

BAB II

TINJAUAN PUSTAKA

Bab tinjauan pustaka berisi tentang teori-teori atau penelitian sebelumnya yang berkaitan dengan penelitian yang akan dilakukan sebagai pendukung pelaksanaan penelitian. Berikut adalah tinjauan pustaka yang digunakan pada penelitian ini.

2.1 Penelitian Terdahulu

Sebelum penelitian ini dilakukan, terdapat beberapa penelitian yang cukup relevan dengan penelitian ini, baik dari segi tujuan maupun metode yang digunakan. Berikut adalah penjelasan penelitian terdahulu.

1. Vidiarta (2016) melakukan penelitian untuk penyelesaian masalah meningkatkan kapasitas penyimpanan sering mengalami *overcapacity* karena tidak didukung infrastruktur PT XYZ di Jawa Barat. PT XYZ memiliki gudang produk jadi menggunakan sistem *floor stack*. Peneliti mengusulkan *storage racking system* dengan pemodelan matematika menggunakan *dynamic programming algorithm* dengan pendekatan *knapsack problem*. Tujuan yang dicapai adalah kombinasi jumlah *lanes* antara *selective racks* dan *non-selective "Drive-Thru" racks* dengan memperhatikan *demand rate, production rate, cycle time, safety stock, dan production time* dari setiap SKU. Perhitungan dilakukan menggunakan *software Matlab*. Berdasarkan hasil perhitungan tersebut diperoleh hasil peningkatan kapasitas gudang sebesar 93% yaitu dari 2.520 *pallet* menjadi 4.864 *pallet* dengan tingkat utilitas masing-masing *racks* sebesar 67.8% untuk *non-selective racks* dan 20.5% untuk *selective racks*.
2. Ferrara, A., Elisa, G., Grasi, A., & Rimini, B (2014) melakukan penelitian dengan judul "*An optimization for the design of rack storage system*". Tujuan dari penelitian ini adalah untuk memaksimalkan utilitas volume dari sistem penyimpanan. Perancangan sistem penyimpanan rak *multiple* produk memperhatikan pola *delivery* dan produksi dari *different product*. Kebijakan penyimpanan yang digunakan *shared storage policies*. Penelitian menggunakan dua *key performance indicator* (KPI), yaitu *volumetric utilization* dan *storage efficiency* gudang. Rak yang digunakan adalah *selective racks* dan *non-selective LIFO racks* atau *drive-in*. Metode optimisasi

diaplikasikan pada sistem pergudangan di Emilia Romagna Region, Italy yang beroperasi di bidang industri makanan. Hasil dari perhitungan *linear programming* model tanpa parameter *alpha* meningkatkan *volumetric utilization drive-in racks* dan *selective racks*, masing-masing sebesar 47.1% dan 44.0%. Hasil perhitungan menggunakan parameter *alpha* ada dua kemungkinan solusi yang meningkatkan *volumetric utilization* gudang yaitu *alpha* dengan nilai 0.2 dan 0.3. *Alpha* 0.2 meningkatkan *volumetric utilization drive-in racks* sebesar 46.9% dan *selective racks* 44.0%. Sedangkan *alpha* 0.3 meningkatkan *volumetric utilization drive-in racks* sebesar 46.9 % dan *selective racks* 42.8%.

3. Lestari (2016) melakukan penelitian untuk mengatasi masalah kekurangan kapasitas pada gudang produk jadi dengan mengubah kebijakan penyimpanan dan menentukan *layout* terbaik berdasarkan kriteria aksesibilitas, jarak, dan ongkos *material handling*. Metode yang digunakan adalah *racking system* berbasis *class based storage*. Hasil penelitian ini adalah *layout* dengan *class based storage* tipe *within aisle* untuk produk MTS dan *layout* dengan *class based storage* tipe *cross aisle* untuk produk MTO. Penurunan jarak perpindahan sebesar 14.58% dengan usulan gudang produk terpisah. Ongkos *material handling* untuk produk MTS didapatkan sebesar Rp 44.461.225,94 dan untuk gudang produk MTO sebesar Rp 30.379.940,27.

Berikut ini merupakan tabel perbandingan penelitian terdahulu yang digunakan.

Tabel 2.1
Perbandingan Penelitian Terdahulu

	Vidiarta (2016)	Ferrara et al. (2014)	Lestari (2016)	Penelitian ini (2017)
Objek penelitian	Gudang produk jadi FMCG di Jawa Barat	Sistem pergudangan di Emilia Romagna Region, Italy	Gudang produk jadi PT Maya Food Industries	Gudang <i>racking</i> produk jadi baru PT Berlina Tbk-Pandaan
Metode	<i>Storage racking system, dynamic programming algorithm, pendekatan knapsack problem</i>	<i>Storage Racking system, LIFO racks, linear programming</i>	<i>Racking system, Class Based Storage, pengendalian barang di gudang</i>	<i>Racking system, dynamic programming algorithm, FIFO racks, Class based storage policy, Dedicated storage policy</i>
Hasil penelitian	Peningkatan kapasitas gudang, desain <i>layout</i> gudang dengan <i>racking system</i>	Peningkatan <i>utilization volumetric racking system</i> pada gudang	Perancangan <i>layout</i> dan <i>racking system</i> gudang produk jadi, penurunan jarak <i>handling</i> dan ongkos MH, dan sistem pengendalian barang gudang	Utilisasi volumetrik dan efisiensi penyimpanan, rancangan <i>layout</i> gudang <i>racking</i> produk jadi, penempatan produk <i>class based storage</i>

2.2 Gudang

Gudang merupakan tempat kegiatan untuk menyimpan barang yang akan digunakan dalam proses produksi, hingga barang tersebut digunakan berdasarkan jadwal produksi (Apple, 1990). Posisi gudang dapat berada di dalam ruangan atau di luar ruangan tersendiri. Hal ini tergantung perusahaan untuk memisahkan gudang dari ruangan lain dengan menambah biaya bangunan untuk gudang. Lokasi gudang terkait dengan karakteristik barang yang akan disimpan di gudang. Gudang selain sebagai tempat penyimpanan, juga digunakan sebagai tempat persediaan barang atau material.

