

## OPTIMASI MODEL RACKING SYSTEM MENGGUNAKAN ALGORITMA DYNAMIC PROGRAMMING UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PENYIMPANAN CENTRAL DISTRIBUTION CENTER PT XYZ

M Rifky Vidiarta<sup>1</sup>, Dida Diah Damayanti<sup>2</sup>, Budi Santosa<sup>3</sup>

<sup>1,2,3</sup> Program Studi Teknik Industri, Fakultas Rekayasa Industri, Telkom University

<sup>1</sup>[rvidiarta@gmail.com](mailto:rvidiarta@gmail.com) <sup>2</sup>[didadiyah@telkomuniversity.ac.id](mailto:didadiyah@telkomuniversity.ac.id) <sup>3</sup>[bschulasoh@gmail.com](mailto:bschulasoh@gmail.com)

### Abstrak

PT XYZ merupakan perusahaan manufaktur FMCG (*Fast Moving Consumer Goods*) yang memproduksi makanan ringan jenis wafer, *biscuit*, *snack*, dan *confectionary*. PT XYZ memiliki gudang sendiri dalam melakukan proses penyimpanan produk jadinya dengan menggunakan sistem rotasi pergerakan gudang jenis *First Expired First out* (FEFO). Namun, akibat dari produksi yang melakukan *push system* dan keadaan gudang yang belum menggunakan *Storage Racking System*, gudang mengalami *over capacity*.

Dengan permasalahan tersebut, maka dilakukan perhitungan dari model matematika yang menggunakan metode *Dynamic Programming Algorithm* dengan pendekatan *Knapsack Problem*. Tujuan yang dicapai ialah kombinasi jumlah *lanes* antara *selective racks* dengan *non-selective "Drive-thru" racks* agar memenuhi kapasitas kebutuhan sesuai jumlah *stock* setiap bulannya dengan memperhatikan *demand rate*, *production rate*, *cycle time*, dan *production time* dari setiap SKU. Setelah itu, perhitungan model matematika dilakukan menggunakan *software Matlab*.

Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh hasil peningkatan kapasitas gudang sebesar 93% yaitu dari 2.520 *pallet* posisi menjadi 4.864 *pallet* posisi dengan tingkat utilitas masing-masing *racks* sebesar 67,8 % untuk *non-selective racks* dan 20,5 % untuk *selective racks*.

**Kata Kunci :** *racking system, storage capacity, warehousing, dynamic programming*

### Abstract

PT XYZ is a manufacturing company which produced wafer, *biscuit*, *snack*, dan *confectionary*. PT XYZ has their own warehouse to store the finished goods and using the *First-Expired-First-Out* system in their rotational movement of the warehouse system. However, as a result from the production department who implementing a *push system* production while the warehouse has not implementing the *Storage Racking System*, it experiencing *over capacity*.

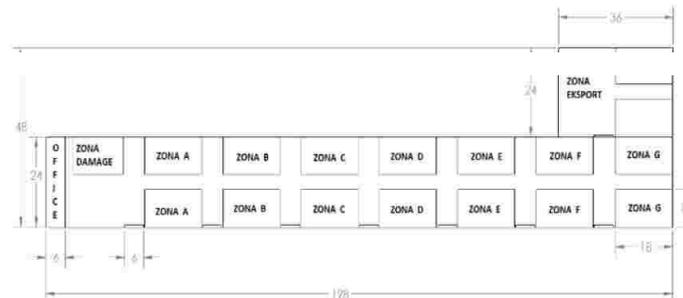
Based on these problem, then the calculation of the mathematical models using a *Dynamic Programming Algorithm* with *Knapsack Problem* approach. objectives achieved is combining the number of lanes between *selective racks* and *non-selective "Drive-thru" racks* so that meet the capacity needs of the appropriate amount of stock every month by paying attention on *demand rate*, *production rate*, *cycle time*, and *production time* for each SKUs. After that, the search for optimum results using *Matlab software*.

The modeling results obtained the storage capacity increased by 93% from 2.520 pallets position become 4.864 pallets position and the utilization for each racks are 67,8 % for *non-selective racks* and 20,5 % for *selective racks*.

