

Usulan Penentuan Rak Pada Penyimpanan Barang Heterogen Menggunakan Model Heuristik *Rack Cell Configuration Problem* Untuk Meminimasi Overcapacity Rak Penyimpanan Pada Gudang Elektronik Fri Universitas Telkom

1st Fitri Sulistyowati
Fakultas Rekayasa Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia.
fitrisulis@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Erlangga Bayu Setyawan
Fakultas Rekayasa Industri
(Afiliasi)
Telkom University
Bandung, Indonesia.
erlanggabs@telkomuniversity.ac.id

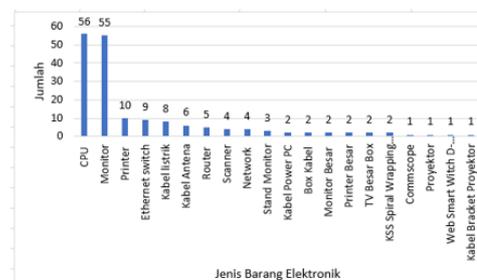
3rd Nia Novitasari
Fakultas Rekayasa Industri
(Afiliasi)
Telkom University
Bandung, Indonesia.
novitasarinia@telkomuniversity.ac.id

Abstrak — Fakultas Rekayasa Industri (FRI) yang berada di Telkom University Landmark Tower (TULT) lantai 8 Universitas Telkom memiliki gudang untuk menyimpan barang-barang elektronik yang mendukung kegiatan akademik dan administrasi. Gudang ini memiliki 6 rak masing-masing memiliki 4 level. Barang yang disimpan di gudang bersifat *heterogen*, dengan barang yang dapat disimpan di dalam rak berjumlah 99 unit barang. Terdapat 77 unit barang yang melebihi dimensi rak, sehingga barang tidak dapat disimpan pada rak dan disimpan dengan ditumpuk di lantai gudang, maka dari itu gudang mengalami permasalahan yaitu *overcapacity* pada rak penyimpanan. Untuk menyelesaikan permasalahan, penelitian ini menggunakan model heuristik *rack cell configuration problem* untuk menambah kapasitas rak penyimpanan untuk meminimalkan *overcapacity*. Model matematika digunakan untuk menentukan jenis rak *beam* dan dimensi rak sel. Rak *beam* yang terpilih yaitu jenis s5. Dimensi rak sel yang diusulkan adalah panjang 398 cm, kedalaman 80 cm, dan tinggi 90,5 cm, dengan total 4 rak sel yang masing-masing memiliki varian penyusunan barang. Dengan mempertimbangkan dimensi ruang gudang, rak sel dibuat menjadi 2 level, dengan ukuran setiap rak panjang 298 cm, kedalaman 80 cm, dan tinggi 186 cm. Dengan penambahan rak sel ini, seluruh barang elektronik dapat disimpan di dalam rak dan tidak terdapat *overcapacity* barang.

Kata kunci: Kapasitas, *Heterogen*, *Overcapacity*, Model Heuristik *Rack Cell Configuration Problem*.

I. PENDAHULUAN

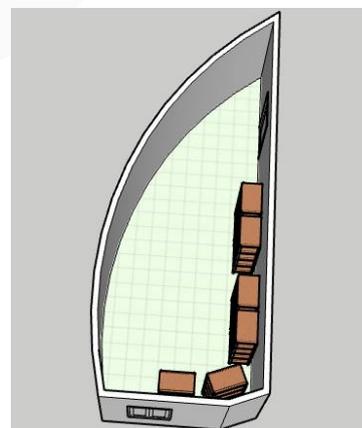
Fakultas Rekayasa Industri (FRI) yang berada di Telkom University Landmark Tower (TULT) lantai 8 Universitas Telkom memiliki gudang yang digunakan untuk menyimpan barang-barang elektronik yang diperlukan untuk kegiatan akademik dan administratif di kampus. Barang elektronik adalah perangkat yang memerlukan arus listrik atau medan elektromagnetik untuk berfungsi (European Union, 2012). Gudang ini memainkan peranan penting dalam mendukung operasional kampus, meskipun saat ini masih memerlukan pengelolaan yang lebih baik untuk mengoptimalkan ruang penyimpanan.