2.2.1 Fungsi Gudang

Gudang dibangun dan dioperasikan untuk dapat menjalankan proses pelayanan kepada pelanggan secara responsif. Gudang tidak hanya dioperasikan sebagai fungsi pergudangan untuk responsif terhadap konsumen, tetapi gudang juga memiliki beberapa fungsi diantaranya adalah sebagai berikut (Heragu, 2008):

1. Menyediakan tempat penyimpanan barang atau produk sementara waktu
Penyimpanan barang di dalam gudang didistribusikan ke pelanggan dalam memenuhi permintaan yang dilakukan pada setiap skala ekonomi produksi, transportasi, dan perpindahan barang.
2. Sebagai tempat penempatan pesanan pelanggan
Gudang dengan menggunakan *automated* atau *manual material handling system* menempatkan pesanan pelanggan untuk mendistribusikannya langsung ke pelanggan.
3. Pelayanan sebagai fasilitas pelanggan
Gudang adalah tempat perpindahan untuk pendistribusian barang dengan kontak langsung ke pelanggan. Gudang memberikan pelayanan sebagai *service facility* dan mengatur perpindahan barang yang rusak atau salah, hingga pelayanan setelah penjualan.
4. Untuk melindungi barang
Gudang memiliki sistem keamanan dan keselamatan untuk menyimpan barang dari banjir, pencurian, kebakaran, dan permasalahan cuaca lainnya.
5. Memisahkan material yang berbahaya atau mudah terkontaminasi
6. Memberikan pelayanan nilai tambah pada barang seperti *packaging*, pemeriksaan atau inspeksi barang yang datang, menyiapkan pesanan pelanggan, dan sebagainya.
7. Menjaga persediaan sebagai penyangga dan penyeimbang antara produksi dan variasi permintaan yang sulit diprediksi.

2.2.2 Karakteristik Gudang

Gudang memiliki peranan penting di dalam pabrik, gudang dapat dibedakan menjadi tiga macam sesuai karakteristik material, yaitu (Frazelle, 2002):

1. Gudang bahan baku dan komponen.

Gudang ini menyimpan barang atau material yang akan digunakan pada proses produksi atau proses *assembly*.

2. Gudang barang setengah jadi (*work in process*)

Gudang ini menyimpan barang atau material setengah jadi dari proses produksi untuk diproses atau dirakit.

3. Gudang barang atau produk jadi

Gudang ini digunakan untuk menyimpan barang jadi sebagai pengendali variasi antara tingkat produksi dan tingkat permintaan.

2.2.3 Tipe-Tipe Gudang

Terdapat beberapa tipe gudang menurut Thompkins, et al. (2003), diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Raw material and component warehouses* adalah gudang yang digunakan sebagai tempat menyimpan bahan baku utama maupun bahan baku pendukung.
2. *Work in-process warehouses* adalah gudang yang digunakan sebagai tempat menyimpan produk yang setengah jadi atau belum selesai diproses.
3. *Finished goods warehouses* adalah gudang yang digunakan sebagai tempat menyimpan produk jadi.
4. *Distribution warehouses and distribution centers* adalah tempat penyimpanan himpunan berbagai macam produk dari satu perusahaan maupun banyak perusahaan untuk memenuhi permintaan konsumen.
5. *Fulfillment warehouses and fulfillment centers* adalah gudang yang digunakan sebagai tempat yang menerima, menyimpan, dan mengirim order kecil dari konsumen individu.
6. *Local warehouses* adalah gudang yang digunakan untuk memperpendek jarak atau jalur transportasi agar dapat memenuhi permintaan konsumen dengan responsif.
7. *Value-added service warehouses* adalah gudang yang memberikan fasilitas seperti pengemasan produk, pemberian label, pemberian tanda, pemberian harga, dan proses penambahan nilai lainnya.

2.2.4 Kebijakan Penyimpanan Gudang

Terdapat empat kebijakan penyimpanan dalam gudang, yaitu (Heragu, 2008):

1. *Dedicated storage policy*

Dedicated storage policy adalah kebijakan penyimpanan produk dengan lokasi yang tetap atau *fixed slot storage* (satu lokasi khusus untuk satu produk). Kebijakan ini memerlukan waktu pencarian barang atau *item* menjadi lebih cepat, namun ruang penyimpanan kurang efisien karena ruang kosong material atau barang tidak diijinkan untuk ditempati barang lain yang berbeda jenis. Terdapat dua jenis penggunaan *dedicated storage*, yaitu *part number sequence storage* dan *throughput-based dedicated storage*. Jenis *dedicated* yang sering digunakan adalah *part number sequence storage*, karena lebih sederhana. Lokasi penyimpanan produk berdasarkan nomor *part* yang diberikan dan penomoran yang dilakukan secara *random*. *Throughput-based dedicated storage* merupakan metode yang mempertimbangkan level aktivitas dan kebutuhan penyimpanan diantara produk yang akan disimpan. Jumlah alokasi penyimpanan yang diberikan harus mampu memenuhi kebutuhan maksimum suatu produk.