**Key Word :** *racking system, storage capacity, warehousing, dynamic programming*

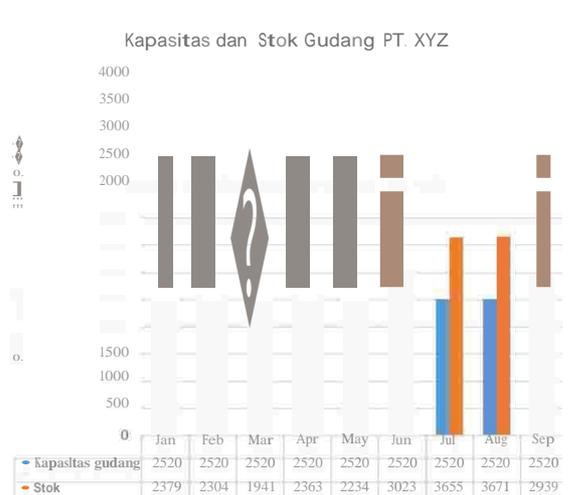
## 1. Pendahuluan

PT. XYZ merupakan salah satu perusahaan manufaktur FMCG (*Fast Moving Consumers Goods*) yang memproduksi makanan ringan/*snack* yang dikonsumsi oleh masyarakat umum baik anak-anak maupun orang dewasa. PT. XYZ memproduksi beberapa jenis makanan dengan rasa keju dan coklat seperti wafer, *biscuit*, *snack*, dan *confectionary*. PT. XYZ memiliki gudang barang jadi yang dapat menyimpan semua produknya yang nantinya akan didistribusikan ke *distribution center* di seluruh Indonesia. Selain Indonesia, perusahaan ini juga mendistribusikan produknya ke luar Indonesia seperti China, Laos, Vietnam, Hongkong, Korea, Malaysia, Myanmar, India, dan lain sebagainya. Total *stock keeping unit* (SKU) yang dimiliki oleh PT. XYZ adalah sebanyak 312 SKU dimana telah dibedakan berdasarkan kategori dan varian produk. Lokasi PT. XYZ ini sendiri berada di Rancaekek, Kab. Bandung, Jawa Barat. Berikut *layout* eksisting dari *central distribution center* PT. XYZ :



Gambar 1 Layout Eksisting CDC PT XYZ

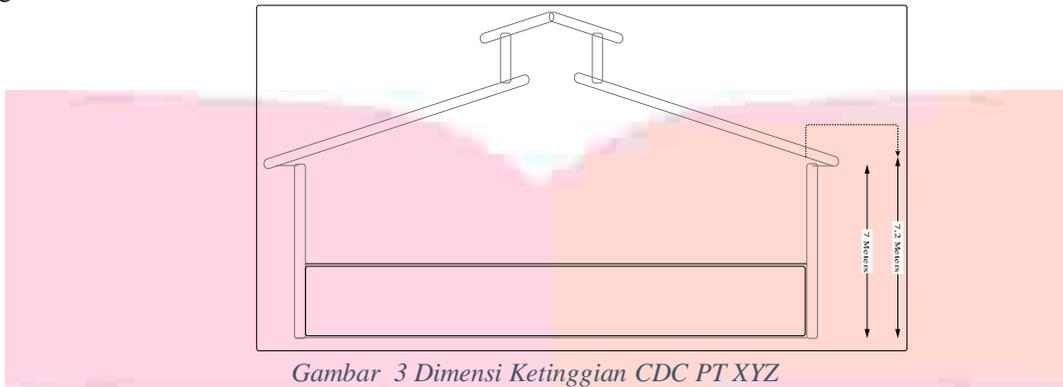
Gambar 1 dijelaskan adanya beberapa zona yang terdapat pada gudang atau lebih tepatnya *central distribution center* PT. XYZ Rancaekek dimana zona-zona tersebut berfungsi sebagai tanda untuk suatu jenis produk yang diproduksi oleh PT. XYZ. Secara total areanya, luas CDC PT. XYZ yang dapat digunakan untuk menyimpan produk barang jadi yaitu seluas 4752 setelah dikurangi dengan elemen lain yang terdapat di dalam CDC tersebut seperti Kantor, *Pest Control*, Area Administrasi, dan lain-lain. Gudang PT XYZ sendiri dapat menampung produk sebanyak 2.520 palet posisi dimana setiap palet rata-rata berisikan 90 *carton* dengan keadaan gudang yang tidak menggunakan rak (*floor stack*). Setiap bulannya volume produk yang ada di gudang Rancaekek terus meningkat. Dengan kondisi gudang saat ini, PT XYZ sering mengalami *over capacity*, hal ini dikarenakan gudang PT XYZ tidak di dukung oleh infrastruktur yang memadai. Berikut ini merupakan perbandingan antara stok dengan kapasitas gudang PT XYZ:



Gambar 2 Perbandingan Stok dan Kapasitas Gudang PT XYZ

Dilihat dari Gambar 2 Kapasitas gudang tidak dapat dimanfaatkan secara optimal terlihat pada bulan Juni, Juli, Agustus, dan September terjadi *overcapacity* pada gudang PT. XYZ. Dengan keadaan gudang yang masih menggunakan konsep *floor stack*, kondisi tersebut dapat menyebabkan beberapa resiko kerugian seperti banyaknya produk rusak (*damage*) karena barang ditumpuk melebihi batas normalnya, terhambatnya proses distribusi karena proses *picking* yang lama akibat jalur yang terhalang oleh produk, dan kondisi-kondisi lainnya. Barang yang tersimpan cukup lama dengan kuantitas yang melebihi kapasitas gudang dapat mengakibatkan kerugian seperti yang sudah dijelaskan sebelumnya yaitu *damage* atau kerusakan pada produk apabila tidak ditangani dengan baik. Kelebihan produk di dalam gudang bukan hanya mengakibatkan persentase barang rusak meningkat, tetapi juga mengakibatkan kapasitas gudang semakin terbatas dengan banyaknya produk yang tertumpuk secara tak beraturan tanpa adanya sistem yang mengatur penyimpanan barang di gudang. Keadaan

gudang yang dimiliki oleh PT. XYZ mempunyai ketinggian cukup tinggi yaitu 13 meter terhadap titik tertingginya, melihat kondisi tersebut maka penyimpanan produk dapat memanfaatkan ketinggian gudangnya. Berikut dimensi ketinggian dari CDC PT. XYZ di Rancaekek :



Gambar 3 Dimensi Ketinggian CDC PT XYZ

Gambar 3 diperlihatkan bahwa *Central DC* PT. XYZ memiliki ketinggian bersih sebesar 7,2 meter dengan toleransi sekitar 20cm sehingga menjadi 7 meter. Pada kondisi saat ini, manajemen PT. XYZ hanya menggunakan standar untuk ketinggian tumpukan produk sekitar 2.5 meter hingga 3 meter saja meskipun terkadang melebihi batas standar tersebut akibat *over capacity*. Oleh karena itu, perlu dilakukan penambahan volume barang pada gudang dengan mendesain ulang sistem penyimpanan pada *Central DC* PT. XYZ di Rancaekek ini agar pemanfaatan keberadaan gudang dapat tercapai maksimal tanpa terjadinya resiko kerusakan pada barang.

## 2. Dasar Teori dan Metodologi Penelitian

### 2.1 Dasar Teori

#### 2.1.1 Gudang

Gudang merupakan tempat dimana kegiatan di dalamnya antara lain ialah menyimpan material yang akan digunakan dalam proses produksi, hingga barang tersebut digunakan berdasarkan jadwal produksi<sup>[2]</sup>.

Gudang memiliki fungsi sebagai tempat penyimpanan material maupun produk jadi. Namun selain itu gudang juga memiliki fungsi yang lainnya<sup>[3]</sup>, diantaranya:

1. Menjaga persediaan yang digunakan sebagai penyeimbang dan penyangga dari variasi antara penjadwalan produksi dan permintaan.
2. Gudang sebagai penyaluran dalam sebuah daerah pesanan dengan jarak transportasi terpendek dan untuk memberikan respon cepat untuk permintaan pelanggan.
3. Gudang digunakan sebagai tempat akumulasi dan menguatkan produk dalam kegiatan produksi dan pendistribusian.
4. Gudang sebagai tempat penyimpanan produk untuk memenuhi permintaan pelanggan secara cepat mempunyai beberapa fungsi diantara penerimaan dan pengiriman produk.
5. Melindungi barang yang disimpan dari pencurian, kebakaran, banjir, dan masalah cuaca lainnya dengan menggunakan sistem keselamatan dan keamanan yang terjamin.
6. Melakukan kegiatan-kegiatan *value added* seperti pengepakan barang, menyiapkan permintaan pelanggan sesuai dengan kebutuhan, mengawasi barang yang masuk, menguji barang dan merakitnya.

