19SD04-J1002	1690	353.4
J1	H-19WD04-A801	1810	383.8
K1	H-19WD04-A802	1970	383.8
L1	H-19WD04-B801	2090	399
M1	L-19WD04-C602	2250	442.98

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
N1	L-19WD04-C603	2370	528
O1	C-19WD04-C701	750	31.416
P1	C-19WD04-C702	870	31.416
Q1	C-19WD04-B701	1030	37.62
R1	C-19WD04-B702	1150	37.62
S1	C-19WD04-A701	1310	37.62
T1	E-19WD04-B901	1430	50
U1	SC-19SD04-J1003	1590	341
V1	SC-19SD04-J1001	1710	357.5

#### 4.7.4. *Dedicated Storage Policy; Aspek COI (Cube-per-Order Index)*

Pada subbab ini akan menampilkan skenario tata letak masing-masing produk pada Area 0 dan 1 berdasarkan aspek COI. Semakin rendah COI yang dimiliki sebuah produk, maka penempatan produk semakin mendekati *Inbound/Outbound Area*. Tabel 4.25 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 0 berdasarkan aspek COI.

**Tabel 4. 25 Skenario Tata Letak Produk Area 0 berdasarkan Aspek COI**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	COI
A0	P-16PD04-A501	1820	941.6824468
B0	C-16PD04-A301	1980	955.7791411
C0	C-16PD04-A302	2140	987.5384615
D0	H-16PD04-A202	2130	8991.146178
E0	H-16PD04-A201	2290	9761.266452
F0	L-16PD04-A101	2450	17017.11605
G0	PH-16PD04-A404	2770	19108.81611
H0	PH-16PD04-A403	3090	19412.51053

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	COI
I0	PS-16PD04-A3002	3250	25628.82353
J0	PS-16PD04-A3001	3410	27676.28571
K0	PH-16PD04-A402	3660	30965.34194
L0	PH-16PD04-A401	3740	33569.64706
M0	PS-16PD04-A3004	4060	36967.63636
N0	PS-16PD04-A3003	4460	41454

Tabel 4.26 dibawah ini merupakan skenario tata letak produk pada Area 1 berdasarkan aspek dimensi (*cube*).

**Tabel 4. 26 Skenario Tata letak Produk Area 1 berdasarkan Aspek COI**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	COI
B1	H-19WD04-A802	2190	9250.363
C1	L-19WD04-B601	2350	10348.17
D1	L-19WD04-C601	2470	10500.37
E1	L-19WD04-C603	2630	12392.05
F1	L-19WD04-A601	2750	13482.87
G1	C-19WD04-A702	1410	958.9875
H1	E-19WD04-B901	1530	1381.132
I1	SC-19SD04-J1003	1690	1449.25
J1	WS-30SS04-B3201	1810	4891.99
K1	SDS-30SS04-J3103	1970	6246.429
L1	H-19WD04-B801	2090	8741.727
M1	H-19WD04-A801	2250	9678.787
N1	L-19WD04-C602	2370	10463.49
O1	C-19WD04-C702	750	749.7276
P1	C-19WD04-C701	870	777.6906

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	COI
Q1	C-19WD04-B702	1030	833.6488
R1	G-19WD04-B501	1150	886.319
S1	C-19WD04-B701	1310	889.6481
T1	C-19WD04-A701	1430	982.2045
U1	SC-19SD04-J1002	1590	1400.979
V1	SC-19SD04-J1001	1710	1599

#### 4.8. *Running* dan Hasil Simulasi

Pada subbab ini akan ditampilkan hasil simulasi pada kondisi eksisting dan 4 skenario perbaikan pada Area 0 dan 1. Model eksisting dan skenario perbaikan menggunakan *storage policy* yang sama, yaitu *dedicated storage policy*. Perbedaan antara model eksisting dan skenario perbaikan adalah tata letak setiap produk, seperti yang telah dijelaskan pada subbab 4.7. Tabel 4.27 dibawah ini merupakan hasil *running simulasi* terhadap *order-picking travel time* pada kondisi eksisting dan skenario perbaikan, pada Area 0.

**Tabel 4. 27 Perbandingan Simulasi Terhadap *Order-picking Travel Time* Area 0**

Hari Kerja	<i>Order-picking travel time</i> pada Area 0 (detik)				
	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
1	322.965	326.7765	354.2824	273.7412	430.6353
2	374.843	374.0196	318.7725	332.0902	444.1843
3	332.184	344.4902	351.0549	298.6549	384.9843
4	403.949	407.5255	326.5608	357.6431	422.6078
5	300.255	319.4549	410.8431	294.8902	279.3137
6	403.902	399.9255	342.6314	330.6314	500.9373
7	432.914	428.1608	384.8667	345.6667	412.8196
8	434.843	456.349	366.2549	376.7961	453.8549

Hari Kerja	Order-picking travel time pada Area 0 (detik)				
	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
9	324.302	319.5255	428.1373	304.9137	321.3843
10	342.373	335.0784	366.749	268.2784	413.5961
...	...	...	...	...	...
241	430.514	429.6196	441.502	347.8784	465.502
242	430.961	421.8078	352.3725	333.0314	387.549
243	258.678	222.8196	458.2549	238.6549	164.3255
244	334.02	319.3137	343.3608	243.549	372.9804
245	421.055	411.502	335.1961	344.3725	344.2078
246	450.537	454.1373	398.8196	348.3961	408.4431
247	382.631	403.2196	418.8902	347.0314	455.549
248	348.231	307.2431	333.0549	263.8549	486.1608
249	355.455	333.949	348.302	295.5961	341.5961
Total OPTT (detik)	93483.8	92442.58	91249.97	77762.84	98891.87
Total OPTT (jam)	25.9677	25.67849	25.34721	21.60079	27.46996
$\bar{X}$ OPPT (detik)	375.437	371.2553	366.4657	312.3006	397.1561

Model simulasi yang telah dibuat merupakan model simulasi *order-picking travel time*, sehingga rumus 4.3 dibawah ini berlaku untuk menentukan jarak tempuh *hand trolley*.

$$D = V \times T \quad (4.3)$$

Keterangan:

D : Jarak tempuh *hand trolley* (cm)

V : Kecepatan *hand trolley* (cm/s)

T : Total travel time (OPTT) (s)

Dengan menggunakan rumus 4.3, diperoleh total jarak tempuh *hand trolley* pada kondisi eksisting dan skenario perbaikan pada tabel 4.28 dibawah ini. Kecepatan *hand trolley* adalah 85 cm/s dan bersifat konstan (sesuai dengan subbab 1.5.2).

**Tabel 4. 28 Perbandingan Hasil Simulasi terhadap Jarak Tempuh *Hand Trolley* Area 0**

Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 0 (cm)				
Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
7946119	7857619	7756247	6609841	8405809
Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 0 (m)				
79461.2	78576.19	77562.47	66098.41	84058.09
Rata-rata Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 0 (m)				
319.121	315.567	311.4959	265.4555	337.5827

Tabel 4.29 dibawah ini merupakan hasil *running simulasi* terhadap *order-picking travel time* pada kondisi eksisting dan skenario perbaikan, pada Area 1.

**Tabel 4. 29 Hasil Simulasi Terhadap *Order-picking Travel Time* Area 1**

Hari Kerja	<i>Order-picking Travel Time</i> pada Area 1 (detik)				
	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
1	236.6118	210.4	257.6941	322.6353	252.2824
2	288.0118	277.1882	268.3882	375.1176	261.0941
3	275.2588	258.5529	254.4118	406.6471	271.7294
4	280.3882	260.7647	266.1765	356.3412	258.2706
5	295.4	281	225.2353	374.9765	258.5529
6	300.9529	262.9294	259.4	334.8824	287.1647
7	281.1412	254.6471	263.2588	358.4118	274.4118
8	297.8	254.2706	282.7412	362.7882	272.2941
9	254.2235	255.4941	237.4706	364.2471	257.7059
10	280.0118	263.4	275.2588	385.4706	288.2471

Hari Kerja	Order-picking Travel Time pada Area 1 (detik)				
	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
...	...	...	...	...	...
241	271.9176	242.8353	228.6235	326.8824	272.9529
242	269.4706	246.1765	269.5176	376.7647	286.9765
243	256.8118	273.9412	245.9412	375.4471	281.9412
244	268.6235	257.3294	253.8941	395.4471	272.6235
245	287.4	244.2471	252.9529	351.4	281.4235
246	268.8118	231.0706	249.7529	353.8941	293.8
247	277.4706	260.8588	261.5176	381.7059	272.3882
248	263.6824	239.6353	261.2353	390.4588	264.7176
249	279.3059	264.3412	239.9647	413	274.4118
Total OPTT (detik)	70234.73	63813.27	63209.98	90114.82	67395.06
Total OPTT (jam)	19.50965	17.72591	17.55833	25.0319	18.72085
$\bar{X}$ OPPT (detik)	282.0671	256.2782	253.8553	361.9069	270.6629

Dengan menggunakan rumus 4.3, diperoleh total jarak tempuh *hand trolley* pada kondisi eksisting dan skenario perbaikan pada tabel 4.30 dibawah ini. Kecepatan *hand trolley* adalah 85 cm/s dan bersifat konstan (sesuai dengan subbab 1.5.2).