2. *Random policy*

Random policy merupakan kebijakan yang digunakan dengan lokasi penyimpanan yang tersebar atau tempat penyimpanan yang berubah setiap waktu. Produk yang disimpan tidak memiliki aturan atau bebas diletakkan di lokasi manapun. Hal ini berdampak pada waktu pengambilan produk di gudang yang membutuhkan waktu lebih banyak untuk aktivitas mencari lokasi produk yang akan diambil. Asumsi yang digunakan pada kebijakan ini adalah setiap slot penyimpanan yang kosong memiliki pilihan yang sama untuk menyimpan saat aktivitas penyimpanan dilakukan dan tiap unit produk tertentu dianggap sama dalam aktivitas pengambilan produk.

3. *Cube-per-order index (COI) policy*

Kebijakan COI adalah kebijakan sederhana yang digunakan untuk mengalokasikan *item* barang di area penyimpanan dalam gudang. COI untuk suatu *item* didefinisikan sebagai rasio dari area penyimpanan yang diperlukan untuk suatu *item* terhadap jumlah aktivitas S/R *item* tersebut. Kebijakan COI menempatkan suatu *item* barang dimulai dengan jumlah aktivitas S/R besar dan kebutuhan ruang kecil.

4. *Class-based storage policy*

Class based storage merupakan penempatan bahan atau material berdasarkan kemiripan atau kesamaan jenis ke dalam suatu kelompok. Kelompok ini akan

ditempatkan ke dalam lokasi khusus di gudang. Kesamaan material atau barang dalam suatu kelompok dapat berupa kesamaan jenis *item* atau daftar pesanan konsumen. Kebijakan ini dapat disebut dengan *Pareto effect*. Barang atau material akan diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok, yaitu A, B, dan C, berdasarkan level aktivitas S/R. Jika persentase total aktivitas S/R antara 0 – 5 % akan dimasukkan ke dalam kelompok C, persentase antara 5 – 20% dimasukkan ke dalam kelompok B, dan di atas 20% dimasukkan ke dalam kelompok A. Untuk meminimasi waktu pengambilan barang, kelompok A dengan persentase aktivitas S/R terbesar harus disimpan di lokasi yang paling dekat dengan titik I/O, kemudian kelompok B, dan seterusnya hingga kelompok C.

5. *Shared storage policy*

Shared storage policy berada diantara dua kebijakan ekstrem *random* dan *dedicated storage*. Kebijakan ini mirip dengan *random policy* yang menggunakan lokasi yang sama untuk menempatkan *item* yang berbeda pada waktu yang berbeda. Akan tetapi kebijakan ini sangat mengontrol penempatan dengan hati-hati. *Item* yang termasuk *fast moving* akan ditempatkan di tempat yang dekat dengan I/O *point*. *Item* yang *slow moving* akan ditempatkan jauh dari I/O *point*. Alokasi penyimpanan dengan *shared policy* akan meningkatkan *throughput* dan utilisasi ruang. *Shared storage* memungkinkan produk berbeda ditempatkan dalam slot yang sama, meskipun pada saat itu ada satu produk yang sudah mengisi slot tersebut.

2.2.5 Sistem Rotasi Gudang

Sistem rotasi barang di gudang dapat dikelompokkan menjadi beberapa jenis, diantaranya adalah (Mulcahy, 1994):

1. FIFO

First In First Out (FIFO) merupakan prinsip bahwa barang yang pertama kali masuk ke dalam gudang maka pertama kali juga akan keluar dari gudang.

2. FEFO

First Expired First Out (FEFO) adalah prinsip yang mirip seperti FIFO. Perbedaannya dilihat berdasarkan waktu baik penggunaan barang atau kadaluarsanya. Barang yang kadaluarsa lebih awal akan meninggalkan gudang lebih awal juga.

3. LIFO

LIFO (*Last In First Out*) adalah prinsip barang yang pertama kali masuk ke dalam gudang maka akan menjadi yang terakhir keluar dari gudang.

2.3 Racking System

Racking system merupakan salah satu tipe penyimpanan dalam gudang yang sering digunakan. Penggunaan rak ini disesuaikan dengan karakteristik produk yang ada di dalam gudang tersebut. Konfigurasi rak yang membedakan antara jenis rak satu dengan yang lainnya adalah *lane depth capacity*, *stacking capacity*, *unit load access*, dan *capital expense* (Tompkins, et al., 2003).

2.3.1 Tipe-Tipe Rak

Secara umum, klasifikasi rak dibedakan menurut tipe barang dan beratnya. Kedua hal ini merupakan syarat mutlak sebagai pertimbangan dalam pemilihan penggunaan rak. Berdasarkan berat barangnya jenis rak dibedakan menjadi (Ricards, 2014):

1. *Light-duty shelving*

Light-duty shelving digunakan untuk menyimpan barang-barang yang memiliki berat sangat ringan. *Racking system* ini biasanya tidak menggunakan *pallet*, karena berat barang yang ringan dan biasanya memiliki dimensi yang kecil. Rak ini umumnya menggunakan papan *multiply* sebagai alas atau tatakan untuk menempatkan barang. Pada umumnya jenis barang yang disimpan pada sistem rak ini adalah obat-obatan dan komponen elektronik.

