

Perancangan Gudang untuk Meminimasi Perpindahan *Material Handling* dengan Metode Hungarian

Warehouse Design to Minimize Movement Material handling with Hungarian Method

Farida Nurmala Sihotang^{1*}

¹Teknik Industri, Sekolah Tinggi Teknologi Bandung
Jl. Soekarno Hatta No.378, Bandung, Jawa Barat

*Korespondensi Penulis, E-mail: farida.nurmalasihotang@gmail.com

Diterima 5 Januari, 2024; Disetujui 20 Januari, 2024; Dipublikasikan 24 Maret, 2024

Abstrak

PT X merupakan salah satu perusahaan BUMN yang bergerak dalam bidang farmasi. Setiap tahun, PT X mengalami peningkatan produksi obat-obatan sehingga menyebabkan kebutuhan kapasitas gudang bahan baku tidak mencukupi. Dari hasil observasi dan analisis, kendala ini ditemukan karena ada permasalahan penataan penyimpanan bahan baku yang belum sesuai. Saat ini perusahaan menggunakan metode block stacking dalam penyimpanan bahan baku. Perusahaan berencana menggunakan metode berbeda yang dianggap lebih efisien yaitu metode racking. Jika metode baru ini sudah diimplementasikan dan ternyata diperoleh hasil yang belum maksimal maka perusahaan akan membuat gudang baru. Penelitian ini dimulai dengan mengukur rak gudang pada kondisi aktual kemudian menentukan kapasitas gudang tambahan dengan menghitung kapasitas gudang aktual menggunakan metode racking. Selanjutnya diberikan usulan model penyimpanan bahan baku. Dari hasil analisis, usulan dimensi rak adalah panjang 1.2m, lebar 1.2 m dan tinggi 1.2m. Rak pada gudang disusun secara membujur sehingga diperoleh kapasitas penyimpanan lebih dari 150 palet. Penelitian ini juga mengusulkan perbaikan kebijakan penyimpanan yaitu dari *random* menjadi kebijakan dengan mempertimbangkan frekuensi keluar masuk bahan baku. Model yang digunakan adalah *assignment problem linear* dengan fungsi tujuan minimasi total perpindahan *material handling*. Model yang diusulkan telah diuji dengan menggunakan data historis perusahaan sehingga sesuai dengan fungsi tujuan yang diinginkan dan memberikan hasil jarak perpindahan *material handling* kurang dari 100.000 meter. Jarak ini merupakan jarak yang paling minimum.

Kata kunci: *block stacking, gudang, racking*

Abstract

Every year PT X experiences an increase in drug production, causing insufficient raw material warehouse capacity needs. From observation result and analysis, obstacle was found because there were problems in structuring storage of raw materials that were not appropriate. In actual conditions, raw material storage uses block stocking method, but manager plans change storage method to racking method. If after racking method is implemented and turns out capacity is still insufficient, company plans to create an additional warehouse. Focus of this research begins with determining dimensions of rack then arranging rack in the warehouse, then determining size of warehouse capacity with racking method. Racking method is also used to propose additional warehouse capacity and propose models for raw material allocation. From results of the analysis, proposed rack dimensions are $1.2 \times 1.2 \times 1.2\text{m}^3$ with arrangement of rack in direction of y-axis so that a storage capacity of 166 pallets is obtained. In actual conditions, PT X uses a raw material storage policy with a random storage policy model and the results of this study propose use of shared storage policy by considering frequency of entry and exit raw materials from warehouse. Determination of location of raw materials using a modified Hungarian model with aim function of minimizing total distance required by material handling. This model has been tested using historical company data that matches the function of goal to be achieved and gives the result that minimum distance required for material handling is less than 100,000 meters.

Keywords: *block stacking, racking, warehouse*

1. Pendahuluan

PT X merupakan salah satu Badan Usaha Milik Negara (BUMN) yang bergerak di bidang farmasi. Saat ini pemerintah berusaha meningkatkan pelayanan di sektor kesehatan salah satunya dengan menerbitkan kebijakan dalam industri farmasi (Kebijakan Dan Reformasi Peraturan Industri Farmasi, 2018). Kebijakan ini berpengaruh terhadap PT X selaku penyedia produk obat-obatan milik negara karena pemerintah menggunakan perusahaan ini untuk mencapai tujuan dari kebijakan-kebijakan tersebut. Kebijakan yang dikeluarkan oleh pemerintah menyebabkan industri farmasi di Indonesia berkembang pesat. Perkembangan ini mengakibatkan produksi obat-obatan semakin melingkat. Seiring peningkatan produksi obat-obatan maka semakin meningkat pula kebutuhan penyimpanan bahan baku di PT X. Hal ini menimbulkan permasalahan di PT X yaitu kapasitas penyimpanan bahan baku di gudang tidak mencukupi akibat produksi yang meningkat sehingga kebutuhan bahan baku juga mengalami peningkatan.

Kondisi Gudang eksisting PT X menggunakan sistem *blocking stacking* dalam penyimpanan bahan baku. *Block stacking* merupakan metode penyimpanan palet dengan cara menumpuk palet secara langsung diatas lantai kemudian disusun sejajar menjadi sebuah baris atau kolom. Derhami (Derhami et al., 2020) telah melakukan penelitian tentang desain tata letak yang optimal untuk penumpukan blok, yang meliputi penentuan jumlah gang dan lorong silang, kedalaman bay, dan jenis lorong silang. Penelitian ini menunjukkan bahwa kedalaman jalur memengaruhi biaya penanganan material selain pemanfaatan ruang dan mengembangkan algoritma pengoptimalan berbasis simulasi untuk menemukan tata letak yang optimal.

