

**RANCANGAN RACKING SELECTION MODEL DAN DESAIN
WAREHOUSE UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PADA
E-FULFILLMENT CENTER**

Nia Novitasari¹⁾, Erlangga Bayu Setyawan²⁾, Prafajar Suksessanno Muttaqin³⁾

Jurusan Teknik Logistik, Universitas Telkom

Email: novitasarinia@telkomuniversity.ac.id¹⁾, erlanggabs@telkomuniversity.ac.id²⁾, prafajars@telkomuniversity.ac.id³⁾

ABSTRAK

Supply Chain Management (SCM) memiliki peranan penting dalam pemenuhan permintaan dari upstream hingga downstream. Adanya perkembangan budaya belanja masyarakat dari konvensional beralih menjadi online atau e-commerce mendorong terjadinya perubahan dalam sistem SCM pula, terutama pada downstream supply chain. Perubahan signifikan yang terlihat adalah pada gudang. Pada dasarnya gudang berfungsi sebagai tempat penyimpanan barang sebelum diterima oleh konsumen. Namun, dengan berkembangnya e-commerce dibutuhkan tempat penyimpanan yang dapat menghemat waktu serta memiliki pelayanan dan pengelolaan yang lebih modern yang disebut fulfillment center. Adapun aspek yang dipertimbangkan untuk memperbaiki pelayanan dan pengelolaan fulfillment center yaitu Material Handling Equipment (MHE), Space yang tersedia, jenis storage, Flow & Rotation, personel, dan management company. Pada penelitian ini bertujuan untuk perancangan perbaikan desain warehouse dengan mempertimbangkan racking selection model untuk memaksimalkan jumlah pallet position.

Kata kunci: *Desain Warehouse, Fulfillment Center, Racking System*

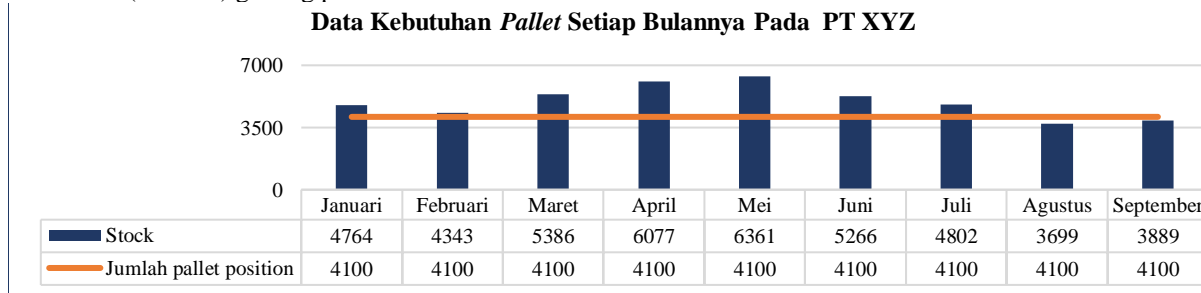
Pendahuluan

Supply Chain Management (SCM) adalah suatu kegiatan yang berhubungan dengan aliran pendistribusian barang dari upstream hingga downstream. Kegiatan ini berperan penting untuk melakukan pemenuhan permintaan. Terdapat dua jenis permintaan yang harus dipenuhi yaitu, pemenuhan permintaan pada upstream supply chain dan pemenuhan permintaan pada downstream supply chain. pemenuhan permintaan pada upstream supply chain adalah pemenuhan permintaan untuk proses produksi. Pemenuhan permintaan pada downstream supply chain adalah pemenuhan permintaan untuk proses distribusi ke konsumen [1], [2]. Berdasarkan data statistik menunjukkan adanya pergeseran budaya belanja masyarakat Indonesia mengalami perubahan yaitu budaya belanja konvensional yang beralih ke budaya belanja online atau disebut dengan e-commerce. Pergeseran ini ditunjukkan budaya ini ditunjukkan peningkatan persentase sebesar 17% dengan total jumlah usaha e-commerce mencapai 26,2 juta unit [3], [2]. Perkembangan e-commerce yang begitu pesat secara tidak langsung akan memicu perkembangan marketplace yang berperan sebagai wadah transaksi yaitu, aktivitas bertemunya penjual dengan pembeli. Marketplace memerlukan peran supply chain untuk menangani permintaan konsumen, sehingga berkembanglah istilah e-logistik. e-Logistik mengintegrasikan antara aktivitas logistik dengan beberapa aktivitas elektronik, seperti, pengelolaan permintaan dalam e-commerce dan pencatatan aktivitas logistik dalam sistem ERP yang bertujuan untuk meningkatkan pemenuhan permintaan yang datang dari konsumen.

Berekembangnya e-logistic ini menimbulkan beberapa perubahan, salah satunya pada downstream supply chain. Perubahan signifikan yang terlihat adalah pada gudang. Pada dasarnya gudang berfungsi sebagai tempat penyimpanan barang sebelum diterima oleh konsumen. Namun, dengan berkembangnya e-commerce dibutuhkan tempat penyimpanan yang dapat menghemat waktu serta memiliki pelayanan dan pengelolaan yang lebih modern [4]. Untuk melakukan perbaikan dari segala sisi sesuai dengan prinsip continuous improvement pada fulfillment center, terdapat beberapa aspek yang dipertimbangkan yaitu Material Handling Equipment (MHE), Space yang tersedia, jenis storage, flow & rotation, personel, dan management company [5].