#### 2.1.2 Racking System

##### 1. Selective Pallet Racking

*Selective Pallet Rack* merupakan rak *pallet* standar dalam sistem pergudangan. Rak ini merupakan sistem rotasi '*first-in first out*' dan ideal untuk semua penggunaan dalam penyimpanan maupun pengambilan barang. *Selective Pallet Rack* diaplikasikan untuk beban mulai 500 kg hingga 3 ton per level hambalan. *Rack* ini dapat mencapai ketinggian hingga 20 meter hingga memaksimalkan kapasitas ruangan gudang penyimpanan.

##### 2. Drive in/Drive thru Rack

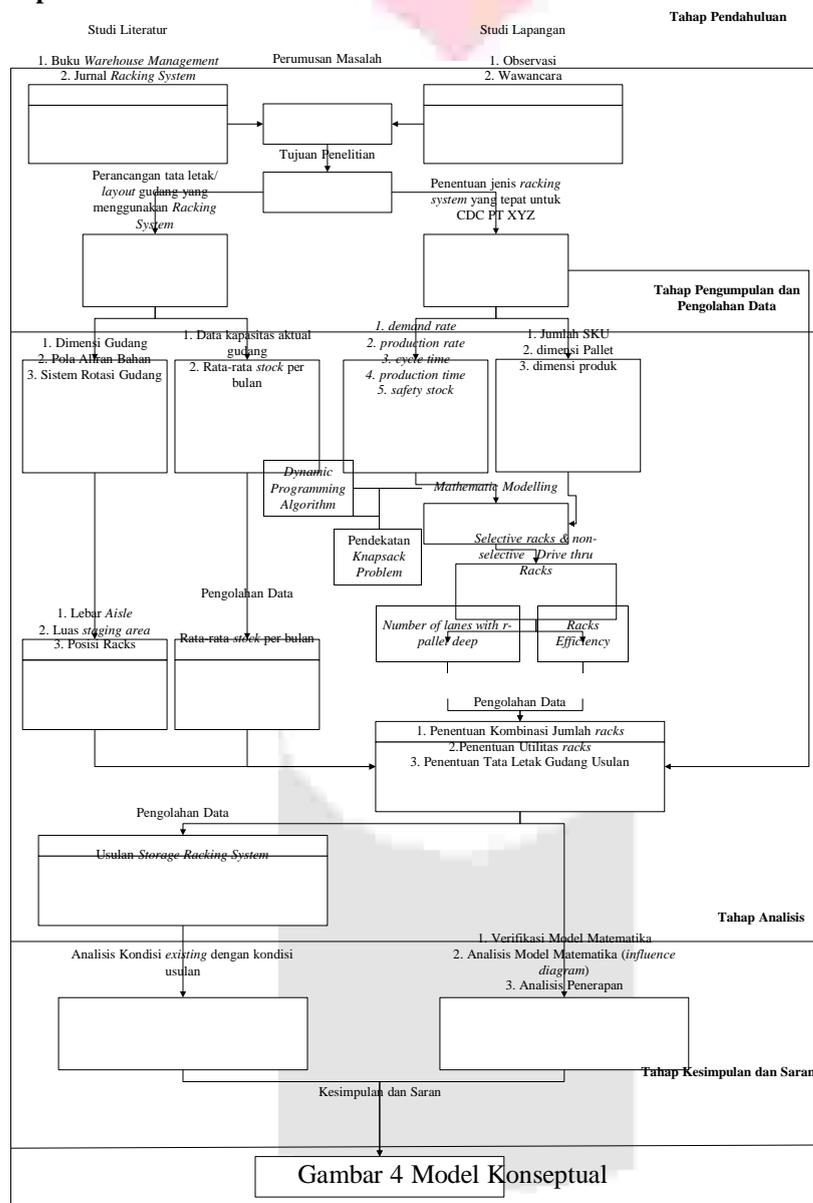
*Drive in Rack* sistem ini adalah bentuk sistem penyimpanan padat yang paling rendah biaya dan paling efektif. *Drive in Rack* sangat efisien untuk penempatan barang-barang berjenis *Last in First Out*. Dimana barang yang masuk terakhir kedalam *rack* adalah barang yang akan diambil pertama. Berbeda dengan *Drive In Rack*, *Drive Thru Rack* memiliki dua sisi terpisah untuk masing-masing kegiatan *loading* dan juga *unloading* sehingga rotasi yang tepat untuk jenis rak ini ialah barang dengan jenis *First In First Out* yaitu barang yang pertama masuk akan pertama kali pula diambil. Tidak ada perbedaan karakteristik dan bentuk antara kedua rak tersebut, yang membedakan hanyalah *allowance space* pada *Drive Thru Rack* sehingga kedua sisi pada rak berfungsi untuk kegiatan *loading* dan *unloading*. Sistem rak ini adalah meminimalkan penggunaan ruang operasional. Kapasitas efektif pengguna hingga 60% atau lebih.