2. *Mid-duty shelving*

Mid-duty digunakan untuk menyimpan barang dengan karakteristik berat medium. Ada dua jenis *mid-duty*, yaitu *up mid-duty* dan *down mid-duty*. Perbedaan jenis tersebut dilihat dari kecenderungan berat dari barang tersebut. *Up* adalah tipe rak yang cenderung ke arah lebih berat, sedangkan *down* ke arah yang lebih ringan. Tipe *up* biasanya menggunakan *pallet* karena menyerupai *heavy-duty*, sedangkan tipe *down* lebih cenderung ke arah *light-duty* menggunakan rak. Model *up* biasanya tidak terlalu tinggi dan masih dapat dijangkau dengan menggunakan tangan biasa atau tangga dengan tanpa perlu menggunakan *forklift*.

3. *Heavy-duty racking*

Heavy-duty adalah tipe rak yang mutlak menggunakan *pallet* dalam aplikasinya. Tinggi dari tipe rak ini biasanya mencapai lima hingga enam meter. Untuk menjangkanya diperlukan *forklift* dengan jangkauan 6 meter atau dengan *order picker tools*. *Racking system* model ini biasanya banyak digunakan di perusahaan manufaktur dengan tipe *assembly*.

Menurut mekanisme kerjanya, *racking system* dapat digolongkan menjadi (Richards, 2014):

1. *Mezzanine rack*

Mezzanine rack merupakan salah satu jenis rak yang digunakan di sistem pergudangan modern, khususnya di bagian *finished product*. *Mezzanine rack* adalah tipe rak yang dalam skala kecil tidak memiliki batasan area. Fleksibilitas dalam pengaturan dimensi per area tinggi sehingga tipe ini cocok digunakan untuk menyimpan barang-barang yang mempunyai dimensi besar dengan variasi dimensi beragam. Salah satu jenis barang yang cocok disimpan dengan jenis rak ini adalah sepeda jadi.

2. *Drawer rack*

Drawer rack adalah salah satu tipe rak yang mempunyai slot berupa laci, sehingga memudahkan *user* untuk mengambil barang. Tipe ini termasuk tipe *light-duty* biasanya digunakan untuk menyimpan komponen elektronik.

3. *Cantilever rack*

Cantilever rack adalah tipe rak *heavy-duty* dengan model menyerupai huruf T atau huruf Y. Pada umumnya rak ini digunakan untuk menyimpan produk pipa dan turunannya.

4. *Pallet rack*

Pallet rack adalah tipe rak yang paling sering digunakan terutama untuk perusahaan manufaktur. Tipe ini cocok untuk perusahaan *assembly* dengan jumlah komponen yang banyak. Model ini menggunakan *pallet* standar untuk meletakkan barang.

5. *Drive-in rack*

Drive-in rack adalah turunan dari jenis *pallet rack*. *Drive-in rack* membutuhkan *pallet* dengan desain khusus yang mempunyai jalan atau lubang di bagian bawah untuk dapat memasukkan produk ke dalam rak. Proses pengambilan atau penempatan barang dengan *forklift* melewati kedua buah kaki *frame-set* menuju ke dalam *drive-in rack*.

6. *Pallet stacking frames*

Stacking frames memiliki *frame* atau penyangga untuk memudahkan proses penumpukan barang. Bentuk dari rak ini yaitu *pallet* pada alasnya kemudian di atas *pallet* terdapat *frame* (penyangga).

7. *Drive-thru rack*

Tipe rak ini memiliki prinsip yang sama seperti *drive-in rack*. Perbedaan keduanya adalah pada akses pengambilan. Rak tipe ini memungkinkan untuk diakses dua arah.

8. *Double deep rack*

Double deep rack merupakan media penyimpanan yang memiliki rak ganda. Rak ini hanya membutuhkan lebih sedikit *aisle* sehingga dapat meminimasi aisle. *Pallet* yang berada di dalam rak dapat diakses dari satu sisi *aisle* saja.

2.3.2 *Pallet Racking System*

Menurut Tompkins, et al. (2003) *pallet rack* merupakan jenis rak yang umum digunakan dalam sistem penyimpanan rak. *Pallet rack* menyediakan kemudahan akses untuk aktivitas penyimpanan maupun pengambilan produk baik dalam jumlah besar ataupun kecil sesuai kebutuhan. Struktur yang terbuat dari baja didesain untuk dapat menyimpan produk sesuai dengan ketinggian rak yang dibutuhkan. Dalam mendesain rak penyimpanan dimensi rak perlu diketahui untuk memastikan bahwa rak yang dibuat sesuai dengan ukuran produk yang akan disimpan ke dalam rak. Desain rak ini juga disesuaikan dengan dimensi bangunan yang tersedia. Terdapat tiga dimensi yang digunakan untuk mendesain rak, diantaranya adalah sebagai berikut:

1. *Rack depth*

Rack depth adalah dimensi kedalaman rak atau lebar rak yang ditentukan dari *pallet* yang akan digunakan untuk penyimpanan.

2. *Rack height*

Dimensi tinggi dari rak yaitu tinggi dari tiang penyangga rak. Ketinggian dapat ditentukan dari tinggi produk yang akan disimpan dengan *allowance* tertentu. Pada rak standar ketinggian rak penyangga diberikan *allowance* 2-3 inch sampai *load beam* di atasnya.