Pada penelitian ini menggunakan studi kasus pada fulfillment center untuk produk FMCG. Fulfillment PT XYZ memiliki luas gudang 5000 m² yang dapat menampung 4100 pallet position. Berdasarkan stock yang ada, menunjukkan

kebutuhan pallet position setiap bulannya lebih dari daya tampung dari jumlah pallet position yang tersedia. Berikut merupakan data kebutuhan pallet setiap bulannya pada PT XYZ ditunjukkan pada Gambar 1. Pada gambar tersebut menunjukkan terjadinya over capacity pada bulan Januari, Februari, Maret, April, Mei, Juni, dan Juli. Sehingga dapat ditarik kesimpulan bahwa rata-rata kebutuhan pallet yang dibutuhkan sebanyak 4955 pallet position, sedangkan jumlah *pallet position* yang dapat ditampung sebanyak 4100 *pallet position*. Berdasarkan latar belakang yang telah dijabarkan sebelumnya, penelitian ini bertujuan Pada penelitian ini bertujuan untuk perancangan perbaikan desain warehouse dengan mempertimbangkan *racking selection model* untuk memaksimalkan jumlah *pallet position*, serta meningkatkan pemanfaatan (*utilisasi*) gudang pada PT XYZ.



Gambar 1. Data Kebutuhan *Pallet* Setiap Bulannya di PT XYZ

Metode Penelitian

Objek yang dikaji pada penelitian ini yaitu melakukan perancangan perbaikan desain warehouse dengan mempertimbangkan *racking selection model* untuk memaksimalkan jumlah pallet position, serta meningkatkan pemanfaatan (*utilisasi*) gudang pada PT XYZ. Untuk melakukan perencanaan tersebut dibutuhkan metodologi penelitian yang digunakan untuk mencapai tujuan penelitian. Metodologi penelitian berupa kerangka kerja yang digunakan sebagai dasar pemikiran, konsep, atau asumsi untuk mengorganisasikan dan melakukan pengelolaan dan memecahkan suatu permasalahan sehingga dapat menghasilkan tujuan yang akan dicapai yang ditunjukkan pada Gambar 2. Metodologi dibagi menjadi tiga tahap yaitu

1. Tahap Persiapan Pekerjaan

Tahapan persiapan pekerjaan adalah tahapan pendahuluann yang digunakan pada suatu penelitian. Tahapan ini meliputi perencanaan awal dan *mapping process business existing*. Perencanaan awal adalah tahapan yang diawali dari perumusan latar belakang, perumusan penelitian, hingga penentuan tujuan penelitian. Selain itu, pada tahap persiapan pekerjaan ini dilakukan *mapping process business existing*, yaitu aktivitas pencatatan bisnis proses perusahaan. *Mapping process business existing* bertujuan untuk mengetahui aktivitas dari barang masuk hingga barang keluar gudang.

2. Tahap Pengumpulan Data

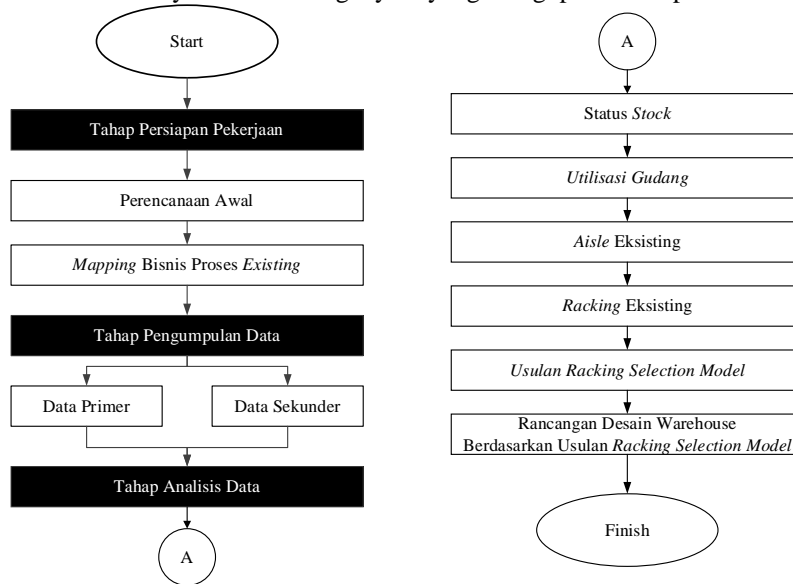
Tahap pengumpulan data yaitu tahapan untuk mengumpulkan data primer maupun sekunder yang digunakan untuk mendukung pengerjaan penelitian. Pengumpulan data ini dapat dilakukan secara langsung melalui pengamatan maupun data histori perusahaan. Data tersebut meliputi

- a) Data waktu pengamatan (waktu siklus untuk masing- masing kegiatan logistic).
- b) Data *resource* (jenis produk, jenis *material handling equipment*, jumlah *material handling equipment*, dan data lainnya, jenis *storage* yang digunakan).
- c) *Warehouse layout existing* (dimensi gudang, ukuran aisle, dan lain sebagainya).