Berdasarkan kondisi aktual terdapat beberapa gap antara kondisi eksisting dan kondisi ideal. Pertama, pada kondisi ideal seharusnya penyimpanan bahan baku belum sesuai SOP yang berlaku yaitu tidak terdapat palet yang ditumpuk di atas bahan baku lainnya dan satu palet hanya terdiri dari bahan baku yang berasal dari satu nomor batch sedangkan pada kondisi eksisting terdapat palet yang ditumpuk di atas bahan baku lainnya dan terdapat pula palet yang terdiri dari beberapa bahan baku dengan nomor batch yang berbeda. Oleh karena itu perlu untuk melakukan penyimpanan bahan baku sesuai SOP yang berlaku. Kedua, pada kondisi ideal seharusnya penyimpanan bahan baku tidak menghalangi jalur *material handling* (*forklift*) namun pada kondisi eksisting terdapat palet yang menghalangi jalur *material handling* sehingga harus memindahkan bahan baku tersebut untuk mengambil atau meletakkan bahan baku lain. Ketiga, pada kondisi ideal seharusnya letak setiap batch bahan baku jelas dan mudah ditemukan namun pada kondisi aktual terkadang beberapa bahan baku sulit ditemukan lokasi penyimpanannya hal ini mengakibatkan pemesanan ulang dan bahan baku yang sudah ada menjadi kadaluwarsa. Keempat, pada kondisi ideal seluruh lokasi penyimpanan bahan baku dapat diakses *material handling* namun pada kondisi eksisting terdapat beberapa palet lain sehingga *material handling* tidak dapat menjangkau palet secara langsung. Penjadwalan dan penggunaan *material handling* sudah dibahas pada paper-paper sebelumnya (Derhami et al., 2020; Gaddis et al., 2022; Soufi et al., 2021).

Berdasarkan hasil analisis, permasalahan kapasitas gudang yang tidak mencukupi di PT X cabang Bandung adalah penataan penyimpanan bahan baku yang belum optimal. Oleh karena itu PT X melalui manager gudang berencana mengubah sistem penyimpanan dari sistem *block stacking* ke sistem *racking*. Sistem *racking* merupakan metode penyimpanan menggunakan media rak dan dapat diterapkan baik pada gudang maupun pendingin (Liu et al., 2023; Natali & Morelli, 2023). Metode *racking* merupakan salah satu metode yang dapat membantu kita mengetahui bagaimana penyusunan rak serta mengetahui dimensi yang akan digunakan (Kim et al., 2023). Selain ingin mengetahui penyusunan rak, PT X ingin mengetahui kapasitas gudang ketika diterapkan sistem *racking* ini sebagai acuan dalam menentukan kapasitas gudang tambahan yang akan dibuat. Penelitian ini dikembangkan bagaimana cara menentukan ukuran rak, cara penyusunan rak, perhitungan kapasitas bahan baku saat menggunakan sistem *racking* dan mengembangkan model pengalokasian masing-masing bahan baku untuk menyelesaikan permasalahan letak setiap batch dan akses untuk *material handling*. Kontribusi penelitian ini adalah mengembangkan model pengalokasian bahan baku yang bertujuan untuk minimasi total perpindahan *material handling* karena besarnya frekuensi pengambilan dan peletakkan bahan baku di gudang PT X

cabang Bandung. Hal ini diharapkan dapat mengurangi waktu yang dibutuhkan dalam menyalurkan bahan baku sehingga memperlancar proses produksi.

2. Metode Penelitian

Metodologi penelitian merupakan rangkaian tahapan-tahapan penelitian yang tergambar dalam kerangka penelitian untuk memecahkan masalah penelitian (Winarno Metodologi & Dalam, 2018). Penelitian ini menggunakan metode kuantitatif dengan menggunakan data Perusahaan X. Objek penelitian menggunakan data primer yang diperoleh dari wawancara langsung dengan kepala-gudang perusahaan mengenai permasalahan yang ada dan melakukan pengukuran langsung di gudang eksisting, namun penulis juga menggunakan data sekunder dari beberapa jurnal dan informasi di internet. Tahapan ini menjelaskan metodologi penelitian untuk menghasilkan model penyusunan rak dan pengalokasian bahan baku di gudang PT X sehingga dapat meminimasi total perpindahan dengan *material handling*.

1. Tahap Perumusan masalah

Tahap ini merupakan tahap awal dalam proses penelitian yang dapat memberikan usulan model terkait penyusunan rak dan pengalokasian bahan baku. Tahap ini dimulai dengan studi pendahuluan untuk mengamati kondisi eksisting objek penelitian. Kemudian dilanjutkan ke identifikasi masalah, tahap ini merupakan tahap yang penting untuk dikerjakan. Tahap ini memperoleh informasi bahwa kapasitas gudang sering sekali tidak mencukupi untuk penyimpanan bahan baku sehingga menyebabkan beberapa prosedur dilanggar demi memenuhi kebutuhan penyimpanan bahan baku. Bagian ini memberi informasi bahwa penyimpanan bahan baku di gudang belum optimal dikarenakan penyimpanan bahan baku menggunakan area yang kosong tanpa mempertimbangkan SOP yang sudah ada. Ketidakteraturan mengakibatkan jika bahan baku tersebut diperlukan maka operator gudang akan kesulitan menemukan bahan baku yang ada, selain itu peletakan bahan baku yang belum optimal menyebabkan jarak tempuh *forklift* menjadi lebih panjang sehingga berdampak pada biaya operasional dan waktu tempuh *forklift*. Identifikasi masalah dilanjutkan dengan penentuan tujuan dan ruang lingkup penelitian. Tujuan dari penelitian ini adalah memberikan usulan dimensi rak, metode penataan rak, menghitung kapasitas gudang bahan baku apabila diterapkan sistem penyimpanan rak, dan memberikan usulan model yang optimal untuk menentukan letak tiap palet untuk meminimasi total perpindahan *material handling*. Setelah tujuan telah ditentukan maka dilanjutkan ke studi literatur mengenai pergudangan, *linear programming*, dan *storage allocation assignment problem*. Tahap terakhir pada perumusan masalah yaitu pengumpulan data yang bertujuan mendapatkan data-data yang dibutuhkan dalam perhitungan dimensi rak yang diusulkan, penyusunan rak pada gudang, kapasitas gudang serta bahan pemodelan *assignment* lokasi setiap bahan baku.