GAMBAR 1
DATA INVENTARIS BARANG

Gambar 1 menunjukkan data barang elektronik di gudang FRI Universitas Telkom, yang terdiri dari barang *heterogen* dengan jenis, jumlah, dimensi, dan berat yang bervariasi (Ratkiewicz & Lewczuk, 2021). Gudang menyimpan 20 jenis barang elektronik dengan total 176 unit. Jenis barang yang paling banyak adalah CPU (56 unit) dan paling sedikit kabel *bracket proyektor* (1 unit). Barang-barang tersebut mencakup barang bekas dari kegiatan kampus serta barang baru.

Berikut adalah *layout* aktual gudang elektronik FRI Universitas Telkom:



GAMBAR 2
LAYOUT AKTTUAL GUDANG

Gambar I.2 menunjukkan *layout* aktual gudang elektronik FRI Universitas Telkom dengan dimensi panjang 950 cm, lebar 270 cm, dan tinggi 275 cm. Gudang ini dilengkapi dengan 6 rak penyimpanan, masing-masing berukuran panjang 80 cm, lebar 50 cm, dan tinggi 50 cm, serta memiliki 4 tingkat. Kapasitas total rak adalah 99 unit barang. Berikut merupakan persentase penyimpanan barang di dalam Gudang:



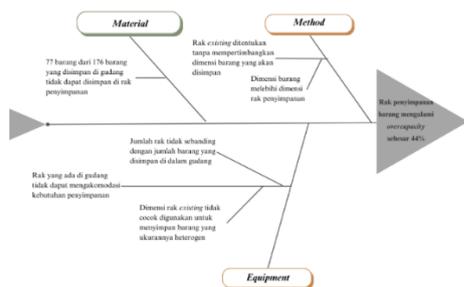
GAMBAR 3
PERSENTASE PENYIMPANAN BARANG

Gambar I.3 menunjukkan persentase penyimpanan barang elektronik di gudang FRI Universitas Telkom, barang yang dapat disimpan di rak yaitu 56% dan barang yang disimpan di lantai 44%. Barang-barang yang tidak dapat ditampung di rak disimpan di lantai gudang, yang menunjukkan pemanfaatan area penyimpanan yang kurang optimal (Richard, 2014). Berikut merupakan data kapasitas penyimpanan barang yang ada di gudang elektronik FRI Universitas Telkom:

TABEL 1
DATA KAPASITAS PENYIMPANAN BARANG

Komponen	Jumlah Unit
Barang Yang Disimpan Di Gudang Keseluruhan	176
Penyimpanan barang di rak <i>existing</i> gudang	99
Penyimpanan barang di lantai gudang	77

Tabel 1 menunjukkan bahwa gudang barang elektronik FRI Universitas Telkom mengalami *overcapacity* sebesar 44%, yang disebabkan karena jumlah barang melebihi kapasitas rak. Untuk mengatasi hal ini, perlu penambahan rak penyimpanan dan penentuan jenis rak yang sesuai dengan jumlah, dimensi, dan berat barang yang disimpan di dalam Gudang. Analisis menggunakan *fishbone* diagram dilakukan untuk merancang solusi terhadap permasalahan *overcapacity*. Berikut merupakan *fishbone* diagram dari latar belakang diatas:



GAMBAR 4
FISHBONE DIAGRAM

Berdasarkan Gambar I.3, faktor-faktor yang menyebabkan *overcapacity* barang di gudang sebesar 44% di dalam gudang yaitu:

1. *Material: Overcapacity* disebabkan oleh 77 dari 176 barang yang tidak dapat disimpan di rak
2. *Method:* Rak *existing* tidak mempertimbangkan dimensi barang yang ada karena dimensinya melebihi dimensi rak. sehingga barang yang tidak dapat disimpan di rak sehingga barang ditumpuk di lantai gudang.
3. *Equipment:* Jumlah rak yang ada di gudang tidak sebanding dengan jumlah barang yang disimpan di dalam gudang dan rak *existing* tidak cocok untuk menyimpan barang *heterogen*.