3. Tahap Analisa Data

Tahap analisa data yaitu tahapan perhitungan dan tahapan Analisa yang dilakukan sesuai tujuan penelitian. Tahap Analisa ini terdiri dari perhitungan *stock* setiap bulang, agar mengetahui jumlah kebutuhan *pallet position* yang dibutuhkan. Menghitung *utilitas gudang* untuk mengetahui pemanfaat gudang yang telah digunakan. Menganalisa *racking* yang telah digunakan pada kondisi saat ini. Melakukan perhitungan untuk memberikan solusi penggunaan *rack* yang sesuai. Serta memberikan usulan terhadap desain *warehouse* yang meliputi desain *layout*.

Metode penelitian yang digunakan untuk racking selection model pada penelitian ini, menggunakan konsep *knapsack problem*. *Knapsack problem* merupakan suatu permasalahan optimasi yang digunakan untuk pengepakan barang yang dapat didefinisikan sebagai knapsack (wadah) dan objek (setiap objek bisa terdiri dari banyak barang) [6]. Konsep ini digunakan sebab, gudang PT XYZ terbagi menjadi 2 wilayah. Wilayah satu yaitu untuk produk *food*, dan wilayah dua adalah produk *non-food*. Sesuai wilayah ini, dapat digambarkan pembagian wilayah ini adalah sebagai wadah (knapsack) sedangkan didalam wilayah-wilayah dapat teri dari beberapa produk yang ada. Untuk melakukan perhitungan pada penelitian ini menggunakan solver LINGO. Setelah melakukan racking selection model selanjutnya adalah melakukan desain *warehouse* yaitu merancang layout yang mengoptimalkan pemanfaatan ruang (utilisasi).



Gambar 2. Metodologi Penelitian

Hasil dan Pembahasan

Perhitungan rata-rata penyimpanan produk pada penggunaan gudang berdasarkan jumlah *stock* pada bulan Januari sampai bulan September untuk setiap SKU's nya. *Stock* yang digunakan yaitu *stock* perbulan. Rumus yang digunakan untuk melakukan perhitungan *stock* pada Persamaan 1.

$$Stock = \text{Begin Inventory} + \text{Inbound} + \text{Delivery Order} \quad (1)$$

Berikut merupakan contoh perhitungan *stock* pada SKU's A21 untuk bulan januari pada kategori produk *food*.

$$Stock = 14 + 115085 - 48022 = 67077 \text{ karton}$$

Setelah melakukan perhitungan di atas, satuan per *carton* diubah menjadi satuan per *pallet*. Kapasitas produk dalam satu *pallet* pada SKU's A21 berjumlah 100 *carton*. Sehingga dapat diperoleh hasil *stock* sebanyak 671 *pallet*. Berikut perhitungan untuk memperoleh satuan *pallet*:

$$Stock \text{ per pallet} = \frac{\text{jumlah stock}}{\text{jumlah kapasitas per pallet}} = \frac{67077}{100} = 671 \text{ pallet}$$

Berdasarkan perhitungan setiap SKU untuk masing-masing kategori, maka diperoleh hasil 1648 *pallet* untuk kategori *food* dan 3307 *pallet* untuk kategori *non-food*. Maka total kebutuhan *pallet position* sebanyak 4955 *pallet*.

Nilai maksimal utilisasi pada gudang yaitu mencapai angka 80% dari luas gudang yang ada [7]. Luas gudang pada PT XYZ yaitu sebesar 5000 m². Perhitungan utilisasi gudang ini mempertimbangkan tiga aspek, yaitu panjang, lebar, dan tinggi ruangan. Persamaan 2. merupakan formulasi untuk perhitungan utilisasi Gudang. Hasil perhitungan utilisasi Gudang dapat dilihat pada Tabel 1.

$$Utilisasi \text{ luas gudang} = \frac{\text{luas lantai yang terpakai}}{\text{luas lantai gudang yang tersedia}} \quad (2)$$

Tabel 1. Hasil Perhitungan Utilisasi Gudang

Deskripsi	Kapasitas	Satuan	Persentase	Utilisasi
Luas <i>Rack</i>	2041,2	m ²	41%	53%
Luas <i>Staging Area</i>	460	m ²	9%	
Luas <i>Floor Stake</i>	118,56	m ²	2%	
Luas Lokasi <i>Reach Truck</i>	27,15	m ²	1%	

Ukuran yang ada pada kondisi eksisting berjumlah 3,5 meter. Lebar *aisle* dapat dicari melalui dua cara yaitu perhitungan manua yang berdasarkan MHE yang digunakan serta berdasarkan teori. Perhitungsn *aisle* tersebut menggunakan formulasi perhitungan pitagoras. Tabel 2. merupakan ukuran *aisle*. Persamaan 2 merupakan rumus pitagoras. Rumus pitagoras ini digunakan untuk mencari diagonal dari MHE yang digunakan yaitu *reach truk*. Hasil perhitungan data *across aisle* menunjukkan bahwa dimensi *aisle* yang akan digunakan yaitu 3,048 meter atau jika dibulatkan mnejadi 3,1 meter.