**Tabel 4. 30 Hasil Simulasi terhadap Jarak Tempuh Hand Trolley Area 0**

Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 1 (cm)				
Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
5969951.995	5424128	5372848	7659760	5728580
Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 1 (m)				
59699.51995	54241.28	53728.48	76597.6	57285.8
Rata-rata Jarak Tempuh <i>Hand Trolley</i> pada Area 1 (m)				
239.7571082	217.8365	215.777	307.6209	230.0635





## **BAB 5**

### **ANALISIS DAN INTERPRETASI DATA**

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai analisis dan interpretasi data dalam penelitian Tugas Akhir ini, terdiri dari analisis *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* pada kondisi eksisting, analisis *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* pada skenario perbaikan, dan analisis pemilihan skenario terbaik.

#### **5.1. Analisis Order-Picking Travel Time, Jarak Tempuh Hand Trolley pada Kondisi Eksisting**

Berdasarkan hasil simulasi pada bab 4 dengan 5 replikasi untuk 249 hari kerja (sepanjang tahun 2019), didapatkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada kondisi eksisting yaitu sebesar 93483,8 detik, atau setara dengan 25,9677 jam (dapat dilihat pada tabel 4.27). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 375,437 detik. Nilai ini dihasilkan berdasarkan kondisi eksisting lantai dasar *warehouse* pusat PT. X dimana tata letak produk pada setiap rak penyimpanan adalah berdasarkan jenis produk, sehingga produk dengan jenis yang sama akan dikelompokkan berdekatan. Tata letak produk pada kondisi eksisting tidak mempertimbangkan aspek *product layout*.

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada kondisi eksisting, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* untuk 249 hari kerja sebesar 7946119 cm atau setara dengan 79461 meter. Nilai ini merupakan hasil perkalian antara *total order-picking travel time* dengan kecepatan *hand trolley* yang bernilai konstan sebesar 85 cm / s. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 319.121 meter. Nilai ini dapat dikatakan tidak terlalu besar, namun karena tidak adanya pertimbangan aspek *product layout* dalam tata letak produk, dibutuhkan beberapa skenario perbaikan sebagai perbandingan terhadap kondisi eksisting untuk mengetahui apakah tata letak produk pada kondisi eksisting sudah dapat dikatakan baik

atau tidak, dengan harapan skenario perbaikan dapat mereduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* terhadap kondisi eksisting.

## **5.2. Analisis *Order-Picking Travel Time* dan Jarak Tempuh *Hand Trolley* pada Skenario Perbaikan**

Untuk mereduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* terhadap kondisi eksisting, dilakukan 4 skenario perbaikan. Penentuan 4 skenario perbaikan adalah berdasarkan 4 aspek *product layout*, sehingga masing-masing skenario perbaikan yang akan diajukan merupakan skenario tata letak produk pada rak penyimpanan berdasarkan aspek *product layout*. *Storage policy* yang diterapkan pada skenario perbaikan adalah *dedicated storage policy*.

### **5.2.1. Skenario Perbaikan 1: Aspek Komplemen**

Skenario perbaikan 1 adalah tata letak produk berdasarkan aspek komplemen, dimana produk yang sering berinteraksi, berhubungan, atau melengkapi satu sama lain akan ditempatkan berdekatan. Berdasarkan hasil simulasi pada bab 4 dengan 5 replikasi untuk 249 hari kerja (sepanjang tahun 2019), didapatkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 1 yaitu sebesar 92422,58 detik, atau setara dengan 25,67849 jam (dapat dilihat pada tabel 4.27). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 371,2553 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 1 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 1041.1764 detik, atau 4.1813 detik per harinya (penurunan 1.114%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 1, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 7857619 cm atau setara dengan 78576.19 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 315.121 meter. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 1 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 885 meter, atau 3.554 m per harinya (penurunan 1.114%).

Untuk Area 1, *total order-picking travel time* pada skenario perbaikan 1 yaitu sebesar 63813.3 detik, atau setara dengan 17.7259 jam (dapat dilihat pada tabel 4.29). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 256.278 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 1 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 6421.46 detik, atau 25.789 detik per harinya (penurunan 9.143%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 1 pada skenario perbaikan 1, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5424128 cm atau setara dengan 54241.28 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 217.836 m. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 1 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5458.24 meter, atau 21.9206 m per harinya (penurunan 9.143%).

#### 5.2.2. Skenario Perbaikan 2: Aspek Popularitas

Skenario perbaikan 2 adalah tata letak produk berdasarkan aspek popularitas, dimana produk yang memiliki rata-rata *order* harian terbesar akan ditempatkan paling dekat dengan *Inbound/Outbound*. Berdasarkan hasil simulasi pada bab 4 dengan 5 replikasi untuk 249 hari kerja (sepanjang tahun 2019), didapatkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 2 yaitu sebesar 91249.97 detik, atau setara dengan 25.34721 jam (dapat dilihat pada tabel 4.27). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 366.4657 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 2 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 2233.788 detik, atau 8.971037 detik per harinya (penurunan 2.389%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 2, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 7756247 cm atau setara dengan 77562.47 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 311.4959 meter. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting,

terdapat penurunan pada skenario perbaikan 2 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 1898.72 meter, atau 7.6253 m per harinya (penurunan 2.389%).

Untuk Area 1, *total order-picking travel time* pada skenario perbaikan 2 yaitu sebesar 63210 detik, atau setara dengan 17.5583 jam (dapat dilihat pada tabel 4.29). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 253.855 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 2 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 7024.75 detik, atau 28.2119 detik per harinya (penurunan 10.002%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 1 pada skenario perbaikan 2, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5372848 cm atau setara dengan 53728.48 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 215.777 m. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 2 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5971.04 meter, atau 23.9801 m per harinya (penurunan 10.002%).

### 5.2.3. Skenario Perbaikan 3: Aspek Dimensi (Cube)

Skenario perbaikan 3 adalah tata letak produk berdasarkan aspek volume, dimana produk yang memiliki volume terbesar akan ditempatkan paling dekat dengan *Inbound/Outbound*. Berdasarkan hasil simulasi pada bab 4 dengan 5 replikasi untuk 249 hari kerja (sepanjang tahun 2019), didapatkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 3 yaitu sebesar 77762.84 detik, atau setara dengan 21.60079 jam (dapat dilihat pada tabel 4.27). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 312.3006 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 3 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 15720.92 detik, atau 63.13622 detik per harinya (penurunan 16.817%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 3, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 6609841 cm atau setara dengan 66098.41 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley*

untuk 1 hari adalah 265.4555 meter. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 3 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 13362.78 meter, atau 53.66578 m per harinya (penurunan 16.817%).

Untuk Area 1, *total order-picking travel time* pada skenario perbaikan 3 yaitu sebesar 90114.8 detik, atau setara dengan 25.0319 jam (dapat dilihat pada tabel 4.29). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 361.907 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat peningkatan pada skenario perbaikan 3 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 19880.1 detik, atau 79.8397 detik per harinya (peningkatan 28.305%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 1 pada skenario perbaikan 3, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 7659760 cm atau setara dengan 76597.6 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 307.621 m. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat peningkatan pada skenario perbaikan 3 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 16898.1 meter, atau 67.8638 m per harinya (peningkatan 28.305%).

#### 5.2.4. Skenario Perbaikan 4: Aspek COI (*Cube-per-Order Index*)

Skenario perbaikan 4 adalah tata letak produk berdasarkan aspek volume, dimana produk yang memiliki volume terbesar akan ditempatkan paling dekat dengan *Inbound/Outbound*. Berdasarkan hasil simulasi pada bab 4 dengan 5 replikasi untuk 249 hari kerja (sepanjang tahun 2019), didapatkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 4 yaitu sebesar 98891.87 detik, atau setara dengan 27.46996 jam (dapat dilihat pada tabel 4.27). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 397.1561 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat peningkatan pada skenario perbaikan 4 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 5408.114 detik, atau 21.71933 per harinya (peningkatan 5.785%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 0 pada skenario perbaikan 4, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 8405809 cm atau setara

dengan 84058.09 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 337.5827 meter. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat peningkatan pada skenario perbaikan 4 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 4596.897 meter, atau 18.46143 m per harinya (peningkatan 5.785%).