2. Tahap Perancangan Model

Tahap perancangan model ini digunakan untuk pengolahan data dimana model yang model yang dirancang untuk mengalokasi bahan baku ke masing-masing lokasi yang tersedia. Perancangan model ini dimulai dengan perancangan model konseptual untuk mengidentifikasi variabel yang dan terlibat dan berfungsi sebagai gambaran awal permasalahan. Model konseptual memberikan informasi bahwa pembuatan model *assignment* bertujuan meminimasi perpindahan total dari *material handling (forklift)*. Perpindahan *forklift* ini dipengaruhi oleh frekuensi keluar masuk tiap jenis bahan baku, jarak lokasi penyimpanan ke pintu. Selanjutnya pada tahap ini dilakukan pemilihan model acuan yang terdapat pada literatur dengan mempertimbangkan kesesuaian permasalahan yang akan diselesaikan serta fungsi tujuan yang akan dicapai. Setelah model dipilih, langkah selanjutnya memvalidasi model acuan dengan karakteristik pada kondisi aktual. Apabila terdapat perbedaan kondisi maka dilakukan penyesuaian terhadap model acuan agar memenuhi karakteristik pada kondisi aktual. Kemudian dilakukan penyesuaian model acuan sehingga relevan terhadap permasalahan yang diselesaikan. Penyesuaian model diharapkan dapat memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan sebelumnya. Selanjutnya

memverifikasi model yang telah sesuai untuk memastikan bahwa solusi yang diperoleh oleh suatu model sesuai dengan masalah penelitian. Verifikasi model digunakan untuk menjamin bahwa model berurutan secara logis dan sistematis (Daellenbach & McNickle, 2015). Verifikasi dilakukan dengan memeriksa konsistensi satuan model. Keberhasilan verifikasi akan dilanjutkan dengan validasi model namun jika tidak maka dilakukan penyesuaian ulang. Langkah terakhir pada tahap ini adalah validasi model yang telah disesuaikan sehingga memenuhi karakteristik pada sistem aktual. Validasi ini dilakukan dengan membandingkan kondisi yang dihasilkan dengan sistem aktual. Jika validasi sesuai maka dilanjutkan dengan pengolahan data, jika tidak maka dilakukan penyesuaian model kembali.

3. Pengolahan Data

Tahap pengolahan data ini diperoleh dengan menggunakan model acuan yang telah disesuaikan dengan sistem aktual. Tahap ini dimulai dengan perhitungan kebutuhan rak dan kapasitas gudang untuk menentukan dimensi tiap rak dan menentukan layout gudang yang dipilih dengan membandingkan alternatif penyusunan rak di gudang dengan penyusunan rak secara melintang dan membujur. Perhitungan ini mempertimbangkan kebutuhan *aisle* agar *forklift* dapat meletakkan dan mengambil bahan baku yang disimpan di gudang (Gürel et al., 2023). Kemudian dilakukan pengujian model untuk alokasi bahan baku yang telah disesuaikan dengan kondisi aktual. Pengujian ini menggunakan data historis untuk melihat apakah model bekerja sesuai dengan fungsi tujuan yang ingin dicapai.

4. Analisis dan Penarikan Kesimpulan

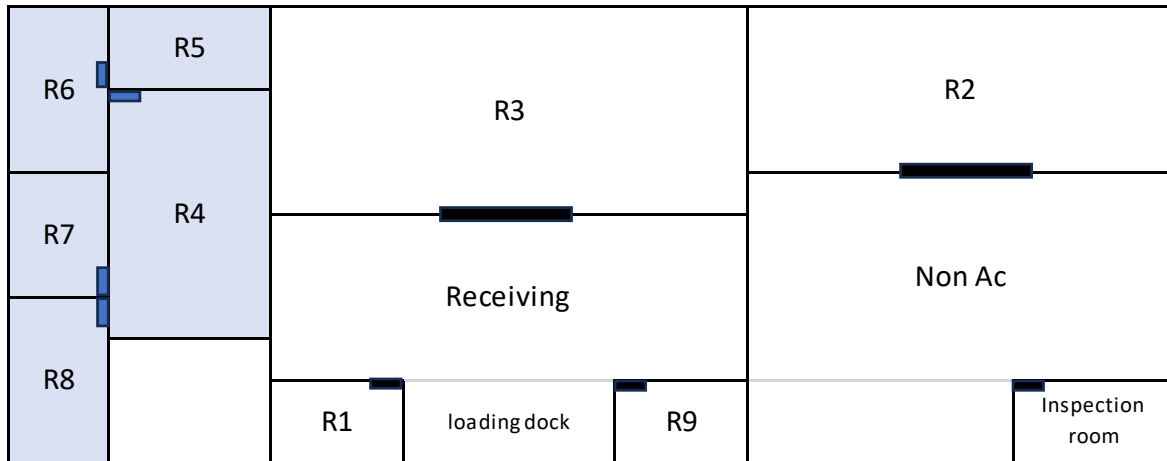
Tahap ini dilakukan analisis terhadap hasil pengolahan data yang telah dilakukan agar diketahui kinerja solusi terhadap permasalahan. Tahapan analisis ini dimulai dengan membandingkan kondisi aktual dengan kondisi hasil usulan untuk mengetahui perbedaan kondisi aktual dan usulan sehingga dapat dijadikan sebagai dasar pertimbangan penerapan solusi. Pekerjaan berikutnya adalah melakukan analisis kelebihan dan kekurangan model usulan sebagai dasar pertimbangan kebijakan penerapan solusi di PT X. Langkah selanjutnya menganalisis rancangan penerapan usulan solusi yang merupakan langkah-langkah yang perlu dilakukan jika perusahaan ingin menerapkan solusi yang diusulkan. Langkah terakhir dari tahap ini adalah menyimpulkan keseluruhan proses penelitian yang sesuai dengan tujuan penelitian.