$$a^2 + b^2 = c^2 \tag{3}$$

Keterangan

a = Diagonal MHE

b = Panjang MHE

c = Lebar MHE

Contoh perhitungan mencari diagonal dari MHE

$$a^2 + b^2 = c^2$$

$$c = \sqrt{a^2 + b^2}$$

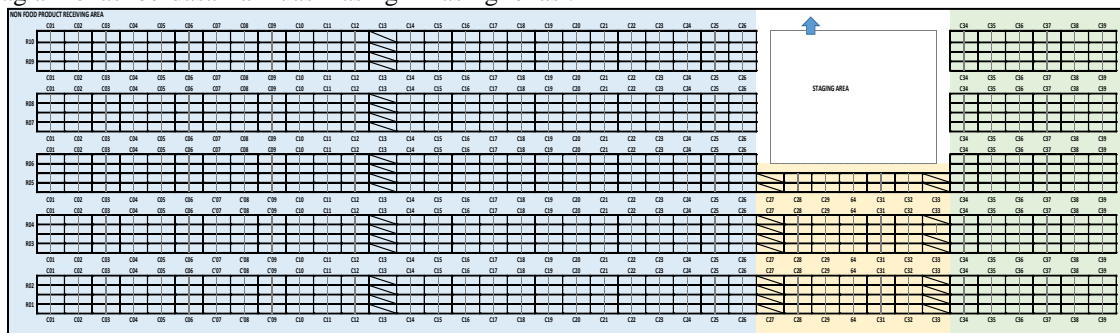
$$c = \sqrt{2185^2 + 1190^2}$$

$$c = 2489$$

Tabel 1. Ukuran *Aisle*

Perhitungan manual			Teori [6]
Panjang MHE	Lebar MHE	<i>Aisle</i> (Diagonal MHE)	
2185 mm	1190 mm	2489 mm	<i>Pick aisle</i> : 2,438 meter <i>Across aisle</i> : 3,048 meter

Pembagian lokasi dibagi menjadi tiga bagian. Lokasi 1 dengan luas ukuran 73, 775 m², lokasi 2 dengan ukuran luas 18,9 m² dan lokasi 3 dengan ukuran luas 19,775 m². Pembagian lokasi ini bertujuan untuk memudahkan perhitungan ketika menentukan jumlah maksimal dari *pallet position* pada setiap lokasi. Gambar 3. menunjukkan pembagian lokasi berdasarkan luas masing - masing lokasi.



Gambar 3. Pembagian Lokasi berdasarkan Luas Masing-Masing Lokasi

Keterangan

 : Lokasi 1 (73, 775 m)
 : Lokasi 2 (18,9 m)
 : Lokasi 3 (19,775 m)

Jenis rack yang dipilih yaitu *double deep rack*, *selective rack* dan *gravity rack*. Gambar 4. adalah visualisasi hasil perhitungan jumlah *pallet position* untuk masing – masing jenis *rack*. Parameter yang digunakan untuk menghitung jumlah *pallet position* untuk masing-masing layout antara lain

Panjang gudang = 112,45 meter Lebar *rack* = 2,1 meter
 Lebar gudang = 44,47 meter Ukuran *main aisle* = 3,1 meter
 Panjang *rack* = 2,7 meter

Dari parameter-parameter tersebut, maka diperoleh formulasi pada yang digunakan untuk memperoleh jumlah *aisle* dan jumlah *bay* maksimal. Persamaan 3. digunakan untuk menghitung *slot* berdasarkan panjang gudang. Hasil dari perhitungan jumlah *pallet position* digunakan sebagai dasar dalam perhitungan investasi. Tabel 3 menunjukkan investasi *rack* terpilih.

$$\text{Panjang gudang} = 3,1 a + 2,1 b = 3,1 (b + 1) + 2,1 b \quad (4)$$

Keterangan

a = Jumlah *aisle* (3,1 merupakan ukuran dari *aisle*)

b = Jumlah *bay* (2,1 merupakan ukuran dari *rack*)

	Slot (H)	Slot (V)	Aisle	Jumlah Pallet	Total	Panjang Lokasi (m)	Lebar Lokasi (m)	Luas Lokasi (m ²)
Lokasi 1	Level 1	52	16	32	800	73,775	44,47	3295,53
	Level 2	52	16	32				
	Level 3	52	16	0				
Lokasi 2	Level 1	14	8	32	80	18,9	24,07	454,923
	Level 2	14	8	32				
	Level 3	14	8	0				
Lokasi 3	Level 1	12	16	0	192	19,775	44,47	883,349
	Level 2	12	16	0				
	Level 3	12	16	0				
Total Pallet Position								3280

(a)