Untuk Area 1, *total order-picking travel time* pada skenario perbaikan 4 yaitu sebesar 67395.1 detik, atau setara dengan 18.7208 jam (dapat dilihat pada tabel 4.29). Jika dirata-ratakan, maka *total order-picking travel time* untuk 1 hari adalah 270.663 detik. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 4 terhadap *total order-picking travel time* sebesar 2839.67 detik, atau 11.4043 detik per harinya (penurunan 4.043%).

Berdasarkan *total order-picking travel time* untuk Area 1 pada skenario perbaikan 4, didapatkan total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5728580 cm atau setara dengan 57285.8 meter. Jika dirata-ratakan, maka total jarak tempuh *hand trolley* untuk 1 hari adalah 230.063 m. Jika dibandingkan dengan kondisi eksisting, terdapat penurunan pada skenario perbaikan 4 terhadap total jarak tempuh *hand trolley* sebesar 2413.72 meter, atau 9.69365 m per harinya (penurunan 4.043%).

### **5.3. Analisis Pemilihan Skenario Terbaik**

Berdasarkan hasil simulasi terkait skenario perbaikan terhadap Area 0, terdapat 3 skenario perbaikan yang dapat menurunkan jarak tempuh *hand truck* pada Area 0, yaitu skenario perbaikan 1 (aspek komplemen), skenario perbaikan 2 (aspek popularitas), dan skenario 3 (aspek dimensi). Skenario perbaikan 1 menghasilkan penurunan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 1.114%, sementara skenario perbaikan 2 dan 3 menghasilkan penurunan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 2.389% dan 16.817%. Berbeda dengan skenario perbaikan 4 (aspek COI) yang justru menghasilkan peningkatan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 5.758%. Skenario perbaikan 3 dapat dikatakan sebagai skenario terbaik yang dapat diterapkan pada lantai dasar Area 0 *warehouse* pusat PT. X karena memiliki jarak tempuh *hand trolley* terkecil atau memiliki penurunan jarak tempuh *hand trolley* terbesar dibandingkan skenario lainnya.

Berdasarkan hasil simulasi terkait skenario perbaikan terhadap Area 1, terdapat 3 skenario perbaikan yang dapat menurunkan jarak tempuh *hand trolley* pada Area 1, yaitu skenario perbaikan 1 (aspek komplemen), skenario perbaikan 2 (aspek popularitas), dan skenario 4 (aspek COI). Skenario perbaikan 1 menghasilkan penurunan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 9.143%, sementara skenario perbaikan 2 dan 4 menghasilkan penurunan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 10.002% dan 4.043%. Berbeda dengan skenario perbaikan 3 (aspek dimensi) yang justru menghasilkan peningkatan durasi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* sebesar 28.305%. Skenario perbaikan 2 dapat dikatakan sebagai skenario terbaik yang dapat diterapkan pada rantai dasar Area 1 *warehouse* pusat PT. X karena memiliki jarak tempuh *hand trolley* terkecil atau memiliki penurunan jarak tempuh *hand trolley* terbesar dibandingkan skenario lainnya. Tabel 5.1 dibawah ini merupakan rekapitulasi perbandingan *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* terhadap Area 0 pada kondisi eksisting dan 4 skenario perbaikan.

**Tabel 5. 1 Rekapitulasi Perbandingan *Order-Picking Travel Time* dan Jarak Tempuh *Hand Trolley* pada Area 0**

	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Total OPTT (detik)	93483.8	92442.58	91249.97	77762.84	98891.87
Rata-rata OPTT (detik)	375.436772	371.255341	366.466	312.301	397.156
Total jarak tempuh (m)	79461.1928	78576.1928	77562.5	66098.4	84058.1
Rata-rata jarak tempuh (m)	319.121256	315.567039	311.496	265.455	337.583
Perbandingan dengan Eksisting		Menurun 1.114%	Menurun 2.389%	Menurun 16.817%	Meningkat 5.785%

Tabel 5.2 dibawah ini merupakan rekapitulasi perbandingan *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* terhadap Area 1 pada kondisi eksisting dan 4 skenario perbaikan.

**Tabel 5. 2 Rekapitulasi Perbandingan *Order-Picking Travel Time* dan Jarak Tempuh *Hand Trolley* pada Area 1**

	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
Total OPTT (detik)	70234.7294	63813.3	63210	90114.8	67395.1
Rata-rata OPTT (detik)	282.067186	256.278	253.855	361.907	270.663
Total jarak tempuh (m)	59699.52	54241.3	53728.5	76597.6	57285.8
Rata-rata jarak tempuh (m)	239.757108	217.836	215.777	307.621	230.063
Perbandingan dengan Eksisting		Menurun 9.143%	Menurun 10.002%	Meningkat 28.305%	Menurun 4.043%



## BAB 6

### KESIMPULAN DAN SARAN

Pada bab ini akan dijelaskan mengenai kesimpulan dan saran terhadap penelitian Tugas Akhir ini.

#### 6.1. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian Tugas Akhir ini, kesimpulan yang didapat adalah sebagai berikut.

1. Berdasarkan hasil simulasi terkait kondisi eksisting *warehouse* pusat PT. X, diketahui bahwa dengan menggunakan 5 kali replikasi, didapatkan *output* simulasi *order-picking* adalah rata-rata nilai *order-picking travel time* perhari pada Area 0 dan 1 sebesar 375.43 detik dan 282.06 detik. Sementara, rata-rata jarak tempuh *hand trolley* perhari yang dihasilkan adalah sebesar 319.12 meter untuk Area 0 dan 239.757108 meter untuk Area 1. Nilai ini dapat dikatakan tidak terlalu besar, namun karena tidak adanya pertimbangan aspek *product layout* dalam tata letak produk, dibutuhkan beberapa skenario perbaikan sebagai perbandingan terhadap kondisi eksisting untuk mengetahui apakah tata letak produk pada kondisi eksisting sudah dapat dikatakan baik atau tidak, dengan harapan skenario perbaikan dapat mereduksi *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* terhadap kondisi eksisting.
2. Berdasarkan hasil simulasi terkait *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* pada kondisi eksisting dan 4 skenario pada Area 0, skenario 3 (aspek dimensi) merupakan skenario terbaik yang memiliki reduksi jarak tempuh *hand trolley* terbesar dibandingkan skenario lainnya (penurunan 16.817%). Tata letak produk untuk Area 0 menggunakan skenario 3 adalah sebagai berikut.

**Tabel 6. 1 Tata Letak Produk Terbaik untuk Area 0**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
A0	C-16PD04-A301	1820	45.5

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Volume Produk (cm <sup>3</sup> )
B0	C-16PD04-A302	1980	45.5
C0	P-16PD04-A501	2140	72.675
D0	H-16PD04-A201	2130	519.93
E0	H-16PD04-A202	2290	519.93
F0	L-16PD04-A101	2450	917.56
G0	PH-16PD04-A403	2770	1293.6
H0	PH-16PD04-A404	3090	1293.6
I0	PH-16PD04-A401	3250	2052
J0	PH-16PD04-A402	3410	2052
K0	PS-16PD04-A3001	3660	4230
L0	PS-16PD04-A3002	3740	4230
M0	PS-16PD04-A3003	4060	5922
N0	PS-16PD04-A3004	4460	5922

3. Berdasarkan hasil simulasi terkait *order-picking travel time* dan jarak tempuh *hand trolley* pada kondisi eksisting dan 4 skenario pada Area 1, skenario 2 (popularitas) merupakan skenario terbaik yang memiliki reduksi jarak tempuh *hand trolley* terbesar dibandingkan skenario lainnya (penurunan 10.002%). Tata letak produk untuk Area 0 menggunakan skenario 2 adalah sebagai berikut.