3. Hasil dan Pembahasan

Bagian ini menjelaskan pengumpulan data, pengolahan data yang menghasilkan alternatif penyusunan bahan baku di gudang PT X, kemudian dilakukan analisis untuk membandingkan model dengan kondisi aktual.

1. Pengumpulan Data

PT X memiliki beberapa jenis gudang, namun study ini berfokus pada gudang bahan baku. Berdasarkan karakteristik produk yang disimpan, gudang bahan baku terdiri atas beberapa area seperti pada Gambar 1.



Gambar 1 Denah gudang pada kondisi aktual

Secara umum area gudang terdiri atas gudang etanol/cairan yang digunakan untuk menyimpan bahan baku berupa ethanol ataupun cairan, gudang non-AC untuk menyimpan bahan baku yang dapat disimpan pada suhu normal dan gudang AC yang digunakan untuk menyimpan bahan baku yang harus disimpan pada suhu dingin. Pada studi ini berfokus pada gudang AC yang terdiri dari 5 ruangan yaitu R4 sampai R8. Gudang ini dipilih karena memiliki frekuensi dan variansi yang tinggi namun luas ruangan tidak terlalu besar sehingga kapasitas penyimpanan bahan baku sedikit. Metode penyimpanan saat ini di gudang PT X adalah metode *block stacking* yang merupakan penyimpanan bahan baku berukuran 1,2 m x 1,2 m x 1,2 m. Saat ini pengangkutan bahan baku menggunakan dua jenis *material handling* yaitu *forklift* dan troli elektrik. *Forklift* digunakan untuk meletakkan dan mengambil bahan baku pada tempat yang tinggi karena *material handling* ini memiliki kemampuan naik dan turun. Kemudian *material handling* troli elektrik digunakan mengambil dan meletakkan bahan baku ditempat yang rendah. Dimensi troli elektrik lebih kecil dari *forklift* sehingga dianggap lebih praktis dalam memindahkan bahan baku selain itu karena dimensinya yang lebih kecil, troli elektrik dapat menjangkau bahan baku yang lokasinya tidak dapat dijangkau oleh *forklift*. Pengoperasian troli elektrik tidak dilakukan manual menggunakan tenaga manusia namun menggunakan tenaga listrik. *Forklift* memiliki dimensi 3.9 m dengan maksimum berat yang dapat diangkat adalah 2,5-ton dan jangkauan ketinggian maksimum adalah 3 m.

Bahan baku yang disimpan pada gudang menggunakan jenis kemasan yang berbeda-beda. Terdapat 5 jenis kemasan yaitu sak dengan dimensi 52 cm x 32 cm x 13 cm dengan berat 25 kg, *vat* dengan dimensi 38 cm x 46 cm dengan berat 25 kg, koli memiliki dimensi 12 cm x 12 cm x 12 cm dengan berat 3 kg, drum memiliki dimensi 40 cm x 67 cm dengan berat 25 kg dan boks memiliki dimensi 36 cm x 36 cm x 27 cm dengan berat 10 kg.

2. Model Matematis

Penentuan alokasi setiap bahan baku menggunakan model Hungarian (Rabbani et al., 2019) yang memiliki fungsi tujuan menentukan alokasi pekerja untuk meminimasi biaya. Namun model ini juga dapat diaplikasikan pada berbagai permasalahan yang berkaitan dengan alokasi seperti alokasi pekerja, alokasi mesin, alokasi letak barang (Chen et al., 2021; Khoo et al., 2020; Nar & Kotecha, 2022; Pashchenko et al., 2015). Persamaan (1) ini merupakan model matematis untuk fungsi tujuan minimasi biaya operator yang dibutuhkan untuk mengerjakan suatu pekerjaan

$$Min Z = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} X_{ij} \tag{1}$$

dengan c_{ij} merupakan biaya operator i apabila ditugaskan pada pekerjaan j ($i = 1,2,3, \dots, n$ dan $j = 1,2,3, \dots, n$). Variabel keputusan pada persamaan (2) bernilai biner yaitu 0 atau 1 pada persamaan

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{operator } i \text{ ditugaskan pada pekerjaan } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (2)$$

Constrain pada model ini adalah jumlah operator sama dengan jumlah pekerjaan, setiap operator ditugaskan pada tepat satu pekerjaan dan setiap pekerjaan dikerjakan oleh tepat satu operator. Secara matematis batasan ditulis pada persamaan (3)

$$\begin{aligned} \sum_{j=1}^n X_{ij} &= 1, \text{ dengan } j = 1,2,3, \dots, n \\ \sum_{i=1}^n X_{ij} &= 1, \text{ dengan } i = 1,2,3, \dots, n \end{aligned} \quad (3)$$