	Slot (H)	Slot (V)	Aisle	Jumlah Pallet	Total	Panjang Lokasi (m)	Lebar Lokasi (m)	Luas Lokasi (m ²)
Lokasi 1	Level 1	52	20	40	1000	73,775	44,47	3280,77
	Level 2	52	20	40				
	Level 3	52	20	0				
Lokasi 2	Level 1	14	10	40	100	18,9	23,87	556,33
	Level 2	14	10	40				
	Level 3	14	10	0				
Lokasi 3	Level 1	12	20	0	240	19,775	44,47	879,39
	Level 2	12	20	0				
	Level 3	12	20	0				
Total Pallet Position								4100

(b)

	Slot (H)	Slot (V)	Aisle	Jumlah Pallet	Total	Panjang Lokasi (m)	Lebar Lokasi (m)	Luas Lokasi (m ²)
Lokasi 1	Level 1	52	30	60	1500	73,775	44,47	3295,529
	Level 2	52	30	60				
	Level 3	52	30	60				
Lokasi 2	Level 1	14	15	60	150	18,9	24,07	454,923
	Level 2	14	15	60				
	Level 3	14	15	60				
Lokasi 3	Level 1	12	30	0	360	19,775	44,67	883,3493
	Level 2	12	30	0				
	Level 3	12	30	0				
Total Pallet Position								6030

(c)

Gambar 4. Hasil Perhitungan Jumlah Pallet Position untuk Masing - Masing Jenis *Rack*
 (a) *Selective Rack*, (b) *Double Deep Rack*; (c) *Gravity Rack*

Tabel 3. Investasi *Rack* Terpilih

Jenis <i>rack</i>	Investasi (rupiah) / <i>pallet</i>	Keterangan
<i>Double deep racking</i>	Rp 0,-	Menggunakan <i>racking system</i> yang sudah ada
<i>Selective racking</i>	Rp 0,-	
<i>Gravity racking</i>	Rp 280.035,-	Menambah komopnen <i>single steel wheel pallet flow rails</i>

Perhitungan *cross aisle* ini berdasarkan spesifikasi *material handling* yang digunakan, sehingga diperoleh hasil perhitungan ongkos *material handling*. Hasil perhitungan *cross aisle* dapat dilihat pada Tabel 4. Ongkos *Material Handling* (OMH) merupakan ongkos yang dikeluarkan untuk melakukan pemindahan produk dari satu tempat ketempat lain. Jenis *racking* yang digunakan sekarang yaitu *double deep*. Jenis *rack* ini memiliki kodefikasi seperti Gambar 5.

Tabel 4. Perhitungan *Cross Aisle*

<i>Rack</i>	Panjang <i>Rack</i>	Lebar <i>Rack</i>	Jumlah <i>Aisle</i>	Keliling	Biaya <i>Cross Aisle</i> (Rp./meter)	Biaya <i>Cross Aisle</i> (Rp. / <i>pallet</i>)
<i>Selective</i>	106,354	44,67	9	1001,856	Rp 29.604	Rp 39.965
<i>Double Deep</i>	106,354	44,67	6	682,794	Rp 20.176	Rp 27.238
<i>Gravity</i>	106,354	44,67	4	470,086	Rp 13.891	Rp 18.752



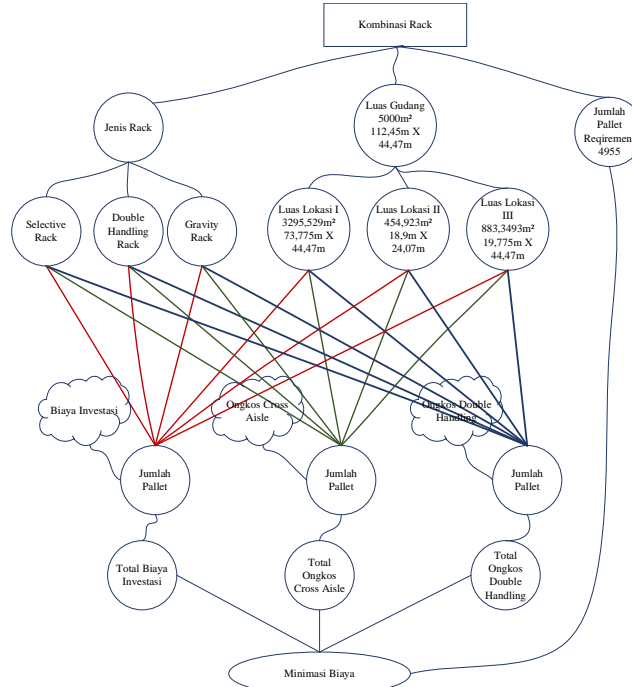
Gambar 5. Kodefikasi *Pallet Position* pada *Rack*

Kodefikasi pada Gambar 5. menunjukkan terjadi perbedaan waktu picking antara kode AB dan CD. Perbedaan tersebut terjadi karena adanya *waktu double handling* saat mengambil produk pada lokasi CD. Tabel 5. merupakan perhitungan ongkos *double handling* dengan cara sama menghitung *cross aisle* yaitu dengan menghitung OMH terlebih dahulu. Perbedaan perhitungan ini dengan perhitungan sebelumnya yaitu *double handling* menggunakan spesifikasi *material handling* berupa *lifting speed (laden)* yaitu kecepatan *material handling* tersebut mengangkat produk.