**Tabel 6. 2 Tata Letak Produk Terbaik untuk Area 1**

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Jumlah Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
B1	L-19WD04-B601	2190	134.9193548
C1	SC-19SD04-J1003	2350	56.93548387
D1	SC-19SD04-J1001	2470	55.58823529
E1	WS-30SS04-B3201	2630	35.22641509

Kode Rak	Kode Produk	Jarak ke I/O (cm)	Jumlah Rata-rata Kuantitas <i>Order</i> (unit)
F1	SDS-30SS04-J3101	2750	28.86956522
G1	L-19WD04-A601	1410	154.5268293
H1	L-19WD04-C603	1530	149.1036269
I1	C-19WD04-B701	1690	145.9202128
J1	C-19WD04-B702	1810	144.9116022
K1	H-19WD04-B801	1970	143.2362637
L1	H-19WD04-A801	2090	142.4676617
M1	G-19WD04-B501	2250	92.54639175
N1	SC-19SD04-J1002	2370	56.57575758
O1	C-19WD04-A701	750	175.9345794
P1	C-19WD04-A702	870	175.4976303
Q1	C-19WD04-C701	1030	163.2639594
R1	E-19WD04-B901	1150	159.9389671
S1	C-19WD04-C702	1310	155.6842105
T1	L-19WD04-C601	1430	152.9282051
U1	H-19WD04-A802	1590	147.1919192
V1	L-19WD04-C602	1710	145.6042781

## 6.2. Saran

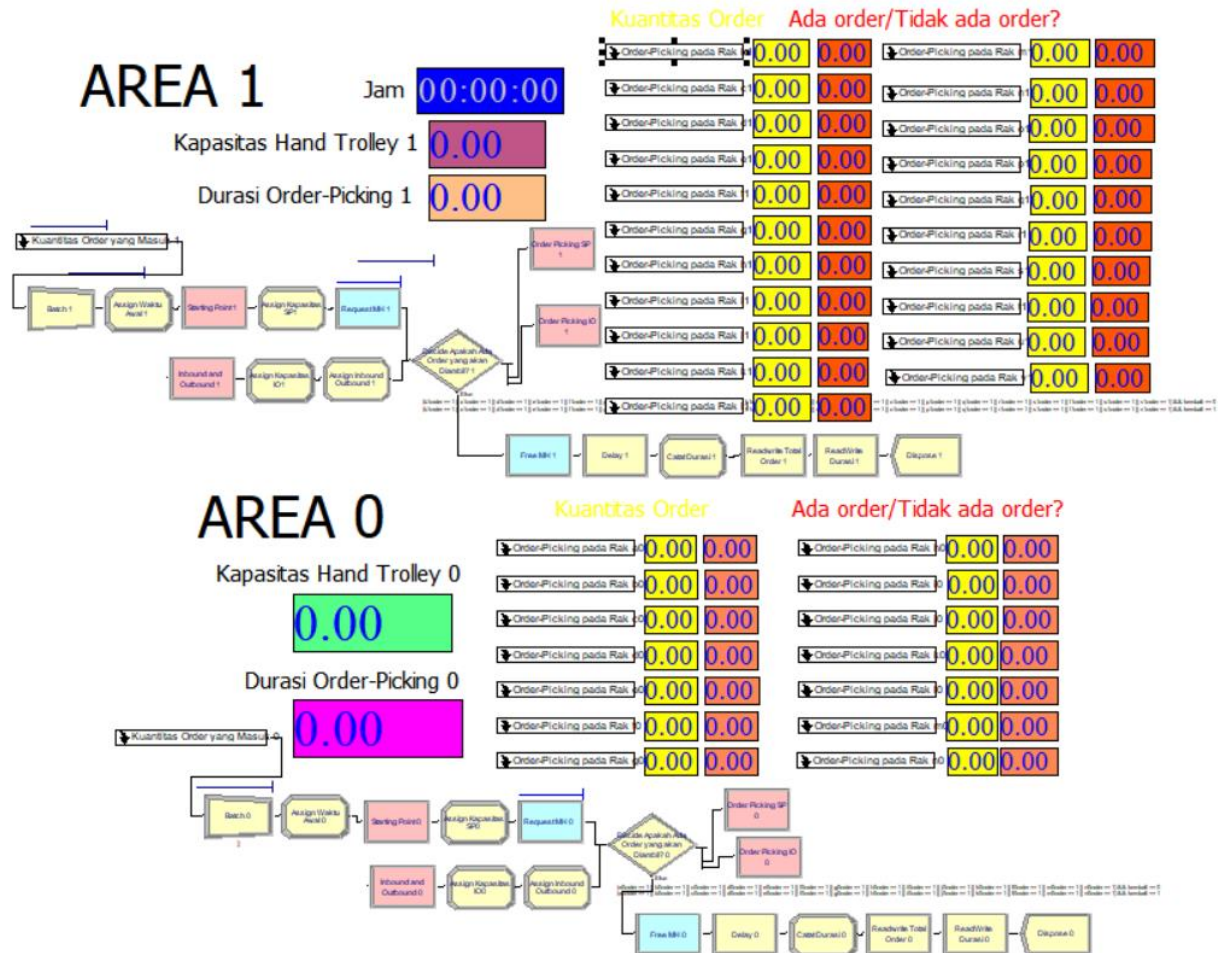
Saran yang dapat diberikan untuk perusahaan adalah sebagai berikut.

1. PT. X dapat menerapkan penataan dan tata letak produk pada masing-masing rak penyimpanan Area 0 berdasarkan aspek dimensi atau sesuai dengan skenario perbaikan 3, dan berdasarkan aspek popularitas pada Area 1, agar dapat mereduksi dan jarak tempuh *hand trolley* pada lantai dasar *warehouse* pusat PT. X
2. Selain penyesuaian tata letak produk terhadap rak penyimpanan, PT. X juga dapat mempertimbangkan penambahan *hand trolley* atau *material handling* lainnya pada setiap area agar lebih mereduksi jarak tempuh *hand trolley*.

Saran yang dapat diberikan untuk penelitian Tugas Akhir berikutnya adalah sebagai berikut.

1. Mempertimbangkan proses *put-away* (proses penyimpanan produk pada *storage*) setelah kedatangan produk dari *supplier* dikarenakan adanya aktivitas *material handling* pada proses *put-away*.
2. Mempertimbangkan *order-picking rule* sebagai skenario perbaikan untuk meminimalisir jarak tempuh *material handling*.
3. Mempertimbangkan pemindahan rak sebagai skenario perbaikan untuk meminimalisir jarak tempuh *material handling*.
4. Mempertimbangkan penentuan jenis *material handling* sebagai skenario perbaikan untuk meminimalisir jarak tempuh *material handling*.
5. Mempertimbangkan metode *order-picking* sebagai skenario perbaikan untuk meminimalisir jarak tempuh *material handling*.
6. Mempertimbangkan periode dan jumlah melakukan *batch-picking* dalam 1 hari sebagai skenario perbaikan untuk meminimalisir jarak tempuh *material handling*.

## LAMPIRAN



### Lampiran 1. Keseluruhan Model Simulasi dan Model Skenario

**Lampiran 2. Rekapitulasi Hasil Simulasi Terhadap *Order-Picking Travel Time* (Area 0) (Satuan: Detik)**

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
1	322.9647035	326.7764682	354.2824	273.7412	430.6353
2	374.8431349	374.0196055	318.7725	332.0902	444.1843
3	332.1843114	344.4901937	351.0549	298.6549	384.9843
4	403.9490173	407.5254878	326.5608	357.6431	422.6078
5	300.2548996	319.4548996	410.8431	294.8902	279.3137
6	403.9019584	399.9254878	342.6314	330.6314	500.9373
7	432.9137231	428.160782	384.8667	345.6667	412.8196
8	434.8431349	456.3490173	366.2549	376.7961	453.8549
9	324.3019584	319.5254878	428.1373	304.9137	321.3843
10	342.3725467	335.078429	366.749	268.2784	413.5961
11	312.4431349	330.9372525	408.3725	310.5608	459.5725
12	402.3725467	377.9960761	496.8196	321.6196	412.5373
13	355.5019584	378.4901937	308.6314	300.302	409.102
14	376.160782	380.0431349	372.0196	259.7137	313.9961
15	372.8196055	383.0548996	460.349	328.9373	325.3137
16	378.9137231	387.3137231	312.4196	309.9961	443.9961
17	353.878429	352.560782	435.8078	345.0784	434.9373
18	328.7960761	330.9372525	440.8431	300.302	343.7608
19	354.5137231	349.5725467	308.0196	310.0667	313.0549
20	355.7843114	351.4548996	244.9137	328.4431	415.5725
21	426.7725467	421.9254878	338.9373	292.9373	445.8549
22	447.5254878	442.9137231	352.7255	341.8314	537.4784
23	321.1725467	343.9019584	314.2784	287.7843	362.2078
24	386.8196055	375.6431349	415.3373	313.4078	430.2078
25	387.1490173	394.3490173	405.4784	315.6667	323.6667
26	428.8196055	377.0313702	445.3608	314.3255	476.6784
27	396.1137231	380.4431349	442.0431	302.9373	318.302
28	392.8196055	391.5960761	458.749	284.2314	472.9373
29	357.1019584	355.5960761	289.8549	319.4314	331.4078
30	341.2666643	334.0196055	334.702	310.349	303.7843
31	330.3254878	343.0313702	432.6314	318.6314	454.8196
32	339.1490173	351.5725467	365.3137	273.5725	382.1608
33	343.4313702	346.3019584	370.9608	327.9961	397.0314
34	398.9843114	373.3137231	325.8314	340.4667	392.6078
35	312.4901937	299.5019584	368.5843	206.1843	214.8902
36	336.2078408	302.278429	472.7255	264.2549	275.5255
37	370.1372525	370.0196055	387.8549	314.4431	426.7725