Model acuan pada persamaan (1) termasuk batasan dan variabel keputusan belum sesuai dengan kondisi aktual. Variabel keputusan pada model acuan merupakan penugasan tiap operator yang tersedia pada tiap pekerjaan namun pada kondisi aktual variabel keputusan merupakan letak tiap palet yang harus disimpan pada tiap lokasi penyimpanan. Selanjutnya pada fungsi tujuan model acuan merupakan minimasi biaya penugasan operator pada tiap pekerjaan namun pada kondisi aktual fungsi tujuan adalah minimasi total perpindahan *material handling*. Batasan yang pertama pada model acuan adalah jumlah operator sama dengan jumlah pekerjaan sedangkan pada kondisi aktual batasan adalah jumlah palet yang akan disimpan sama dengan jumlah lokasi penyimpanan. Batasan yang kedua pada model acuan adalah setiap operator ditugaskan tepat satu pekerjaan dan setiap pekerjaan dikerjakan oleh satu operator namun pada kondisi aktual batasan kedua adalah setiap palet disimpan tepat pada satu lokasi dan setiap lokasi ditempati oleh tepat satu palet.

Berdasarkan kondisi aktual, tujuan dari tugas ini bukan meminimasi biaya namun meminimasi total perpindahan handling material yang akan dibutuhkan saat pengambilan dan pengalokasian bahan baku. Persamaan (4) merupakan modifikasi fungsi tujuan acuan yang sesuai dengan kondisi aktual.

$$\text{Min } \Delta = \sum_{k=1}^n \sum_{l=1}^n d_l f_k X_{kl} \quad (4)$$

dengan d_l merupakan jarak lokasi penyimpanan l dari pintu l dari pintu keluar/masuk, f_k adalah frekuensi keluar masuk palet bahan baku k , k adalah palet bahan baku ($k = 1,2,3, \dots, n$), l merupakan lokasi penyimpanan ($l = 1,2,3, \dots, n$). Variabel keputusan yang digunakan adalah modifikasi dari model acuan, secara matematis ditulis dalam persamaan (5)

$$x_{kl} = \begin{cases} 1, & \text{palet } i \text{ diletakkan pada lokasi } j \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases} \quad (5)$$

Batasan pada studi ini menggunakan batasan pada model acuan dengan modifikasi jumlah palet bahan baku sama dengan jumlah lokasi penyimpanan, setiap palet diletakkan pada tepat satu lokasi penyimpanan dan setiap lokasi ditempati oleh tepat satu palet bahan baku. Secara matematis constrain ditulis pada persamaan (6)

$$\sum_{l=1}^n X_{kl} = 1, \text{ dengan } l = 1,2,3, \dots, n$$

$$\sum_{k=1}^n X_{kl} = 1, \text{ dengan } k = 1,2,3, \dots, n$$

(6)

3. Pengolahan data

Perhitungan kapasitas gudang bahan baku menggunakan sistem *racking* dengan menggunakan data eksisting. Perhitungan dimulai dengan menentukan panjang dan lebar rak berdasarkan ukuran palet yang digunakan untuk menyimpan bahan baku. Meskipun penyimpanan bahan baku menggunakan rak namun tetap harus menggunakan palet yang kemudian disusun di atas rak. Hal ini dilakukan untuk memudahkan proses *material handling*. Ukuran rak disesuaikan dengan ukuran palet yaitu 1.2 m x 1.2 m meskipun ukuran palet tidak tepat 1.2 m x 1.2 m namun sedikit kurang dari angka tersebut. Ukuran rak ini dipilih agar diperoleh dimensi yang optimal, jika lebih kecil dari 1.2 m x 1.2 m maka setiap rak tidak dapat mengakomodasi palet yang digunakan sehingga diperlukan penggantian palet. Penggantian palet membutuhkan biaya yang besar sehingga menjadi tidak optimal. Jika ukuran rak lebih dari 1.2 m x 1.2 m maka terdapat banyak ruang kosong yang tidak dimanfaatkan sehingga mengurangi kapasitas gudang.

Setelah panjang dan lebar rak diketahui, langkah selanjutnya adalah menentukan tinggi rak. Penentuan tinggi rak berdasarkan karakteristik kemasan bahan baku, ada bahan baku yang dapat ditumpuk dan ada pula bahan baku yang tidak dapat ditumpuk. Berdasarkan SOP PT X maksimal penumpukan kemasan adalah tujuh tumpukkan. Namun kenyataannya ada kemasan bahan baku yang sebaiknya tidak ditumpuk atau boleh ditumpuk namun tidak samapi tujuh tumpukkan. Berdasarkan hasil pengamatan langsung, beberapa bahan baku yang boleh ditumpuk yaitu sebagai berikut