### 2.1.3 Dynamic Programming

Suatu perancangan algoritma dengan solusi optimalnya diperoleh berdasarkan rangkaian keputusan sebelumnya yang dilakukan secara simultan. *Dynamic programming* seringkali secara spontan mengurangi jumlah pembilangan dengan menghindari pembilangan dari beberapa rangkaian keputusan yang tidak memungkinkan menjadi optimal. Di dalam *dynamic programming* hubungan-hubungan keputusan optimal didapat dengan membuat prinsip optimalitas secara eksplisit. Pernyataan prinsip itu merupakan rangkaian keputusan optimal yang memiliki sesuatu yang dinyatakan dengan initial dan keputusan, dalam mengambil keputusan harus menyusun suatu keputusan optimal dengan memperhatikan hasil pernyataan dari keputusan pertama. Di dalam *dynamic programming*, banyak rangkaian keputusan yang mungkin menghasilkan. Tetapi, rangkaian yang berisi sub-sub rangkaian optimal tidak dapat optimal jika prinsip berpengaruh pada optimasi dan pasti tidak akan menghasilkan<sup>[4]</sup>.

Untuk menyelesaikan suatu permasalahan, tidak terdapat rumusan matematis yang standar dalam pemrograman dinamik. Rumusan matematis dari suatu masalah dapat ditentukan setelah struktur dari masalah diketahui. Permasalahan yang satu dengan permasalahan lainnya dapat mempunyai struktur penyelesaian permasalahan yang berbeda.

### 2.2 Model Konseptual



Gambar 4 Model Konseptual

Gambar 4 menjelaskan langkah-langkah untuk menentukan alternatif *racking system* usulan dimana langkah pertamanya ialah menghitung jumlah produk yang disimpan pada gudang PT XYZ, kemudian mengidentifikasi dimensi produk, ketinggian produk per *pallet*, kebijakan sistem FEFO, dan dimensi *pallet*. Maka akan didapatkan jenis dan dimensi rak yang tepat. Selanjutnya, karena dimensi rak sudah diketahui maka dapat dilakukan perhitungan kombinasi jumlah *lanes* untuk masing-masing rak berdasarkan data *cycle time* tiap produk, *production time*, *demand rate*, *production rate*, dan *safety stock* masing-masing SKUs. Setelah didapatkan kapasitas penyimpanan yang optimal berdasarkan perhitungan jumlah *lanes* tiap *racks* maka dapat dilakukan tata letak atau *layout* gudang menggunakan prinsip pola aliran bahan yang sesuai dengan keadaan gudang.

**3. Pembahasan**

Untuk menentukan kombinasi jumlah *rack* yang tepat, setelah mendefinisikan *demand rate*, *production rate*, dan *safety stock* per harinya dan juga dengan berdasarkan data *cycle time* dan *production time* tiap produknya, maka dapat dilakukan perhitungan menggunakan formulasi sebagai berikut<sup>[1]</sup> :

- Menghitung durasi selang waktu pengosongan produk *j* yang disimpan pada rak *Non-selective*

$$T_{jtr} = \frac{I_{jtr}}{D_j} \tag{1}$$

- Jumlah selang waktu pengosongan pada *cycle time* dapat dinyatakan sebagai berikut :

$$K_{jtr} = \lceil \frac{T_c}{T_{jtr}} \rceil \tag{2}$$

Sebagai contoh, dalam persamaan (2) waktu siklus terbagi menjadi 5 selang waktu pengosongan.