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
38	350.0431349	342.9137231	428.3961	296.2784	345.1725
39	349.0078408	344.1137231	281.102	305.4314	347.2902
40	314.2078408	337.360782	362.349	317.3137	361.149
41	308.8196055	304.678429	409.7373	279.5255	279.7137
42	414.0431349	380.8196055	373.2902	356.5843	505.4784
43	434.4196055	436.0431349	275.949	379.7137	521.6196
44	521.760782	510.4196055	374.1137	401.9725	481.8078
45	466.6078408	451.878429	451.2902	343.149	493.5961
46	356.7019584	358.3490173	290.6314	287.8549	361.149
47	379.5725467	379.2196055	303.8314	271.9961	348.3961
48	365.1490173	361.0078408	258.2784	315.4078	390.3961
49	424.5137231	456.3254878	377.2431	350.4902	445.902
50	402.7490173	401.9490173	284.0667	341.2902	481.4078
51	392.4196055	355.5960761	347.0784	328.702	439.5255
52	325.4313702	341.6431349	333.2431	297.1255	334.4902
53	310.6548996	348.6313702	325.1255	312.4431	409.0078
54	313.2666643	318.0196055	342.5137	289.7608	257.5255
55	400.5372525	404.4666643	439.1725	292.7725	400.5373
56	414.1137231	396.7960761	436.7255	293.549	500.7725
57	358.8901937	335.8313702	375.1961	322.1137	406.0196
58	393.1490173	398.9137231	282.8431	348.349	392.9373
59	455.9254878	423.1960761	363.149	382.349	390.1137
60	369.2431349	358.8666643	307.0549	339.6902	453.8784
61	413.9254878	369.078429	422.8196	334.5373	474.2549
62	386.4666643	370.3254878	383.7843	310.2549	375.902
63	427.6666643	387.8078408	443.102	359.102	455.6431
64	366.8431349	345.2196055	320.9373	288.7961	311.1255
65	371.6901937	342.9372525	428.3725	296.4667	419.4784
66	346.4901937	325.1254878	328.6314	333.6431	482.5843
67	341.7137231	330.4196055	300.0667	308.0667	426.0667
68	354.2078408	351.2431349	326.8196	290.6784	326.2549
69	286.5137231	263.9490173	351.4549	215.7137	423.1725
70	355.0548996	368.6548996	405.6902	288.8902	310.9373
71	450.1372525	440.8901937	402.3725	343.502	402.349
72	253.2666643	251.9254878	363.1255	206.8431	272.8667
73	415.3137231	415.5019584	357.6431	301.5255	471.9255
74	455.0548996	443.7372525	443.0078	388.5373	493.3137
75	385.6666643	347.3372525	377.4549	342.4902	386.0431
76	316.1137231	311.4313702	370.4667	269.7608	304.4902

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
77	350.2313702	350.4431349	370.5373	334.6784	409.2196
78	429.9960761	418.3254878	365.2667	335.0784	368.0431
79	379.5490173	403.078429	332.2078	326.7255	421.3608
80	424.2313702	420.1137231	375.102	323.5725	425.949
81	399.5019584	404.8431349	415.6902	315.102	313.0549
82	391.9960761	387.2196055	397.949	326.8667	370.3961
83	383.2431349	370.6078408	418.2549	273.549	425.9961
84	393.2901937	380.2548996	340.4431	314.7255	436.3725
85	398.4901937	383.9490173	389.6431	299.902	348.5373
86	356.9137231	354.6548996	278.7961	294.4902	363.0314
87	389.4548996	394.9137231	462.9137	327.549	345.2902
88	450.5137231	458.6078408	287.0784	339.102	358.749
89	365.3137231	350.0431349	448.7255	310.5843	501.9961
90	354.2313702	345.1725467	407.6196	300.0667	380.6549
91	416.3019584	422.560782	432.8431	348.0431	470.349
92	372.2548996	377.8313702	305.902	328.5843	496.6549
93	352.8666643	352.8666643	350.2784	337.902	448.0902
94	358.8196055	352.1843114	365.5255	321.7608	390.2784
95	484.3019584	483.360782	302.702	362.2784	556.6549
96	337.5254878	337.4078408	409.2902	318.5373	373.3373
97	385.5254878	354.4666643	447.2902	310.3961	355.3843
98	446.8666643	425.2666643	366.5843	319.1725	475.2196
99	442.7490173	446.4901937	324.0667	377.0549	472.8196
100	337.1254878	340.8666643	398.0902	290.8902	297.6902
101	530.8431349	510.160782	308.7961	395.6431	483.6431
102	348.5137231	383.360782	390.4196	312.7961	434.4902
103	340.0901937	360.2078408	377.5255	317.7843	366.5843
104	371.1725467	379.760782	284.349	343.8784	417.4784
105	360.8431349	343.8078408	405.6196	324.6078	392.6078
106	328.2078408	316.678429	431.7373	309.8784	365.7843
107	320.6313702	333.8078408	416.2314	308.4902	379.5961
108	355.4313702	373.5254878	315.2902	310.3255	338.5608
109	419.3137231	393.5019584	360.2314	312.2314	389.149
110	398.7490173	397.5490173	467.1255	294.1608	350.3961
111	300.5137231	315.8548996	312.0667	279.2431	363.2431
112	364.0196055	309.1019584	285.4078	259.8314	383.549
113	349.3843114	356.678429	327.0784	297.9961	344.9137
114	372.3019584	374.4901937	385.2196	346.4431	368.0667
115	336.2548996	329.1725467	328.702	274.8902	386.9373



Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
116	392.4431349	362.560782	260.2314	320.9373	445.4784
117	446.4666643	451.478429	354.2549	384.2314	453.1961
118	430.5137231	446.1372525	390.4902	362.2314	446.9373
119	375.0078408	372.2548996	241.2902	304.6549	433.1725
120	353.9725467	361.0078408	415.549	296.3255	375.6196
121	448.1137231	454.5137231	361.6902	345.1725	406.8667
122	373.7843114	344.5372525	325.1255	274.5137	378.4902
123	364.9137231	362.9843114	289.2902	323.6196	478.2078
124	390.6548996	345.5490173	391.1255	313.8078	393.0784
125	401.5490173	406.7490173	277.549	312.2078	356.5608
126	413.1019584	414.1843114	421.6431	344.1137	524.4196
127	437.0548996	417.9254878	342.9373	341.0314	457.3373
128	391.7843114	390.4196055	332.9843	278.8902	354.3725
129	344.4666643	306.8431349	354.6078	274.5608	425.502
130	416.4431349	418.4666643	404.2784	293.0784	377.4784
131	346.9843114	351.0078408	368.6784	333.2196	412.8196
132	351.9019584	368.278429	263.4549	341.549	426.5608
133	301.0548996	275.078429	352.2078	307.0549	383.0784
134	335.1490173	312.160782	361.0784	240.4196	425.8784
135	407.5960761	409.360782	330.2314	305.0078	364.1843
136	432.6548996	408.2548996	358.9843	334.349	430.0667
137	343.878429	343.9960761	349.9725	316.8431	379.0078
138	463.760782	485.878429	452.302	368.0667	454.0431
139	288.3019584	291.878429	272.302	260.1373	398.5373
140	382.3254878	384.960782	343.0078	346.1373	477.6196
141	369.2901937	400.9372525	379.6196	361.4314	432.5608
142	409.360782	400.1843114	376.9608	340.9373	419.8784
143	264.160782	270.1372525	382.9843	216.9137	299.149
144	369.2431349	363.4313702	429.3843	347.2902	365.4078
145	410.2548996	424.6078408	391.9961	323.149	422.5843
146	513.7372525	484.2313702	341.1725	349.0078	437.9725
147	310.0196055	271.1725467	343.8784	250.749	328.5843
148	322.3960761	304.9372525	469.9725	261.0549	363.2667
149	497.360782	493.1725467	418.0431	376.6078	515.902
150	400.160782	395.8313702	346.3961	304.2314	435.902
151	371.078429	370.160782	286.0431	282.8902	354.4667
152	399.2901937	423.760782	296.0667	324.4667	477.2667
153	473.5019584	425.5725467	367.9255	372.5843	488.8902
154	331.478429	323.4078408	316.9608	294.3725	444.2314