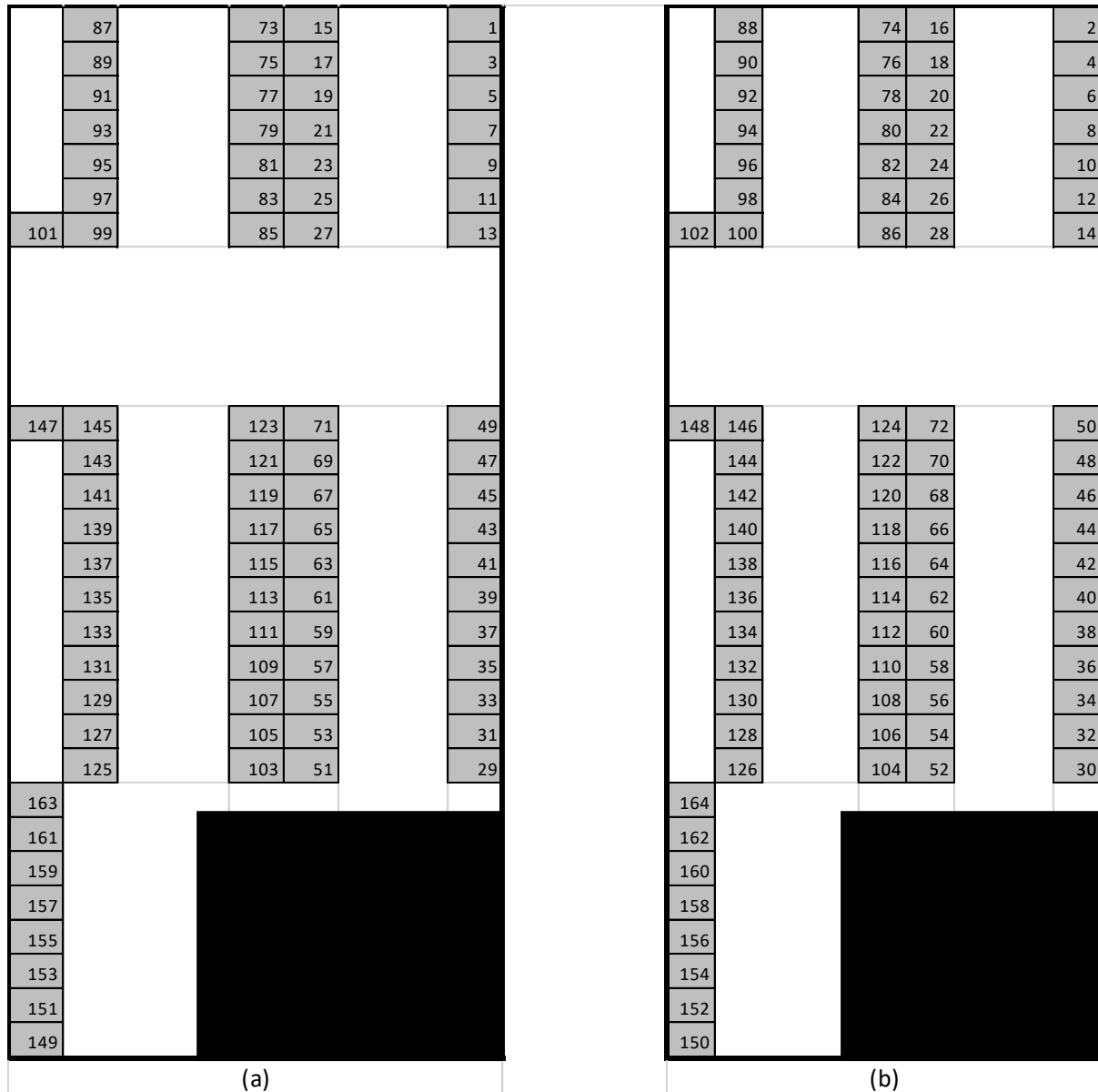
- Kemasan sak, dapat ditumpuk hingga tujuh tumpukkan dengan tinggi 111 cm. Kemasan ini cukup fleksibel jika ditumpuk sampai tujuh tumpukkan karena tidak terlalu tinggi sehingga cukup aman saat proses *material handling*.
- Kemasan *vat*, dapat ditumpuk namun tidak mencapai tujuh tumpukkan. Tutup *vat* terbuat dari besi sehingga masih memungkinkan untuk ditumpuk namun sebaiknya hanya 2 tumpukkan supaya tidak terlalu tinggi dan cukup aman saat proses *material handling*. Tinggi *vat* maksimum adalah 112 cm
- Kemasan boks, boleh ditumpuk namun tidak mencapai tujuh tumpukkan sebaiknya maksimal tiga tumpukkan agar beban dapat ditahan boks aman saat proses *material handling*. Maksimal tinggi tumpukkan boks adalah 119 cm
- Kemasan koli, dapat ditumpuk namun tidak mencapai tujuh tumpukkan. Disarankan maksimal tiga tumpukkan agar aman saat proses *material handling*.

Kemasan yang tidak dapat ditumpuk yaitu kemasan drum karena tutup drum terbuat dari plastik dan cukup berisiko jika ditumpuk. Selain itu apabila ditumpuk maka tinggi drum berisiko tinggi dalam proses handling. Maksimal tinggi drum adalah 102 cm.

Hasil pengamatan langsung memberi informasi bahwa tumpukkan bahan baku paling tinggi yaitu 119 cm, oleh karena itu setiap tingkatan dibuat 120 cm agar fleksibel untuk semua jenis bahan baku. Apabila dikemudian hari dilakukan perubahan letak bahan baku maka rak yang tersedia cukup fleksibel. Karena rak bersifat fleksibel maka kebijakan penyimpanan yang diusulkan adalah *shared storage policy* yang artinya seluruh rak dapat menyimpan seluruh bahan baku. Hal ini sesuai dengan penelitian yang telah dilakukan oleh Peng menggunakan model *shared storage* di kawasan industri (Peng et al., 2023).