- Kemudian, untuk setiap selang waktu *k*, dengan nilai  $k = 1, \dots, K_{jtr}$ , jumlah *lanes* yang dibutuhkan  $N_{jtr}(k)$  tergantung kepada nilai maksimal *inventory level* selama selang waktu pengosongan dan dinyatakan dengan  $I_{jtr}(k)$ . Secara khusus, dalam menggunakan notasi pada persamaan (2) dimiliki :

$$I_{jtr}(k) = \begin{cases} I_{jtr} - (k-1) \cdot D_j \cdot T_{jtr} & \text{if } k \leq K_{jtr} \\ 0 & \text{if } k > K_{jtr} \end{cases} \tag{3}$$

- Sehingga jumlah *lanes* untuk rak jenis *Non-Selective* atau pada masalah ini jenis rak yang dipilih ialah *Drive-thru*, nilai *r-pallet deep* yang diperlukan untuk menyimpan produk *j* selama selang waktu pengosongan *k* (dengan nilai  $k = 1, \dots, K_{jtr}$ ) dapat ditentukan dengan :

$$N_{jtr}(k) = \lceil \frac{I_{jtr}(k)}{D_j \cdot T_{jtr}} \rceil \tag{4}$$

- Selanjutnya, melalui rata-rata waktu siklus, dapat diperoleh jumlah *lanes* dan *r-pallet deep Drive-thru racks* yang diperlukan untuk menyimpan produk *j* dengan persamaan sebagai berikut :

$$N_{jtr} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{jtr}} N_{jtr}(k) + (T_c - (K_{jtr}-1) \cdot T_{jtr}) \cdot D_j}{T_c} \tag{5}$$

Sebagai catatan, jika waktu siklus bukan sebuah bilangan bulat kelipatan dari nilai panjangnya selang waktu pengosongan, maka selang waktu pengosongan terakhir harus dianggap hanya untuk bagian dari  $(T_c - (K_{jtr}-1) \cdot T_{jtr})$ .

- Akhirnya, setiap produk *j* yang disimpan dalam *lanes* pada *r-pallet deep non-selective racks* yaitu *Drive-thru* dapat dihitung efisiensi penyimpanannya sebagai rasio antara jumlah lokasi *pallet* yang terisi dengan jumlah lokasi *pallet* yang disediakan untuk produk tersebut selama waktu siklus, dengan cara :

$$E_{jtr} = \frac{\sum_{k=1}^{K_{jtr}} I_{jtr}(k)}{N_{jtr} \cdot T_c} \tag{6}$$

Untuk efisiensi penyimpanan pada *selective racks* nilainya didefinisikan sama dengan satu. Hal tersebut dikarenakan masing-masing *unit loads* dapat diakses/diambil secara bebas/independen.

- Langkah berikutnya ialah membandingkan antara *selective racks* dan *non-selective racks* dengan mengidentifikasi ambang batas dari efisiensi penyimpanannya. Apabila efisiensi penyimpanan, yang telah dihitung berdasarkan persamaan (6), lebih tinggi daripada ambang batasnya maka penggunaan *non-*

*selective racks Drive-thru* dianggap lebih baik daripada *selective racks*. Jika tidak, maka akan lebih baik untuk menggunakan solusi penyimpanan menggunakan *selective racks*. Ambang batas dapat dihitung dengan mempertimbangkan utilisasi ruang untuk dua jenis sistem penyimpanan rak. Berikut perhitungan utilisasi untuk *selective racks* :

$$U_{sr} = \frac{z \cdot A \cdot W}{(A + W/2) \cdot z} \tag{7}$$

Sedangkan untuk *non-selective racks* dengan *r-pallet deep* memiliki rumus sebagai berikut :

$$U_{nsr} = \frac{z \cdot A \cdot W}{(A + W/2) \cdot W \cdot d} \tag{8}$$

- Didefinisikan jumlah tingkat rak untuk *selective racks* adalah  $z^s$ , sedangkan untuk *Drive-thru racks* adalah  $z^d$ . Maka dapat diperhitungkan ambang batas untuk efisiensi penyimpanan dari *non-selective racks* dengan nilai *r-pallet deep*, rumus sebagai berikut :

$$U_{nsr}^s = \frac{z^s \cdot A \cdot W}{z^d \cdot A \cdot W} \tag{9}$$

Dalam mengevaluasi alokasi produk  $j$  yang ada pada *lanes* dari rak *non-selective* dengan *r-pallet deep*, apabila didapatkan nilai  $U_{nsr}^s < U_{sr}$  maka akan lebih baik jika produk disimpan/dialokasikan ke *selective racks*.