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
155	472.6313702	484.7960761	317.8078	363.3608	525.5725
156	379.878429	384.7490173	376.3255	337.2431	421.2196
157	382.8901937	372.3725467	381.9255	326.749	423.2431
158	342.2078408	343.078429	367.3373	296.3961	416.5608
159	384.278429	395.8548996	406.7961	371.4784	435.4549
160	328.8431349	295.1490173	448.4902	260.3255	322.4667
161	395.1019584	387.1490173	402.8196	284.6549	379.6902
162	424.7960761	438.5137231	446.3255	335.502	466.0196
163	345.478429	351.078429	335.1255	332.0902	411.8078
164	382.8901937	353.5254878	375.2902	309.9961	352.4902
165	340.5843114	330.3960761	337.3608	290.2549	305.502
166	405.9960761	393.4548996	401.6431	298.9137	406.9373
167	258.7254878	235.8313702	454.1843	258.4196	303.0784
168	300.6313702	298.278429	372.9608	282.8902	317.4549
169	322.160782	342.5843114	362.4431	297.1725	323.1255
170	331.8548996	329.1254878	411.9961	300.5608	375.7843
171	336.2313702	328.3019584	502.302	322.6078	386.6784
172	307.9019584	333.8548996	381.2667	291.9255	332.8431
173	391.6666643	402.278429	374.8431	354.9843	413.2431
174	342.8666643	346.9372525	314.3255	282.4667	308.3725
175	277.1960761	318.560782	333.1961	269.5255	349.8784
176	321.0313702	315.360782	375.0549	292.302	397.8784
177	316.7019584	311.0313702	438.6078	239.549	283.0549
178	459.078429	474.7960761	331.9255	339.5961	413.0078
179	316.0196055	321.9960761	279.1255	279.3843	376.7255
180	407.3843114	382.4431349	382.3961	295.2667	399.502
181	340.7725467	311.4313702	335.0078	307.949	375.5961
182	372.7019584	351.6666643	421.0784	288.749	389.8314
183	375.5960761	375.4313702	350.7255	305.549	415.2431
184	344.5137231	322.5372525	432.8902	296.2314	293.6902
185	387.9725467	377.2666643	332.6078	310.4196	373.6196
186	440.4431349	399.9019584	309.7137	355.5961	523.902
187	396.1372525	409.8313702	438.7725	336.4667	497.8078
188	304.0666643	325.2196055	407.2431	294.4667	231.7843
189	337.4313702	325.9019584	295.7608	318.6549	345.7137
190	343.078429	364.4901937	272.1373	306.7961	472.8667
191	345.478429	342.8666643	311.8078	264.1608	458.8196
192	363.1019584	346.9372526	395.3373	325.6667	382.3255
193	356.7490173	391.0313702	244.8902	298.7725	374.8196

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
194	368.9372526	350.5843114	366.6314	275.7843	333.0078
195	436.1137231	457.2431349	246.7255	334.9137	395.8314
196	278.7725467	279.360782	262.1137	260.5608	310.3255
197	332.0431349	327.7137231	364.4431	305.5725	409.549
198	366.3960761	359.760782	371.4549	260.5137	389.4784
199	303.2431349	318.4901937	356.0902	278.6314	335.4078
200	262.6078408	245.478429	321.2902	208.4196	344.2784
201	387.6901937	402.3960761	416.4902	330.702	341.6431
202	355.9960761	377.5725467	395.949	279.4784	367.102
203	382.0431349	354.9843114	332.0196	297.4784	386.3961
204	371.078429	378.3725467	441.9255	264.302	287.949
205	417.5254878	413.3843114	325.149	322.3255	410.2314
206	337.2901937	321.9019584	345.2196	297.2431	492.2078
207	449.5254878	444.4901937	440.7725	289.9725	312.4902
208	377.878429	367.8078408	490.5843	308.2549	393.6902
209	440.0196055	445.6431349	348.1373	410.349	437.4314
210	433.9019584	437.9960761	367.9725	333.7843	473.0784
211	321.9019584	323.6431349	371.3608	313.0314	368.8667
212	422.7725467	370.678429	396.8196	358.5843	406.5843
213	474.278429	487.2901937	305.0314	379.0314	554.7961
214	317.5254878	325.478429	356.0431	287.6431	334.0431
215	362.1372525	356.7725467	379.7137	242.1373	409.3843
216	401.478429	372.960782	373.4784	332.8196	444.8902
217	379.0078408	370.4901937	373.9255	291.1725	444.9137
218	382.7254878	387.9254878	322.6314	343.2431	460.6549
219	409.3137231	386.6548996	403.7137	338.1373	438.1843
220	349.078429	337.1254878	405.7608	286.4902	293.9255
221	367.1960761	355.1960761	346.4667	336.4667	368.8431
222	403.6666643	413.760782	399.1961	321.949	431.4784
223	455.0548996	451.760782	338.7255	360.349	438.5608
224	333.9490173	336.0901937	389.3137	230.5373	329.8078
225	382.7960761	382.6313702	439.8549	318.302	441.6431
226	428.0901937	421.6431349	376.4196	362.1373	428.302
227	374.1843114	346.1372526	317.6667	310.349	365.2902
228	320.5843114	305.1019584	422.0902	277.6196	291.949
229	391.3843114	388.6548996	334.6784	303.949	322.2314
230	357.7372526	346.5137231	382.2314	321.7608	369.3843
231	408.960782	413.9960761	388.4431	342.749	384.3961
232	311.1490173	322.8666643	300.9608	277.7608	373.9255

Area 0	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
233	365.8078408	369.9960761	301.902	307.6667	472.349
234	336.560782	336.4901937	305.5725	287.9961	356.4667
235	409.1254878	405.7372525	341.0784	344.4196	455.6196
236	457.7137231	460.7960761	345.5725	341.7843	396.6784
237	444.3254878	471.0313702	401.8078	359.3373	478.6549
238	392.3490173	375.8078408	350.0196	286.2549	372.6314
239	389.360782	394.1137231	355.8549	347.6667	427.4314
240	337.1960761	341.5019584	481.949	295.6431	418.4667
241	430.5137231	429.6196055	441.502	347.8784	465.502
242	430.960782	421.8078408	352.3725	333.0314	387.549
243	258.678429	222.8196055	458.2549	238.6549	164.3255
244	334.0196055	319.3137231	343.3608	243.549	372.9804
245	421.0548996	411.5019584	335.1961	344.3725	344.2078
246	450.5372525	454.1372525	398.8196	348.3961	408.4431
247	382.6313702	403.2196055	418.8902	347.0314	455.549
248	348.2313702	307.2431349	333.0549	263.8549	486.1608
249	355.4548996	333.9490173	348.302	295.5961	341.5961
Total (s)	93483.8	92442.58	91249.97	77762.84	98891.87
Total (jam)	25.9677	25.67849	25.34721	21.60079	27.46996
Rata-rata	375.437	371.2553	366.4657	312.3006	397.1561

**Lampiran 3. Rekapitulasi Hasil Simulasi Terhadap *Order-Picking Travel Time* (Area 1) (Satuan: Detik)**

Area 1	Eksisting	Skenario 1	Skenario 2	Skenario 3	Skenario 4
1	236.6117645	210.4	257.6941	322.6353	252.2824
2	288.0117645	277.1882	268.3882	375.1176	261.0941
3	275.2588233	258.5529	254.4118	406.6471	271.7294
4	280.3882351	260.7647	266.1765	356.3412	258.2706
5	295.3999998	281	225.2353	374.9765	258.5529
6	300.9529409	262.9294	259.4	334.8824	287.1647
7	281.1411762	254.6471	263.2588	358.4118	274.4118
8	297.7999998	254.2706	282.7412	362.7882	272.2941
9	254.2235292	255.4941	237.4706	364.2471	257.7059
10	280.0117645	263.4	275.2588	385.4706	288.2471
11	282.0352939	254.2235	266.4118	376.6235	287.0235
12	310.9764704	268.3882	232.1059	373.9412	267.2118
13	268.5294115	257.6588	254.4588	352.1059	255.4471
14	267.9647056	269.8941	236.0588	391.1176	267.4
15	271.9176468	261.6118	252.7176	351.7765	256.8118
16	286.2235292	255.2588	268.1529	364.3882	273.4706
17	258.4117645	248.7647	273.7059	316.6706	240.2471
18	311.0235292	271.7294	223.6353	408.6706	266.6
19	281.6117645	239.7294	233.1412	357.9412	268.8588
20	288.1999998	235.0235	261.4235	323.3059	238.1765
21	295.9647056	260.8588	278.7882	364.7647	294.3176
22	285.1411762	262.1765	246.3647	339.3059	256.5765
23	270.270588	261.5647	264.2	395.5882	286.7412
24	294.6470586	256.5765	250.3176	363.7294	254.7882
25	289.6588233	288.3882	261.6118	371.9647	264.7647
26	317.0941174	264.9059	286.9765	361.8	292.8588
27	297.3294115	268.9529	246.2235	389.9882	287.0706
28	282.5529409	250.1294	262.7412	380.0118	278.2235
29	266.9764704	253.7059	243.6353	359.4941	243.4471
30	281.5647056	254.0824	275.7765	358.8824	272.2941
31	287.4470586	247.1176	255.4471	359.5412	276.3412
32	288.8588233	267.4471	259.7765	356.2941	289.7529
33	284.1999998	255.3529	256.5294	407.4	299.2588
34	281.470588	238.0353	258.1765	373.6588	259.9647
35	292.4352939	245.9882	227.0235	328.2471	245.9412
36	302.4117645	252.7176	264.8588	372.5294	247.8706
37	268.4352939	237.5647	274.1765	368.2471	245.8471