Tabel 5. Perhitungan OMH untuk *Double Handling*

	level 1	level 2	level 3
Kapasitas Battery (Ah)	280	280	280
Tegangan Battery (V)	48	48	48
Kapasitas Battery (W)	13440	13440	13440
Hoist Motor (W)	8000	8000	8000
Efficiency Conversion	0,7	0,7	0,7
Input Hoist Motor (W)	10400	10400	10400
Daya Tahan Battery (h)	1,292307692	1,292307692	1,292307692
Travel Speed (Laden) (km/h)	0,675	0,675	0,675
Jarak Tempuh (Km)	0,872307692	0,872307692	0,872307692
Jumlah <i>Double handling</i>	14538,46154	174,1133118	87,05665592
Daya Pengisian (Wh)	40320	40320	40320
Efisiensi Pengisian	70%	70%	70%
Power Req.	52416	52416	52416
Price Per kWh	3100	3100	3100
Biaya Pengisian Per Accu	Rp 162.490	Rp 162.490	Rp 162.490
Harga <i>double handling per pallet</i>	Rp 11	Rp 933	Rp 1.866

Perancangan usulan perbaikan diawali dengan menentukan *influence diagram model* seperti pada Gambar 6. Pada permasalahan yang ada pada PT XYZ, fungsi tujuan dari model matematika yang digunakan yaitu untuk menyelesaikan permasalahan yaitu pengkombinasian jenis *rack* untuk memenuhi kapasitas gudang sebesar 4955 *pallet position* dengan memperhitungkan biaya investasi, ongkos *cross aisle*, dan ongkos *double handling* yang rendah. Persamaan 5. menunjukkan model matematika yang sesuai.



Gambar 6. *Influence Diagram Model Usulan Perbaikan*

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} \tag{5}$$

Keterangan

- i = Item i
- j = Item j
- m = Number of knapsacks
- n = Number of items
- p_j = Investasi of item i
- x_{ij} = Solusi optimal j in knapsack i .

Sedangkan, pada penelitian ini menggunakan *Multiple Knapsack Problem (MKP)*. MKP merupakan sebuah metode *knapsack* untuk menetapkan permasalahan subset dari item n untuk m (wadah) yang berbeda, sehingga total keuntungan yang diperoleh dapat dimaksimalkan tanpa melebihi kapasitas dari wadah yang disediakan [6]. Perumusan model matematika yang digunakan yaitu minimasi seperti pada Persamaan 6. Karena tujuan utama yaitu mencari kombinasi *rack* dengan biaya investasi, ongkos *cross aisle*, dan ongkos *double handling* yang rendah. Sehingga dari model yang ada, akan dilakukan penjabaran untuk nilai dari p_j . Penentuan nilai parameter yang digunakan untuk model matematika dapat dilihat pada Persamaan 7. Variabel yang digunakan untuk model matematika dapat dilihat pada Persamaan 8.

Fungsi tujuan

$$\text{Minimize } \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n p_j x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n [q_j + r_j + s_j] x_{ij} = \sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n q_j x_{ij} + r_j x_{ij} + s_j x_{ij} \tag{6}$$

Nilai parameter

$$\sum_{j=1}^n [q_j + r_j + s_j] \quad (7)$$

Keterangan

q ₁ = biaya investasi <i>selective</i> (rp 0,-)	r ₃ = ongkos <i>cross aisle gravity</i> (rp 18.75)
q ₂ = biaya investasi <i>double deep</i> (rp 0,-)	s ₁ = ongkos <i>double handling selective</i> (rp 0,-)
q ₃ = biaya investasi <i>gravity</i> (rp 280.035,-)	s ₂ = ongkos <i>double handling deep</i> (rp 937,-)
r ₁ = ongkos <i>cross aisle selective</i> (rp 39.965,-)	s ₃ = ongkos <i>double handling gravity</i> (rp 0,-)
r ₂ = ongkos <i>cross aisle deep</i> (rp 27.238,-)	

Variabel

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \quad (8)$$

Keterangan

x ₁₁ = <i>selective rack</i> , pada lokasi 1	x ₃₂ = <i>gravity rack</i> , pada lokasi 1
x ₂₁ = <i>double deep rack</i> , pada lokasi 1	x ₁₃ = <i>selective rack</i> , pada lokasi 3
x ₃₁ = <i>gravity rack</i> , pada lokasi 1	x ₂₃ = <i>double deep rack</i> , pada lokasi 3
x ₁₂ = <i>selective rack</i> , pada lokasi 2	x ₃₃ = <i>gravity rack</i> , pada lokasi 3
x ₂₂ = <i>double deep rack</i> , pada lokasi 2	

Penentuan fungsi pembatas didasarkan oleh tiga kategori. Penjelasan dari tiga kategori adalah sebagai berikut ini