- Variabel keputusan dari model merupakan rangkaian variable biner  $x_{jtr}$  menyatakan apabila produk  $j$  disimpan pada *Drive-thru* dengan kedalaman *r-pallet*. Kemudian rangkaian variable biner  $y_j$  menyatakan apabila produk  $j$  disimpan pada *selective racks*. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut :

$$x_{jtr} \in \{0, 1\} \tag{10}$$

$$y_j \in \{0, 1\} \tag{11}$$

- Diasumsikan bahwa setiap produk dapat disimpan baik di *non-selective racks* ataupun di *selective racks*. Jika suatu produk  $j$  disimpan pada *non-selective racks*, maka semua produk  $j$  tersebut diletakkan pada *lanes* dengan kedalaman yang sama. Fungsi tujuan dari model ini ialah sebuah maksimasi jumlah utilisasi volumetric masing-masing produk dalam gudang yang dapat diekspresikan sebagai berikut :

$$f(x_{jtr}, y_j) = \sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \frac{V_j \cdot x_{jtr}}{(A + W/2) \cdot W \cdot d} + \sum_{j \in J} \frac{V_j \cdot y_j}{(A + W/2) \cdot W} \tag{12}$$

Diketahui bahwa  $f(x_{jtr}, y_j)$  secara jelas bergantung pada efisiensi penyimpanan  $e_{jtr}$ , dihitung berdasarkan persamaan (6) untuk *non-selective racks* dan sama dengan 1 untuk *selective racks*.

- Menggunakan definisi di atas, model pemrograman matematis 0-1 dirumuskan sebagai berikut :

$$\max f(x_{jtr}, y_j)$$

s.t

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} x_{jtr} \leq 1, \quad \forall t \tag{13}$$

*Constraint* (13) memberikan jaminan bahwa apabila produk  $j$  ditempatkan pada *non-selective racks*, maka produk tersebut disimpan pada *lanes* dengan jenis dan kedalaman yang sama.

$$y_j = 1 - \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} x_{jtr}, \quad \forall j \tag{14}$$

*Constraint* (14) memberikan jaminan bahwa apabila produk  $j$  tidak ditempatkan pada *non-selective racks*, maka produk tersebut disimpan pada *selective racks*.

$$\sum_{j \in J} \sum_{t \in T} \sum_{r \in R} \left( \frac{A \cdot W}{2} + \frac{A^2}{2} \right) x_{jtr} + \sum_{j \in J} \left( \frac{A \cdot W}{2} + \frac{A^2}{2} \right) W \cdot y_j \leq A \cdot W \tag{15}$$

*Constraint* (15) memberikan jaminan bahwa luas area yang dibutuhkan untuk sistem penyimpanan dengan menggunakan rak yang terpilih tidak akan melebihi luas area penyimpanan yang tersedia pada gudang.

$$\sum_{i \in I} x_{ij} \leq 1, \forall j \in J \quad (16)$$

*Constraint* (16) mencegah setiap produk untuk ditempatkan pada *lanes non-selective racks* jika selang waktu pengosongan (yang didefinisikan pada persamaan (1)) melebihi waktu maksimal penyimpanannya (waktu *expired* produk).

$$x_{jt} \leq 1 + \frac{w_{jt}}{w^d}, \forall j, t \quad (17)$$

Constraint (17) mencegah produk ditempatkan pada *non-selective racks* ketika *selective racks* lebih cocok untuk produk tersebut (berdasarkan persamaan (6) yang mendefinisikan efisiensi penyimpanan dan tingkat ambang batasnya).

$$x_{jt} \in \{0,1\}, \forall j, t \quad (18)$$

Constraint (18) memastikan bahwa variable keputusan adalah bilangan bulat dan bernilai nol-satu.