3. *Rack length*

Panjang rak dibagi menjadi dua, yaitu dimensi internal panjang *load beam* dan *centerline to centerline* panjang bukaan rak. Dimensi panjang *load beam* adalah panjang rak meliputi kombinasi lebar *pallet* penyimpanan dan *clearance* yang diperlukan. Dimensi *centerline to centerline* adalah panjang rak yang meliputi kombinasi dari panjang *load beam* dan panjang tiang penyangga.

2.4 Perancangan Tata Letak

Perancangan tata letak merupakan salah satu tahap perencanaan fasilitas yang bertujuan untuk mengembangkan suatu sistem produksi yang efektif dan efisien sehingga tercapai suatu proses produksi dengan biaya yang paling ekonomis (Heizer dan Render,

2006). Perancangan tata letak dilakukan berdasarkan interaksi-interaksi yang terdiri dari beberapa departemen atau elemen yang memenuhi kriteria-kriteria tertentu, sehingga interaksi tersebut optimal dari awal proses sampai dengan proses akhir suatu sistem produksi. Tata letak yang baik akan mendukung proses-proses yang terdapat didalam suatu sistem agar dapat berjalan dengan efektif dan efisien.

2.5 Tata Letak Gudang

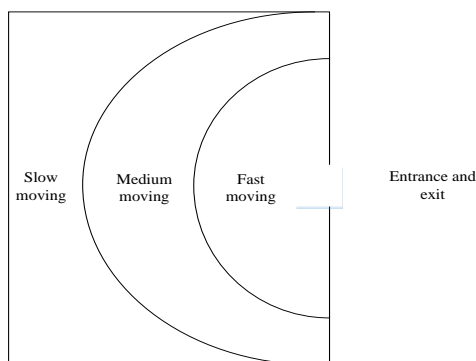
Perancangan tata letak gudang memiliki tujuan khusus yang harus ditentukan. Menurut Tompkins, et al. (2003) tujuan dari perancangan tata letak gudang diantaranya adalah:

1. Efisiensi penggunaan area yang tersedia
2. Mengefisiensikan aliran *material handling*
3. Menyediakan penyimpanan paling ekonomis berkaitan dengan biaya peralatan, penggunaan *space*, kerusakan material, *handling labor*, dan keselamatan operasional
4. Maksimum fleksibilitas dalam perubahan penyimpanan dan peralatan *handling*
5. Membuat gudang menjadi model yang baik dalam *housekeeping*.

Menurut Tompkins et al. (2003), untuk memenuhi tujuan terdapat prinsip-prinsip dalam pedoman perancangan, yaitu:

1. *Popularity*

Popularity merupakan prinsip meletakkan *item* yang memiliki *accessibility* terbesar di dekat titik I/O (*Input/Output*). Penggunaan prinsip Pareto digunakan untuk aplikasi material atau barang yang akan disimpan. *Popularity* menggunakan suatu rasio S/R (*Shipping/Receiving*). *Item* dengan rasio S/R terbesar akan didekatkan dengan titik I/O dan sebaliknya. Pembagian wilayah gudang dibagi menjadi tiga wilayah, yaitu *fast moving*, *medium moving*, dan *slow moving*. Berikut adalah gambar 2.1 yang menunjukkan pembagian wilayah berdasarkan *popularity*.



Gambar 2.1 Pembagian wilayah berdasarkan *popularity*
Sumber: Apple (1990)

2. *Similarity*

Prinsip *similarity* (kemiripan) *item* yang disimpan, yaitu *item* yang diterima dan dikirim bersama harus disimpan bersama-sama. Penyimpanan *item* yang mirip dalam daerah yang sama akan membuat waktu tempuh penerimaan dan pemilihan pesanan dapat diminimalisasi.

3. *Size*

Komponen-komponen kecil yang disimpan dalam gudang yang dirancang khusus untuk komponen-komponen besar akan membuang-buang luas lantai gudang. Komponen-komponen besar yang akan disimpan dalam gudang komponen tidak akan muat jika ukuran luas yang dibuat adalah untuk komponen kecil. Penetapan ukuran lokasi penyimpanan sangat diperlukan agar sesuai dengan ukuran *item* yang akan disimpan.

4. *Characteristics*

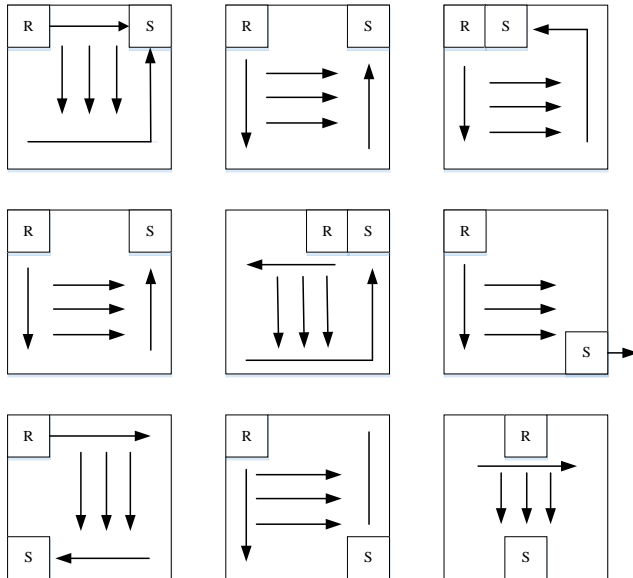
Karakteristik material yang akan disimpan seringkali berlawanan dengan metode *popularity*, *similarity*, dan ukuran/*size*. Beberapa karakteristik material dapat dikelompokkan sebagai berikut:

- a. Material mudah rusak
- b. Komponen bentuk khusus atau unik
- c. *Item* mudah hancur
- d. Material berbahaya (*hazardous material*)
- e. Keamanan material khusus
- f. *Compability* (kecocokan/kesesuaian)

5. *Space utilization*

Perencanaan penyimpanan memerlukan penentuan kebutuhan luas lantai untuk penyimpanan barang. Pertimbangan prinsip-prinsip *popularity*, *similarity*, ukuran, dan karakteristik material, tata letak harus dirancang agar dapat memaksimalkan utilitas luas lantai dan tingkat pelayanan. Beberapa faktor yang harus dipertimbangkan, diantaranya adalah konservasi luas lantai (konsentrasi dan utilisasi kubik untuk meminimalisasi *honeycombing*), keterbatasan luas lantai, *orderliness* dan *accessibility*.

Menurut Apple (1990) pola aliran bahan tergantung dari posisi *inbound* dan *outbound* yang ada pada gudang. Pola aliran dapat terbagi menjadi beberapa jenis yang dapat ditunjukkan dalam gambar 2.2.



Gambar 2.2 Pola aliran bahan yang mungkin pada gudang
Sumber: Apple (1990)

2.6 Metode Pengukuran Jarak

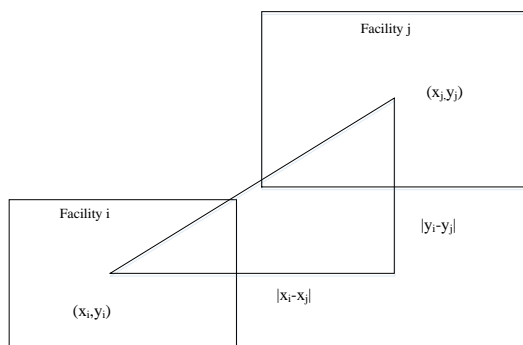
Metode pengukuran jarak perpindahan bahan ditentukan oleh frekuensi perpindahan antara fasilitas dan jarak antar fasilitas. Jarak aktual diukur berdasarkan dengan tipe material handling yang digunakan, waktu pengumpulan data, dan *availability qualified personnel* (Heragu, 2008). Sedangkan jarak antar fasilitas ditentukan oleh ukuran fasilitas dan teknik pengukuran jarak yang digunakan. Menurut Heragu (2008) ada beberapa teknik pengukuran jarak yang digunakan dalam tata letak, yaitu:

1. *Euclidean*

Pengukuran *euclidean metric* berdasarkan garis lurus jarak antara pusat departemen-departemen. Untuk menentukan jarak *Euclidean* antar fasilitas satu dengan yang lain digunakan formulasi sebagai berikut:

$$d_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)^{0.5}$$

Pengukuran jarak menggunakan Euclidean dapat direpresentasikan pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Perhitungan jarak dengan *Euclidean*
Sumber: Heragu (2008)

2. *Squared Euclidean*

Seperti namanya metric ini merupakan kuadrat dari Euclidean. Pengkuadratan bobot terbesar dari jarak pasangan-pasangan departemen daripada yang dekat. Terdapat beberapa aplikasi untuk metode pengukuran *squared Euclidean* dalam beberapa masalah, khususnya permasalahan beberapa lokasi. Formulasi pengukuran *squared Euclidean* adalah $d_{ij} = ((x_i - x_j)^2 + (y_i - y_j)^2)$.

3. *Rectilinear*

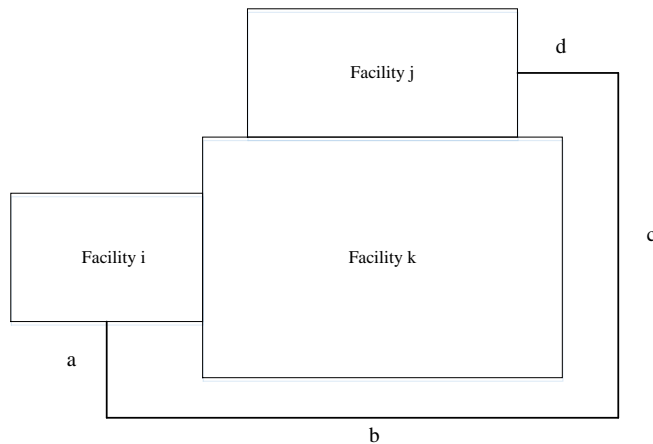
Pengukuran rektilinier juga disebut dengan Manhattan yaitu pengukuran sudut kanan atau *rectangular*. Pada umumnya digunakan karena mudah untuk dikomputasikan, mudah dimengerti, dan sesuai untuk banyak kasus praktis (contohnya jarak antara titik kota, jarak antara departemen dengan *material handling*). Pengukuran *rectilinear* dapat dihitung dengan rumus $d_{ij} = |x_i - x_j| + |y_i - y_j|$. Pengukuran jarak ini direpresentasikan dengan garis *horizontal* dan *vertical* antara pusat departemen i dan departemen j yang ditunjukkan dalam gambar 2.3.

4. *Tchebychev*

Pertimbangan permasalahan perpindahan material yang berat membutuhkan mesin material handling seperti *crane* yang dapat diarahkan ke sumbu x ataupun sumbu y. Berdasarkan permasalahan tersebut jarak *Tchebychev* diformulasikan dengan dua nilai yang paling besar. Formulasi perhitungan jarak yang digunakan *Tchebychev* $d_{ij} = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|)$. Jika *crane* dapat diarahkan ke arah sumbu x, sumbu y, dan sumbu z, maka formulasi pengukuran jarak menjadi $d_{ij} = \max(|x_i - x_j|, |y_i - y_j|, |z_i - z_j|)$.