1) Kebutuhan *pallet position* keseluruhan

Berdasarkan perhitungan, kebutuhan pembatas kebutuhan *pallet position* sebanyak 4955. Fungsi pembatas tersebut bertujuan untuk memberi batasan bahwa jumlah *rack* yang dibutuhkan lebih dari sama dengan 4955, sesuai dengan kebutuhan *rack* pada PT XYZ. Maka fungsi pembatas yang dirumuskan sebagai berikut

$$\sum_{i=1}^m \sum_{j=1}^n x_{ij} \geq 4955$$

$$x_{11} + x_{12} + x_{13} + x_{21} + x_{22} + x_{23} + x_{31} + x_{32} + x_{33} \geq 4955$$

2) Jumlah *pallet position* masing-masing lokasi

Gudang dibagi menjadi 3 lokasi. Pembagian tersebut dibagi berdasarkan luas dimensi masing-masing lokasi. Setiap lokasi memiliki luas yang berbeda-beda. Perbedaan luas lokasi ini dipengaruhi dengan adanya *staging area*. Perbedaan luas ini berpengaruh terhadap jumlah *deep* kebelakang dan jumlah *slot* kesamping. Perhitungan untuk mencari jumlah *pallet position* dengan menghitung jumlah *pallet position* untuk masing-masing jenis *rack* untuk setiap lokasi. Dengan menggunakan model matematika yang ada maka fungsi pembatas yang digunakan yaitu :

$$x_{11} \leq 2432 ; x_{21} \leq 3040 ; x_{31} \leq 4500 ; x_{12} \leq 270 ; x_{22} \leq 340 ; x_{32} \leq 450 ; x_{13} \leq 576 ; x_{23} \leq 720 ; x_{33} \leq 1080$$

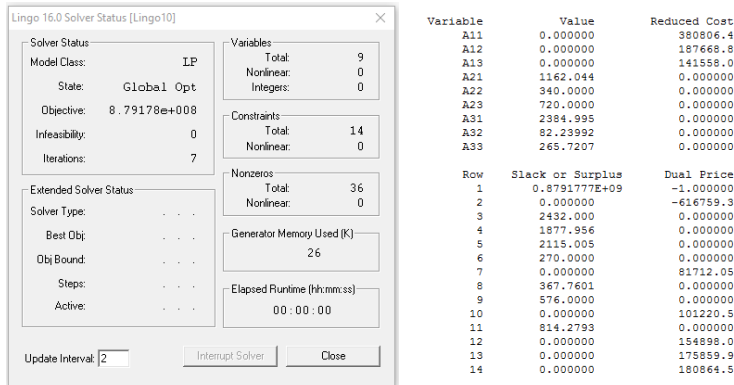
3) Luas masing-masing lokasi

Luas gudang PT XYZ sebesar 5000 m², dengan panjang sebesar 112,45 m dan lebar 44,47 m. Lokasi terbagi menjadi 3 luas. Dari luas masing-masing lokasi, maka dapat fungsi pembatas sebagai berikut:

$$\begin{aligned} & \text{Luas } pallet_{ij} + \left(\text{lebar } aisle \times \frac{\text{panjang } ij \times x_{ij}}{\text{jumlah } pallet \text{ minimal per bay}_{ij}} \right) \leq \\ & (\text{luas } ij \times 3 \text{ level}) - (\text{aisle} \times \text{lebar gudang}) - (\text{aisle} \times 2 \times \text{panjang lokasi}) \\ & 1,4175 x_{11} + 1,4175 x_{21} + 1,4175 x_{31} + \left(3,1 \times \frac{73,775 \times x_{11}}{48} \right) + \left(3,1 \times \frac{73,775 \times x_{21}}{96} \right) + \left(3,1 \times \frac{73,775 \times x_{31}}{360} \right) \\ & \leq (3295 \times 3) - (3,1 \times 44,47) - (3,1 \times 2 \times 70,275) \\ & 1,4175 x_{12} + 1,4175 x_{22} + 1,4175 x_{32} + \left(3,1 \times \frac{18,9 \times x_{12}}{20} \right) + \left(3,1 \times \frac{18,9 \times x_{22}}{40} \right) + \left(3,1 \times \frac{18,9 \times x_{32}}{150} \right) \\ & \leq (454 \times 3) - (3,1 \times 44,47) - (3,1 \times 2 \times 15,4) \end{aligned}$$

$$1,4175 x_{13} + 1,4175 x_{23} + 1,4175 x_{33} + \left(3,1 \times \frac{19,775 \times x_{11}}{24}\right) + \left(3,1 \times \frac{19,775 \times x_{21}}{48}\right) + \left(3,1 \times \frac{19,775 \times x_{31}}{180}\right) \leq (883 \times 3) - (3,1 \times 44,47) - (3,1 \times 2 \times 16,75)$$

Setelah melakukan perhitungan menggunakan *software* LINGO, maka diperoleh hasil optimum dari model matematika yang telah dirancang. Hasil perhitungan LINGO menunjukkan bahwa model matematika yang dirancang merupakan model *linear programming*. Status optimum yang dihasilkan merupakan *global optimum*, dimana terdapat 7 iterasi dengan menggunakan 9 variabel. Status dan hasil perhitungan dari *optimum pallet position* menggunakan LINGO dapat dilihat dari Gambar 7. Perhitungan jumlah *pallet position* untuk masing-masing jenis rack pada masing-masing rack. Jumlah *pallet position* pada *selective rack* berjumlah nol untuk lokasi satu, dua, maupun tiga. Jumlah *pallet position* untuk jenis *double deep* sebanyak 1162 untuk lokasi satu, 340 untuk lokasi dua, 740 untuk lokasi tiga. Sedangkan untuk jumlah *pallet position* jenis *gravity rack* sebanyak 2385 untuk lokasi satu, 82 untuk lokasi dua, dan 266 untuk lokasi tiga.