Berdasarkan informasi ukuran dimensi rak yaitu 1.2 m x 1.2 m x 1.2 m dan mempertimbangkan lebar *aisle* sebesar 3,9 m agar dapat diakses *forklift* saat melakukan *material handling* maka perlu dilakukan pembongkaran tembok pembatas pada ruangan R4 sampai R8. Hal ini memungkinkan untuk dilakukan karena kelima ruangan tersebut memiliki karakteristik yang sama yaitu ruangan menggunakan

AC. Setelah dilakukan pembongkaran tembok dan penyusunan rak searah sumbu y maka gudang dapat menampung 83 rak di bagian dasar gudang. Kondisi eksisting, tinggi gudang bahan baku adalah 2.5 m dan tinggi rak maksimum yang diusulkan adalah 1.2 m maka kita dapat mengusulkan gudang menampung dua tingkat rak. Sehingga kita dapat memperoleh kapasitas rak sebesar 166 rak. Gambar (2) menunjukkan layout rak yang diusulkan dengan dua tingkatan. Layout ini menggunakan model model Hungarian yang telah dimodifikasi dengan mempertimbangkan bahan baku yang memiliki frekuensi keluar dan masuk. Dimensi bagian gudang yang ditampilkan pada gambar (2) yaitu 14 m x 36.5 m dengan *aisle* sepanjang 3.9m dan dimensi tiap rak 1.2 m x 1.2 m x 1.2 m. Ruangang yang berwarna hitam diabaikan pada studi ini.



Gambar 2 Rekomendasi tata letak (a) pada tingkat pertama; (b) pada tingkat kedua

Bahan baku yang memiliki frekuensi keluar dan masuk diletakkan dekat pintu keluar dan masuk sedangkan bahan baku yang memiliki frekuensi keluar dan masuk rendah ditempatkan di lokasi paling jauh dari pintu. Hal ini menunjukkan bahwa model yang dipilih dan dimodifikasi telah berjalan sesuai

dengan fungsi tujuan sehingga memungkinkan untuk diterapkan dalam pengalokasian bahan baku di gudang PT X.

4. Analisis

Kondisi aktual penyimpanan bahan baku menggunakan metode *block stacking* dimana palet disusun berjajar sehingga tidak memanfaatkan tinggi bangunan. Apabila tinggi bangunan dimanfaatkan pada kondisi ini maka palet disusun ke atas dan menimpa bahan baku. Hal ini cukup beresiko karena akan merusak bahan baku dibawahnya. Selain itu, apabila bahan baku yang dibutuhkan berada di posisi bawah maka mempersulit proses *material handling* karena harus memindahkan bahan baku di atas terlebih dahulu. Oleh karena itu diusulkan metode *racking* yaitu dengan membuat rak sebagai alat bantu penyimpanan. Penggunaan rak ini dapat memanfaatkan tinggi bangunan sehingga dapat menambah kapasitas gudang tanpa memberikan risiko tertimpa bahan baku lainnya. Selain itu, metode *racking* ini dapat mempermudah proses *material handling*. Hal ini sesuai dengan sistem *racking* yang telah dilakukan oleh Dewi (Fitria et al., 2017.) dalam meminimasi total ongkos dan perancangan tata letak oleh Azis (Aziz et al., 2014) sebagai pendukung pengendalian barang di gudang.

Selain penyimpanan bahan baku, kami juga mempelajari pengalokasian bahan baku. Pada kondisi aktual pengalokasian bahan baku menggunakan metode *random storage policy* yaitu bahan baku ditempatkan pada lokasi yang kosong. Hal ini mengakibatkan ketidakteraturan alokasi bahan baku karena tidak mempertimbangkan frekuensi masuk dan keluar. Pada kondisi tertentu, bahan baku yang memiliki frekuensi keluar dan masuk diletakkan jauh dari pintu sedangkan yang memiliki frekuensi keluar dan masuk yang rendah diletakkan dekat dengan pintu. Hal ini mengakibatkan proses *material handling* tidak optimal. Oleh karena itu, penentuan alokasi bahan baku menggunakan metode Hungarian yang mempertimbangkan frekuensi keluar masuk bahan baku (Brandl, 2022). Bahan baku yang memiliki frekuensi tinggi diletakkan dekat pintu, begitu juga sebaliknya sehingga dapat mempermudah proses peletakkan dan pengambilan bahan baku. Hasil ini didukung dengan penelitian oleh Kumar pada optimisasi gudang dan logistik (Kumar et al., 2022).

Penggunaan model usulan ini memberikan beberapa kelebihan dan kekurangan yaitu pengambilan dan peletakkan bahan baku menjadi lebih mudah dan cepat karena seluruh lokasi dapat dijangkau dengan *forklift* namun kondisi ini membutuhkan lebih banyak ruangan. Kelebihan berikutnya adalah satu jenis produk antar batch tidak akan tercampur di dalam satu palet namun kondisi ini membutuhkan ongkos untuk pembuatan biaya rak. Selain itu, kelebihan dari model usulan ini adalah bahan baku aman karena tidak ada tumpukan palet di atasnya namun apabila terdapat jenis bahan baku berbeda maka diharuskan melakukan *running* model kembali untuk memperoleh solusi baru yang optimal.