5. *Aisle distance*

Pengukuran dengan *aisle distance* berbeda dari metode pengukuran lainnya karena jarak aktual yang digunakan merupakan jarak sepanjang *aisle* dari *material handling carrier*. Pengukuran ini mempertimbangkan jarak antara departemen i dan j yang dijumlahkan dari a, b, c, dan d yang direpresentasikan dalam gambar 2.4 berikut ini.



Gambar 2.4 Pengukuran jarak *Tchebychev*
Sumber: Heragu (2008)

6. *Adjacency*

Pengukuran dengan metode lainnya belum menentukan kedekatan apakah antar departemen ada atau tidak kedekatan. *Adjacency metric* biasanya digunakan untuk mengkalkulasi nilai untuk sebuah *layout* dengan teknik SLP.

7. *Shortest path*

Permasalahan lokasi jaringan menjadi pertimbangan *shortest path* untuk pengukuran jarak antar *nodes*. Sebuah jaringan terdiri dari *nodes* dan *arcs*, dimana *nodes* menunjukkan departemen dan *arcs* menunjukkan pasangan atau hubungan antar departemen.

2.7 Optimasi

Menurut Gen dan Cheng (2000) persoalan optimasi merupakan permasalahan matematis yang berkaitan dengan minimalisasi atau maksimalisasi suatu fungsi dengan satu atau beberapa variabel. Permasalahan optimasi memiliki hubungan yang *dependent* dengan fungsi batasan atau kendala, baik dalam bentuk fungsi persamaan maupun pertidaksamaan. Terdapat banyak bidang yang menggunakan optimasi untuk menyelesaikan permasalahannya. Permasalahan yang membutuhkan optimalisasi akan memiliki berbagai kombinasi dari *input* untuk mendapatkan solusi efisiensi dalam prosesnya dan *output* atau keluaran yang optimal. Beberapa contoh kasus yang memerlukan optimalisasi diantaranya adalah *Travelling Salesman Problem* (TSP), *Minimum Spanning Tree* (MST), dan *Knapsack Problem*. Beberapa kasus tersebut membutuhkan teknik optimasi dalam algoritmanya. Algoritma yang biasanya digunakan dalam menyelesaikan permasalahan optimasi adalah metode *Brute Force*, *Greddy*, *Dynamic Programming*, *Genethic Algortihm*, dan *Monte Carlo*.

2.8 Perhitungan optimasi utilisasi volumetrik rak dan *storage efficiency*

Perhitungan rak akan dilakukan dengan menghitung utilisasi *volumetric* penggunaan masing-masing jenis rak. Berikut ini merupakan langkah-langkah perhitungan *racking system* sampai dengan menghitung utilisasi masing-masing jenis rak (Ferrara, Elisa, Grasi, dan Rimini, 2014).

1. Perhitungan Untuk *Drive-Thru Storage*

- Durasi selang waktu pengosongan produk j yang disimpan di rak *drive-thru* dengan rumus

$$I_{jtr} = \frac{z_t^d r}{d_j} \quad (1)$$

- Menghitung jumlah selang waktu pengosongan dalam *cycle time* dengan rumus:

$$K_{jtr} = \left\lceil \frac{Tc_j}{I_{jtr}} \right\rceil \quad (2)$$

- Selanjutnya untuk setiap selang waktu k , dengan nilai $k = 1, \dots, K_{jtr}$, jumlah *lanes* yang dibutuhkan $N_{jtr}(k)$ tergantung pada nilai maksimal *inventory level* selama selang waktu pengosongan dan dinyatakan dengan $i_{jtr}^M(k)$ dan dapat dinotasikan sebagai berikut:

$$i_{jtr}^M(k) = \begin{cases} \begin{cases} s_j + (p_j - d_j)I_j & \text{if } k = 1 \\ i_j^M(k-1) + (p_j - d_j)I_j & \text{if } kI_j < Tp_j \end{cases} \\ \begin{cases} I_j^M & \text{if } (k-1)I_j < Tp_j \leq kI_j \\ I_j^M - ((k-1)I_j - Tp_j)d_j & \text{if } (k-1)I_j \geq Tp_j \end{cases} \end{cases} \quad (3)$$

- Sehingga jumlah *lanes* untuk rak jenis *drive-thru rack* tipe rak t dengan 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:

$$N_{jtr}(k) = \left\lceil \frac{i_{jtr}^M(k)}{rz_t^d} \right\rceil \quad (4)$$

- Kemudian melalui rata-rata *cycle time*, dapat diperoleh jumlah *lanes Drive-thru racks* yang diperlukan untuk menyimpan produk j dengan persamaan sebagai berikut:

$$\bar{N}_j = \frac{I_j \sum_{k=1}^{K_{jtr}-1} N_j(k) + (Tc_j - (K_{jtr}-1)I_j)N_j(K_{jtr})}{Tc_j} \quad (5)$$

Catatan: jika waktu siklus bukan sebuah bilangan bulat sebuah bilangan bulat kelipatan dari nilai panjangnya selang waktu pengosongan, maka selang waktu pengosongan terakhir harus dianggap hanya untuk bagian dari $Tc_j - (K_{jtr}-1)I_j$.