Keterangan :

- $j = 1, \dots, J$  : SKUs atau produk yang akan disimpan pada gudang;
- $t = 1, \dots, T$  : jenis dari *non-selective racks*;
- $r = 1, \dots, R$  : kedalaman rak (satuan jumlah *pallet* posisi) dari *non-selective racks*.
- $w, d$  : panjang dan lebar (dalam meter) dari tumpukan produk/*unit loads*;
- $W^d, D^d$  : panjang dan lebar (meter) untuk satu *pallet* posisi dari *non-selective racks* (termasuk *allowance* yang diperlukan antara *unit loads* dengan rangka rak);
- $W^s, D^s$  : panjang dan lebar (dalam meter) untuk satu *pallet* posisi dari *selective racks* (termasuk *allowance* yang diperlukan antara *unit loads* dengan rangka rak);
- $h_j$  : ketinggian (dalam meter) tumpukan untuk produk  $j$ ;
- $h_{jt}^d$  : ketinggian (dalam meter) satu level *lanes* untuk rak *non-selective racks*;
- $H^s$  : ketinggian (dalam meter) satu level *lanes* untuk rak *selective racks*;
- $L^d$  : jumlah level *lanes* untuk *non-selective racks*.
- $L^s$  : jumlah level *lanes* untuk *selective racks*.
- $A^d$  : lebar (dalam meter) lorong untuk *non-selective racks*.
- $A^s$  : lebar (dalam meter) lorong untuk *selective racks*.
- $S^{tot}$  : luas area penyimpanan yang tersedia pada gudang.
- $p_j, r_j$  : tingkat produksi dan tingkat permintaan, untuk produk  $j$  (dalam satuan *unit loads* per hari)
- $Tc_j, Tp_j$  : waktu siklus dan waktu prodksi (dalam hari) untuk produk  $j$ .
- $s_j$  : *safety stock*
- $Q_j^{\max}, Q_j^{\text{rata}}$  : tingkat persediaan maksimum dan rata-rata (dalam satuan *unit loads*).
- $Q_j^{\text{max}}$  : periode penyimpanan maksimal dari produk  $j$  (dalam hari)
- $e_{jtr}$  : efisiensi penyimpanan dari produk  $j$  apabila produk disimpan pada *non-selective racks* dengan kedalaman  $r$ -*pallet deep*.
- $\alpha_{jt}$  : tingkat ambang batas untuk efisiensi penyimpanan pada *non-selective racks*.
- $\bar{L}_{jt}$  : rata-rata jumlah *lanes* dengan kedalaman  $r$ -*pallet deep* yang dibutuhkan untuk menyimpan produk  $j$ .

#### 4. Kesimpulan

Berdasarkan tujuan penelitian yang telah dirumuskan sebelumnya dan pengolahan data dengan menggunakan persamaan Algoritma *Dynamic Programming* yang ada, maka dapat ditarik kesimpulan :

1. Kombinasi jenis *racks* dengan jumlah *lanes*-nya masing-masing, yaitu :
  - *Selective Racks* ( $r$ -*pallet deep* = 4) : 281 *lanes*
  - *Drive-thru Racks* ( $r$ -*pallet deep* = 3) : 28 *lanes*
  - *Drive-thru Racks* ( $r$ -*pallet deep* = 4) : 2 *lanes*

Sehingga jumlah *pallet* posisi yang dapat ditampung ialah :

- *Selective Racks* ( $r$ -*pallet deep* = 4) : 4496 *pallet*
  - *Drive-thru Racks* ( $r$ -*pallet deep* = 3) : 336 *pallet*
  - *Drive-thru Racks* ( $1 \text{ lanes} = 4 \text{ pallet}$ ) : 32 *pallet*
- Total* : 4864 *pallet*

Perbandingan kapasitas kondisi eksisting dengan usulan ialah 93% lebih besar dari kapasitas awal. Pada kondisi usulan kapasitas meningkat sebanyak 2.344 *pallet* posisi atau dengan kata lain sebesar 210.960 *carton*.

2. Tata letak/*layout* gudang berdasarkan kombinasi jumlah *racks* yang didapatkan dari perhitungan dan berdasarkan pola aliran bahan yang dimiliki oleh PT XYZ ialah sebagai berikut :



#### Daftar Pustaka

- [1] Ferrara, A., Elisa, G., Grasi, A., & Rimini, B. (2014). An optimization model for the design of rack storage systems. *Proceedings of the 2014 Industrial and Systems Engineering Research Conference*, 3-6
- [2] Apple, Jamaes M. (1990). *Tata Letak Pabrik dan Pемindahan Bahan*. Bandung : ITB
- [3] Frazelle, E. H. (2002). *World-Class Warehousing and Material Handling*. Singapore : McGraw-Hill
- [4] Taha, H.A. (1996). *Operations Research*. New Jersey : Prentice Hall.