4. Simpulan

PT X merupakan perusahaan yang bergerak dalam bidang farmasi dan memiliki gudang sendiri untuk penyimpanan bahan baku obat. Saat ini terjadi peningkatan permintaan sehingga meningkatkan produksi obat-obatan sehingga menyebabkan kebutuhan kapasitas gudang bahan baku tidak mencukupi. Kendala pada gudang ditemukan karena ada permasalahan penataan penyimpanan bahan baku yang belum sesuai. Saat ini perusahaan menggunakan metode *block stacking* dalam penyimpanan bahan baku. Perusahaan berencana menggunakan metode berbeda yang dianggap lebih efisien yaitu metode *racking*. Penelitian ini dimulai dengan mengukur rak gudang pada kondisi aktual kemudian menentukan kapasitas gudang tambahan dengan menghitung kapasitas gudang aktual menggunakan metode *racking*. Selanjutnya diberikan usulan model penyimpanan bahan baku. Dimensi rak yang diusulkan pada gudang PT X di ruang R4 sampai R8 adalah 1.2 m x 1.2 m x 1.2 m, rak disusun searah sumbu y sehingga diperoleh kapasitas gudang sebesar 166 buah palet. Jumlah palet terbanyak yang harus disimpan adalah 428 buah, sementara kapasitas gudang saat ini hanya dapat menampung kurang dari 39%. Oleh karena itu perusahaan perlu menambah gudang baru dengan kapasitas sebesar 263 palet. Pengalokasian bahan baku menggunakan *shared storage policy* dengan metode Hungarian yang dimodifikasi untuk mengalokasikan palet bahan baku dengan mempertimbangan jarak lokasi ke

pintu sesuai dengan frekuensi keluar masuk. Model ini telah diuji dengan menggunakan data sekunde. Pengujian sesuai dengan fungsi tujuan yang diharapkan dengan memberikan hasil total perpindahan *material handling* mendekati 100.000 meter.

Referensi

- Aziz, H., Choiri, M. & Rahman, A., 2014, PERANCANGAN TATA LETAK DAN PALLET *RACKING* SYSTEM SEBAGAI PENDUKUNG PENGENDALIAN BARANG DI GUDANG PRODUK JADI (Studi Kasus PT. Tiara Kurnia Malang) LAYOUT AND PALLET *RACKING* SYSTEM DESIGN FOR SUPPORTING MATERIALS CONTROL IN THE FINISHED PRODUCT WAREHOUSE (Case Study PT. Tiara Kurnia Malang).
- Brandl, C., Brunner, O., Marzaroli, P., Hellig, T., Johnen, L., Mertens, A., Tarabini, M. & Nitsch, V., 2022, 'Using real-time feedback of L5/S1 compression force based on markerless optical motion capture to improve the lifting technique in manual materials handling', *International Journal of Industrial Ergonomics*, 91.
- Chen, X. (Michael), Chen, X., Zheng, H. & Xiao, F., 2021, 'Efficient dispatching for on-demand ride services: Systematic optimization via Monte-Carlo tree search', *Transportation Research Part C: Emerging Technologies*, 127.
- Daellenbach, H.G. & Mcnickle, D.C., 2015, *Management science Decision making through systems thinking*.
- Derhami, S., Smith, J.S. & Gue, K.R., 2020, 'A simulation-based optimization approach to design optimal layouts for *block stacking* warehouses', *International Journal of Production Economics*, 223.
- Fitria, A., Dewi, P., Andrawina, L. & Santosa, B., 2017, PERANCANGAN *RACKING* SYSTEM MENGGUNAKAN PENDEKATAN MULTIPLE KNAPSACK PROBLEM UNTUK MENINGKATKAN KAPASITAS PENYIMPANAN PRODUK FMCG DENGAN TOTAL ONGKOS RANCANGAN YANG MINIMUM PADA GUDANG PT. XYZ BANDUNG.
- Gürel, S., Gultekin, H. & Emiroglu, N., 2023, 'Scheduling a dual gripper *material handling* robot with energy considerations', *Journal of Manufacturing Systems*, 67, 265–280.
- Kim, T.Y., Woo, S.H. & Wallace, S.W., 2023, 'A recipe for an omnichannel warehouse storage system: Improving the storage efficiency by integrating *block stacking* and *racking*', *Computers and Industrial Engineering*, 182.
- Kumar, D., Kr Singh, R., Mishra, R. & Fosso Wamba, S., 2022, 'Applications of the internet of things for optimizing warehousing and logistics operations: A systematic literature review and future research directions', *Computers and Industrial Engineering*, 171.
- Liu, P., Kandasamy, R., Ho, J.Y., Wong, T.N. & Toh, K.C., 2023, 'Dynamic performance analysis and thermal modelling of a novel two-phase spray cooled rack system for data center cooling', *Energy*, 269.
- Nar, D. & Kotecha, R., 2022, 'Optimal waypoint assignment for designing drone light show formations', *Results in Control and Optimization*, 9.
- Pashchenko, F.F., Kuznetsov, N.A., Ryabykh, N.G., Minashina, I.K., Zakharova, E.M. & Tsvetkova, O.A., 2015, Implementation of train scheduling system in rail transport using assignment problem solution, *Procedia Computer Science*, vol. 63, 154–158, Elsevier B.V.
- Peng, S., Bao, W., Liu, H., Xiao, X., Shang, J., Han, L., Wang, S., Xie, X. & Xu, Y., 2023, 'A peer-to-peer file storage and sharing system based on consortium blockchain', *Future Generation Computer Systems*, 141, 197–204.

- Rabbani, Q., Khan, A. & Quddoos, A., 2019, 'Modified Hungarian method for unbalanced assignment problem with multiple jobs', *Applied Mathematics and Computation*, 361, 493–498.
- Soufi, Z., David, P. & Yahouni, Z., 2021, A methodology for the selection of *Material handling* Equipment in manufacturing systems, *IFAC-PapersOnLine*, vol. 54, 122–127, Elsevier B.V.
- Winarno Metodologi, M.E. & Dalam, P., 2018, *METODOLOGI PENELITIAN DALAM PENDIDIKAN JASMANI*.
- Kementerian Kesehatan Republik Indonesia, 2018, 'kebijakan dan reformasi peraturan industri farmasi', Kementerian Kesehatan