38	293.1411762	260.8588	275.5882	318.8824	254.6
39	243.9176468	254.7882	273.1882	361.9412	263.4471
40	296.0117645	257.6118	240.3882	329.3294	264.6706
41	270.0352939	261.6118	255.9647	351.9176	266.0353
42	281.7058821	251.5882	249.5176	423.1647	306.1294
43	296.7176468	227.2118	260.6235	331.8235	273.9412
44	306.3647056	269	291.1176	402.2706	268.0118
45	298.7411762	262.7412	245.6588	365.8471	281.4235
46	263.8235292	264.0118	252.7647	379.6353	281.6118
47	284.0588233	254.7882	256.7647	369.5647	292.9529
48	315.3058821	232.2941	252.5765	310.6	257.1412
49	285.9411762	230.9294	265.9882	320.8588	244.6706
50	277.1411762	226.2706	274.7882	301.0941	254.5059
51	288.670588	264.2	265.1412	377.5647	267.5412
52	285.1411762	251.6824	255.4941	325.6118	282.9765
53	280.1999998	262.0824	253.4706	370.6	273.2824
54	274.5529409	275.6824	266.4118	376.8588	261.8471
55	294.9764704	247.9647	240.2941	338.9765	282.6
56	263.9647056	277.8471	261.2353	388.4824	291.2588
57	263.6823527	251.6353	270.1294	359.8706	269.5176
58	291.5882351	261.0471	228.3412	317.8	271.0235
59	292.0117645	253.8471	232.0588	356.1529	280.0118
60	280.9999998	250.3647	256.0588	319.0706	269.7529
61	311.4470586	285.9882	261.4235	361.7529	263.4
62	275.1176468	263.0235	260.9529	365.3294	273.8941
63	290.8823527	261.2824	242.5059	361.6118	269.1882
64	281.7058821	265.9412	252.9059	362.5059	281.8471
65	291.2117645	258.6471	262.8353	380.4353	266.6471
66	300.1058821	260.7176	254.6	355.5882	253.5647
67	289.3294115	248.0118	228.2471	329.8941	247.7294
68	293.7058821	264.1529	256.0118	394.7882	303.6824
69	284.3411762	245.3765	228.7176	320.9059	257.7059
70	306.9764704	260.1529	255.6353	359.3059	284.2471
71	273.3764704	232.9059	263.1647	346.7882	247.4
72	271.3529409	239.2588	244.1529	359.5882	274.4588
73	300.8588233	272.5294	250.6	347.9647	247.9647
74	276.5764704	259.4941	267.9176	370.8353	273.3765
75	279.2117645	276.1529	246.9294	401.1412	266.5529
76	270.3176468	257.8471	265.0941	355.2588	260.5765
77	272.8588233	251.4471	255.1647	376.2941	295.8706

78	287.9647056	263.2588	241.1882	380.6706	268.7176
79	278.3176468	269.6118	293.1412	337.8941	261.8471
80	285.3294115	266.4118	267.6353	357.2353	285.2353
81	288.7647056	272.1529	279.8235	390.4118	264.2
82	289.7529409	240.6235	256.3882	365.9412	261.8941
83	283.8235292	276.8118	265	341.7529	274.5059
84	266.5999998	257.6118	260.1059	368.6706	293.1882
85	285.7529409	274.3647	256.4353	387.4	269.2824
86	291.3058821	292.8118	272.0118	377.4706	286.4588
87	271.1647056	253.6118	248.6706	389.3294	266.1765
88	269.8470586	237	267.0235	354.0353	266.2235
89	298.1294115	266.1294	262.6	379.9176	281.8471
90	308.9529409	293.8471	259.5882	382.4588	319.4941
91	288.4823527	274.9294	252.6235	383.4	270.7412
92	293.7529409	236.5294	267.0235	336.3412	242.2235
93	272.0588233	266.0353	271.2588	374.1294	276.7647
94	269.1411762	283.6824	258.5059	384.0118	264.3882
95	272.1999998	273.5647	230.3176	365.4706	271.1176
96	284.4823527	251.0706	255.7294	365.5647	267.0235
97	271.3529409	260.5294	259.5412	372.1059	273.7529
98	291.1176468	257.5176	255.3059	344.3882	270.2235
99	307.4941174	267.7294	243.4471	328.8588	285.4706
100	285.3764704	258.4588	269.1412	337.9882	284.7176
101	310.2235292	249.8471	270.4588	341.7529	281.7059
102	251.9176468	241.1882	258.6941	352.8588	252.5765
103	295.6352939	261.5647	268.5765	394.9765	276.8118
104	263.9647056	255.0706	260.0588	375.5882	287.3059
105	261.4235292	272.5294	245	355.7765	264.9059
106	278.0352939	246.3647	252.0118	371.0235	258.5059
107	280.1529409	240.1059	230.2706	311.0235	244.1529
108	276.5294115	239.0706	242.2235	371.4	278.9765
109	310.1294115	241	227.0235	312.9529	276.0118
110	273.4235292	250.8824	245.3294	391.8706	283.5412
111	272.5764704	237.8	223.7765	356.1059	261.4235
112	281.6588233	253.6118	249	361.2353	255.0235
113	296.3411762	263.1647	235.1176	350.9294	260.6235
114	293.7058821	238.3176	263.4	422.1294	287.8706
115	303.5882351	261.9412	267.9647	352.8118	287.2118
116	285.0470586	280.6235	232.5765	362.8353	286.4588
117	284.4823527	271.5882	233.7059	370.4118	272.7176

118	290.270588	253.2824	269.1882	341.3294	277.0941
119	265.7058821	243.4471	253.6118	334.0353	263.8235
120	262.2235292	249.2353	249.9882	362.6471	268.2471
121	278.4588233	219.1647	253.5176	362.1765	269.7059
122	290.0823527	282.7882	247.4941	421.8	281.6118
123	294.0352939	239.0235	228.4353	384.1529	263.7294
124	276.8588233	248.2	252.0588	353.5647	278.1294
125	293.1882351	243.7765	259.7765	377.2353	275.1176
126	268.2470586	236.6235	262.8353	348.4353	268.5294
127	258.9764704	239.8235	253.6588	381.2824	280.5294
128	288.9529409	260.7176	253.5647	337.0471	280.2471
129	276.5764704	255.4471	232.4824	373.8	280.9059
130	306.0823527	276.3412	272.5765	354.5529	274.6
131	288.1058821	236.9529	249.9412	296.6235	243.0706
132	299.070588	248.1059	257.4235	355.4471	269.8
133	303.4470586	265.8941	259.4	395.2588	260.2471
134	290.4588233	263.4471	263.9647	381.4235	284.4824
135	270.9764704	269.8	260.3412	332.2941	252.2941
136	267.1176468	282.4118	263.6824	390.5059	262.2706
137	279.3058821	242.8353	241.2824	332.8588	275.3529
138	256.1999998	268.9529	264.3412	311.0235	278.4118
139	280.1529409	269.0471	253.8471	368.6235	263.1176
140	280.5294115	235.9176	254.3176	340.8588	281.2353
141	309.3294115	293.9882	273.1412	389.8471	286.7882
142	264.0117645	259.0235	227.0706	334.0353	283.9647
143	291.9176468	271.0706	238.9765	370.7882	292.1059
144	260.670588	226.8353	254.1765	351.4	269.5176
145	275.3058821	257.8	262.2706	355.2588	276.2941
146	289.8941174	265.8941	260.9529	371.1176	259.4
147	273.2352939	239.0706	239.0706	315.1176	266.0353
148	291.1176468	280.2941	252.3882	329.6118	259.2588
149	293.2352939	275.0235	265.0941	384.7647	269.6588
150	265.4235292	237.3765	250.2235	353.3765	254.2706
151	260.2470586	269.7059	257.8941	371.4	281.7529
152	267.7294115	262.4588	242.9294	370.3176	261.7059
153	280.9058821	263.2588	259.8706	377.6118	289.0941
154	272.4352939	276.0118	234.8353	381.8	263.2118
155	287.4941174	253.4706	261.9412	377.0471	257.9412
156	282.5999998	244.8118	247.2118	361.1882	283.5882
157	292.4823527	274.4118	260.0588	384.4824	279.1647