- Menghitung efisiensi penyimpanannya sebagai rasio antara jumlah lokasi *pallet* yang terisi dengan jumlah lokasi *pallet* yang disediakan untuk produk tersebut selama waktu siklus dengan cara:

$$e_j = \frac{2Tc_j s_j + Tc_j(I_j^M - s_j)}{2z_j(I_j \sum_{k=1}^{K_j-1} N_j(k) + (Tc_j - (K_j - 1)I_j)N_j(K_j))} \quad (6)$$

2. Perhitungan *Selective Storage*

- a. Langkah berikutnya adalah membandingkan antara *selective racks* dan *drive-thru racks* dengan mengidentifikasi nilai ambang batas dari nilai efisiensi penyimpanannya. Berikut adalah formulasi untuk perhitungan utilisasi *selective racks*.

$$u^s = \frac{wd}{(D^s + A^s/2)w^s} \quad (7)$$

Perhitungan utilisasi *drive-thru racks* memiliki formulasi sebagai berikut.

$$u^d = \frac{rwd}{(rD^d + A^d/2)w^d} \quad (8)$$

- b. z^s didefinisikan sebagai jumlah tingkat atau level rak untuk *selective racks*, sedangkan untuk *drive-thru racks* adalah z^d . Maka nilai ambang batas untuk efisiensi penyimpanan dari *drive-thru racks* tipe rak t , rumus sebagai berikut:

$$e^T = \frac{u^s z^s}{u^d z^d} \quad (9)$$

Dalam mengevaluasi alokasi produk j yang ada pada *lanes* dari rak *drive-thru* tipe rak t , apabila didapatkan nilai $e_{jt} < e_t^T$ maka akan lebih baik jika produk disimpan atau dialokasikan ke *selective pallet racks*.

- c. Menentukan variabel keputusan dari model

Variabel keputusan merupakan rangkaian variabel biner x_{jtr} menyatakan apabila produk j disimpan dalam *drive-thru* dengan tipe rak t . Kemudian rangkaian variabel biner y_j menyatakan apabila produk j disimpan pada *selective racks*. Sehingga didapatkan persamaan sebagai berikut:

$$x_j = \begin{cases} 1 & \text{if item } j \text{ stored in lanes of drive - thru racks} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j$$

$$y_j = \begin{cases} 1 & \text{if item } j \text{ stored in selective racks} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \forall j$$

- d. Menentukan fungsi tujuan dari model

Fungsi tujuan dari model matematika ini adalah maksimasi jumlah utilisasi *volumetric* masing-masing produk dalam gudang yang dapat dituliskan sebagai berikut.

$$\text{Maksimasi } f(x_j, y_j) = \sum_j \frac{wdh_j}{(rD^d + A^d/2)w^d H^d} e_j x_j + \sum_j \frac{dwh_j}{(D^s + A^s/2)w^s H^s} y_j \quad (10)$$

- e. Menentukan batasan-batasan model optimasi

Batasan 1 digunakan untuk memberikan jaminan apabila produk j ditempatkan pada *drive-thru racks*, maka produk tersebut disimpan pada *lanes* yang sama.

$$\sum_j x_j \leq 1, \forall_j \quad (11)$$

Batasan (2) digunakan untuk memberikan jaminan bahwa apabila produk j tidak ditempatkan pada *drive-thru racks*, maka produk tersebut disimpan pada *selective racks*.

$$y_j = 1 - \sum_j x_j, \forall_j \quad (12)$$

Batasan (3) digunakan untuk 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.

$$\sum_j \left(D^d + \frac{A^d}{2} \right) W^d \bar{N}_j x_j + \sum_j \left(D^s + \frac{A^s}{2} \right) W^s \frac{I_j}{z^s} y_j \leq S^{tot} \quad (13)$$

Batasan (4) digunakan untuk mencegah produk ditempatkan pada *drive-thru racks* ketika *selective racks* lebih cocok untuk produk tersebut.

$$x_j \leq 1 + \frac{e_j - e^T}{e^T}, \forall_j \quad (14)$$

Batasan (5) digunakan untuk memastikan bahwa variabel keputusan adalah bilangan bulat dan bernilai nol-satu.

$$x_j, y_j \in \{0,1\}, \forall_j \quad (15)$$

2.9 Hipotesis Penelitian

Hipotesis menurut Margono (2004) berasal dari kata hypo yang berarti kurang dari dan tesis yang berarti pendapat. Hipotesis merupakan kesimpulan atau pendapat sementara yang digunakan untuk menjawab suatu permasalahan ilmiah. Hipotesis pada penelitian ini dapat dibagi menjadi dua sesuai dengan rumusan masalah pada bab 1 pendahuluan, yaitu permasalahan jumlah optimal masing-masing jenis rak yang digunakan dan permasalahan pemilihan kebijakan penempatan produk pada perancangan tata letak *racking system* gudang produk jadi. Berikut adalah hipotesis yang digunakan pada penelitian ini.

1. Hipotesis pada permasalahan optimasi model penyimpanan rak.

Pemodelan matematis untuk perhitungan rak dapat mengoptimalkan utilisasi volumetrik dan efisiensi penyimpanan jenis rak yang digunakan.

2. Hipotesis pada permasalahan perancangan tata letak gudang *racking storage system* produk jadi.

Penerapan *class based storage policy* pada perancangan tata letak gudang dapat mempermudah aktivitas penempatan dan pengambilan produk pada *racking storage systems* gudang.

Halaman ini sengaja dikosongkan