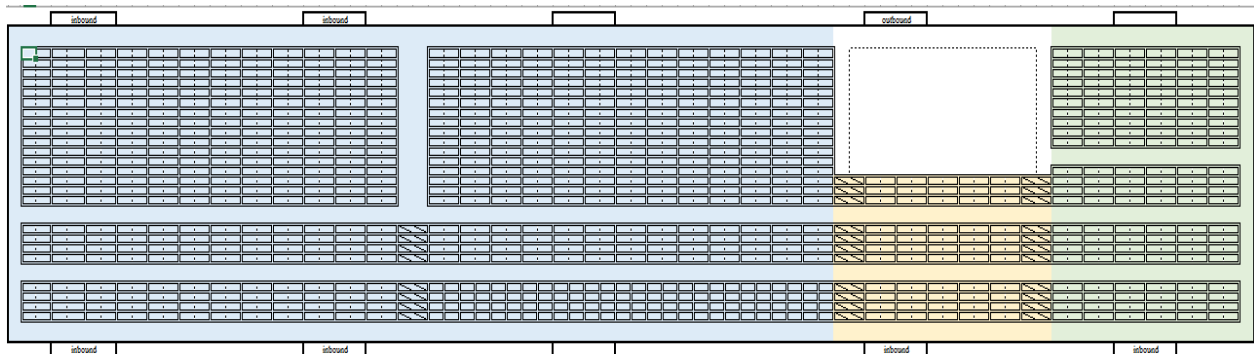


Gambar 7. Status Perhitungan dan Hasil Perhitungan *Optimum Pallet Position* Menggunakan LINGO

Setelah mendapatkan hasil maksimal, langkah selanjutnya yaitu membuat *racking* usulan sesuai nilai optimum. Presentase kombinasi rack dapat dilihat pada Tabel 6. Usulan dari kombinasi *layout* ditunjukkan pada Gambar 8.

Tabel 6. Persentase Kombinasi Rack

Jenis rack	Jumlah <i>pallet position</i>	Persentase
<i>Selective rack</i>	0	0%
<i>Double deep rack</i>	2222	45%
<i>Gravity rack</i>	2733	55%



Gambar 1. Layout Usulan Kombinasi

Simpulan

Hasil penelitian menggunakan *multiple knapsack problem* ini, dapat ditarik beberapa kesimpulan yaitu pemenuhan kebutuhan *pallet position* sesuai kapasitas yaitu 4955 *pallet position*. yang dibutuhkan yaitu dengan mengkombinasikan beberapa jenis *rack*. Jenis *rack* yang dikombinasi yaitu *double deep rack*, *selective rack* dan *gravity rack*. Kombinasi *rack* tersebut berdampak pada meningkatnya utilisasi penggunaan gudang menjadi 71,71 %, peningkatan utilisasi sebesar 17,71 %. Hasil perhitungan menggunakan *software* LINGO diperoleh persentase penggunaan jenis *rack* yaitu *double deep rack* (45 %), *selective rack* (0 %) dan *gravity rack* (55 %). Total biaya yang dikeluarkan yaitu Investasi *rack* Rp 765.335.655, Ongkos *cross aisle* Rp 111.772.052 dan Ongkos *double handling* Rp 2.082.04. Perbandingan biaya *double handling* kondisi eksisting dan usulan sebesar 55%. Pada kondisi usulan dapat menurunkan biaya *double handling* sebesar Rp 1.759.686.

Daftar Pustaka

- [1] S. Chopra and P. Meindl, *Supply Chain Management: Strategy, Planning, and Operation*. New York: PEARSON, 2016.
- [2] D. E. Mulcahy, *Eaches or Pieces Order Fulfillment, Design, and Operations Handbook*. Boca Raton: Auerbach Publications, 2007.
- [3] BPS, *Statistik E-Commerce 2019*. Jakarta: Badan Pusat Statistik, 2019.
- [4] Zaroni, "Order Fulfillment," *Supply Chain Indonesia*, Bandung, pp. 1–4, Jun-2018.
- [5] G. Richards, *Warehouse Management: A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. New York: Kogan Page, 2018.
- [6] H. Kellerer, U. Pferschy, and D. Pisinger, *Knapsack Problems*. New York: Springer, 2004.
- [7] J. A. Tompkins, J. A. White, Y. A. Bozer, and J. M. A. Tanchoco, *Facilities Planning*. New Jersey: John Wiley & Sons, Inc., 2010.