158	281.470588	248.4353	273.8471	368.2941	243.8235
159	289.1882351	246.8824	248.3882	385.7059	283.8706
160	284.2941174	264.9059	242.9765	387.2588	273.5176
161	277.6117645	258.3176	255.4941	371.5412	270.4118
162	268.5294115	244.5765	255.5882	340.3882	294.6941
163	269.9882351	244.1529	248.8118	345.9882	267.6353
164	282.270588	243.8706	258.6471	369.4235	274.6471
165	288.9529409	253.6588	247.4941	343.4941	264.3882
166	272.8588233	266.8353	248.6706	391.3529	279.4941
167	294.6470586	267.1647	240.9059	376.9059	285.8941
168	284.7647056	283.4	277.9882	377.9882	300.2471
169	286.5529409	234.9765	223.1176	334.6471	268.2471
170	269.7999998	223.1176	254.5529	393.6118	290.9765
171	289.2823527	264.4353	276.5294	331.3059	261.7059
172	269.0941174	266.6941	240.8588	337.4706	259.0706
173	281.8470586	277.8	239.4941	389.3294	278.1765
174	292.7647056	263.9647	243.4941	386.2235	281.8471
175	282.4117645	282.3647	249.2824	351.2118	280.6706
176	292.670588	251.3059	251.7765	371.8706	277.8471
177	281.4235292	232.3882	233.8471	335.1176	236.6235
178	283.9647056	261.4235	262.0353	348.7647	281.9882
179	267.0235292	238.6941	265.0471	338.0824	246.5059
180	270.4117645	247.8235	261.1882	355.7765	260.2
181	269.2823527	263.4941	235.4	348.6706	273.0941
182	268.3411762	257.2824	255.1647	400.8588	269.7059
183	296.0588233	254.0824	255.3529	401.5176	297.7529
184	265.7999998	259.9176	236.0588	341.1412	285.0471
185	297.9411762	257.0471	259.0235	359.4941	309.6588
186	306.2235292	246.7412	276.4353	341.5647	255.0706
187	285.6117645	250.3176	278.1294	371.4	273.1412
188	307.4941174	263.4	258.1765	355.3529	249.8941
189	264.1058821	241.5647	245.4706	332.5294	233.7529
190	258.5999998	259.3059	232.7647	297.7059	218.9765
191	271.8235292	226.3647	264.5765	361.4706	256.1059
192	281.3294115	257.5647	238.9765	404.6235	293.6588
193	286.4588233	248.0588	252.7176	348.8588	265
194	286.5058821	257.6588	248.1529	354.5529	241.8471
195	260.670588	262.7412	244.7647	340.2941	266.7412
196	292.5764704	255.4471	277.9412	364.2471	264.5294
197	269.5647056	255.2588	240.2941	331.7765	285.7059

198	280.670588	240.7647	237.8	319.0235	259.3059
199	285.3294115	233.3294	259.1176	366.8353	252.3412
200	276.5764704	250.3647	238.9765	369.3765	238.5529
201	268.5294115	252.2	246.8353	367.7765	278.1765
202	294.1764704	270.7412	249.7059	358.6471	285.5176
203	291.3058821	249.7529	245.1412	339.3059	271.4941
204	267.5882351	249.3765	264.5765	350.9765	236.9529
205	291.6823527	254.2235	229.0471	335.8706	249.1412
206	279.5411762	267.4471	261.0941	358.2706	264.8588
207	256.7647056	262.0353	238.9765	382.0824	268.0118
208	282.3176468	253.0471	231.3059	362.1294	286.2706
209	251.0235292	250.5059	264.9529	368.8588	261
210	310.4117645	272.3882	265.3765	373.6588	249
211	291.4941174	265.0471	233.4235	362.7882	275.2118
212	256.7647056	225.5647	227.9647	365.3294	276.3882
213	273.5647056	244.4824	265.6118	350.6471	257.9882
214	281.9882351	259.5412	242.1765	364.5294	262.9294
215	261.0941174	250.9294	223.5412	384.4353	279.4
216	279.6823527	272.4353	252.2	361.9412	241.5647
217	300.670588	250.9294	265.1882	371.5412	276.9529
218	279.1176468	256.1529	259.7765	388.3412	268.4824
219	294.9294115	284.6706	266.9294	325.4706	241.1412
220	269.0941174	281.2353	248.3412	393.7529	279.5412
221	280.1058821	285	246.4588	363.4471	266.5059
222	276.7176468	243.4941	263.9176	356.9059	273.2824
223	269.8941174	247.2118	249.6118	380.5765	282.5529
224	289.0470586	280.8118	253.6118	362.2706	271.8706
225	302.6470586	273.0941	238.4588	379.6824	276.6235
226	269.5647056	239.5882	247.3059	374.9765	289.9412
227	303.1176468	236.2	247.4	350.5059	279.1176
228	289.6117645	256.6235	246.7412	376.3882	270.6941
229	295.870588	238.7882	252.2	392.8588	278.0353
230	270.9294115	247.4941	249.0941	388.6235	287.8235
231	276.4823527	237.4706	281.0471	370.1294	298.5529
232	284.5764704	223.6824	260.7647	370.2706	284.0118
233	282.270588	244.8588	279.4941	360.0588	278.8353
234	286.6941174	262.3176	232.0118	335.4	245.8
235	283.9176468	254.4118	253.1882	321.6118	255.8706
236	263.0235292	263.7294	241.6588	351.4471	288.1059
237	269.9411762	259.8235	244.9529	391.0235	258.2235

238	273.5647056	235.2118	243.1176	343.9647	254.6
239	289.8941174	241.8941	269.2824	379.8235	292.0118
240	294.5529409	260.3412	260.3412	355.7765	285.2353
241	271.9176468	242.8353	228.6235	326.8824	272.9529
242	269.470588	246.1765	269.5176	376.7647	286.9765
243	256.8117645	273.9412	245.9412	375.4471	281.9412
244	268.6235292	257.3294	253.8941	395.4471	272.6235
245	287.3999998	244.2471	252.9529	351.4	281.4235
246	268.8117645	231.0706	249.7529	353.8941	293.8
247	277.470588	260.8588	261.5176	381.7059	272.3882
248	263.6823527	239.6353	261.2353	390.4588	264.7176
249	279.3058821	264.3412	239.9647	413	274.4118
Total (s)	70234.73	63813.27	63209.98	90114.82	67395.06
Total (jam)	19.50965	17.72591	17.55833	25.0319	18.72085
Rata-rata	282.0671	256.2782	253.8553	361.9069	270.6629

## DAFTAR PUSTAKA

- Arnold, J. R. T., Chapman, S. N. & Clive, L. M., 2008. *Introduction to Materials Management*. 6th ed. s.l.:Pearson Prentice Hall.
- Ballou, R. H., 2007. *Business Logistics/Supply Chain Management*. 5th ed. s.l.:Pearson.
- Bartholdi, J. J. & Hackman, S. T., 2014. *Warehouse & Distribution Science : Release 0.96*. School of Industrial and Systems Engineering: Georgia Institute of Technology.
- Bryant, B. J., 2017. *Production Planning Steps*. [Online] Available at: <https://bizfluent.com/way-5305043-production-planning-steps.html>
- Harrel, C., Ghosh, B. K. & Bowden, R., 2004. *Simulation Using ProModel*. 2nd ed. s.l.:McGraw-Hill/Higher Education.
- Karasek, J., 2013. An Overview of Warehouse Optimization. *International Journal of Advances in Telecommunications Electrotechnics, Signals, and System*, 2(3).
- Lamberts, S., 2005. *Design and Control of Efficient Order Picking Processes*, s.l.: Tho Le-Duc.
- Law, A. M., 2015. *Simulation Modelling & Analysis*. 5th ed. s.l.:McGraw-Hill Education.
- Lorenc, A., 2019. Effectiveness of product storage policy according to classification criteria and. *FME Transactions*, Volume 47, pp. 142-150.
- Ming-Huang, D., Lin, C.-P. & Chen, M.-C., 2011. The adaptive approach for storage assignment by mining data of. *Enterprise Information Systems*, 5(2), p. 219–234.
- Muller, M., 2019. *Essentials of Inventory Management*. 3rd ed. s.l.:HarperCollins Leadership.
- Richards, G., 2011. *Warehouse Management : A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Cost in the Modern Warehouse*. s.l.:Kogan Page Limited.

Robinson, S., 2014. *Simulation : The Practice of Model Development and Use*. 2nd ed. s.l.:Palgrave Macmilan.

Sooksaksun, N., Kachitvichyanukul, V. & Gong, D.-C., 2012. A class-based storage warehouse design using. *Int. J. Operational Research*, XIII(2), pp. 219-237.

Wibowo, A. D., Nurcahyo, R. & Khairunnisa, C., 2016. WAREHOUSE LAYOUT DESIGN USING SHARED STORAGE METHOD. *Proceeding of 9thInternational Seminar on Industrial Engineering and Management*.