Dari faktor-faktor diatas, alternatif solusi yang diberikan yaitu menambah rak dengan ukuran rak menyesuaikan jumlah dan dimensi barang supaya dapat menampung seluruh barang yang disimpan di gudang (Ratkiewicz & Lewczuk, 2021).

II. KAJIAN TEORI

A. Pengertian Gudang

Gudang, menurut Stock & Lambert (2001), adalah proses logistik dalam perusahaan yang berfungsi untuk menyimpan berbagai jenis barang, termasuk bahan mentah, barang setengah jadi, dan barang jadi, diantara tempat asal dan tujuan, serta menyediakan informasi tentang kondisi dan status barang yang disimpan.

B. Aktivitas Gudang

Aktivitas pergudangan merupakan kegiatan yang berlangsung dalam sistem pergudangan di sebuah gudang (Tompkins, 2003). Aktivitas yang ada di dalam gudang yaitu:

1. *Receiving:* Menerima barang, memastikan kuantitas dan kualitas sesuai pesanan.
2. *Inspection and Quality Control:* Melakukan pemeriksaan visual atau uji laboratorium jika ada ketidaksesuaian barang.
3. *Repackaging:* Mengemas ulang produk untuk dijual dalam jumlah berbeda, termasuk pelabelan ulang jika diperlukan.
4. *Putaway:* Menempatkan barang di area penyimpanan yang sesuai.
5. *Storage:* Menyimpan barang sesuai ukuran, jumlah, dan karakteristik barang.
6. *Order Picking:* Mengambil barang dari penyimpanan untuk memenuhi permintaan.
7. *Postponement:* Menunda pengolahan barang hingga aktivitas selanjutnya.
8. *Sortation:* Memilah barang untuk pengiriman atau pesanan dengan lebih dari satu item.
9. *Packing and Shipping:* Memeriksa pesanan, mengemas barang, menyiapkan dokumen, dan menentukan biaya pengiriman.
10. *Cross Docking:* Memindahkan barang langsung dari area penerimaan ke pengiriman tanpa penyimpanan.
11. *Replenishing:* Mengisi ulang lokasi pengambilan utama dari penyimpanan cadangan.

C. Jenis dan Karakteristik Barang

Menurut Hadiguna dan Setiawan (2008), terdapat beberapa jenis gudang berdasarkan karakteristik barang yang disimpan:

1. Penyimpanan Bahan Baku (Raw Material): Menyimpan material yang dibutuhkan untuk produksi, biasanya di dalam atau di luar pabrik untuk menghemat biaya.
2. Penyimpanan Barang Setengah Jadi: Menyimpan barang yang sedang dalam proses produksi.
3. Penyimpanan Produk Jadi (Finished Goods): Menyimpan barang yang telah selesai diproduksi.

D. Pengertian Tata Letak

Menurut Heizer, Render, dan Munson (2017) tata letak merupakan suatu komponen penting dalam menentukan sebuah operasi dalam perusahaan untuk jangka waktu yang panjang berjalan secara efisien atau tidak. Jika desain tata letak yang dimiliki perusahaan dapat berjalan efektif, maka tata letak tersebut dapat membantu sebuah perusahaan untuk mencapai tujuan dari perusahaan.

E. Fakta Utama Dalam Penentuan Tata Letak

Dalam menentukan lokasi penyimpanan barang di gudang, dua faktor utama perlu diperhatikan menurut Tompkins et al. (2003):

1. Faktor Barang

- Prinsip *Popularity*: Menyimpan barang berdasarkan frekuensi perputaran. Barang dengan perputaran cepat ditempatkan dekat dengan area penerimaan dan pengiriman.
- Prinsip *Similarity*: Mengelompokkan barang yang diterima atau dikirim memiliki persamaan secara bersamaan agar diletakkan berdekatan.
- Prinsip *Size*: Mengelompokkan barang berdasarkan dimensi dan kuantitasnya.
- Prinsip *Characteristic*: Mengelompokkan barang berdasarkan karakteristik materialnya:
 - Barang yang cepat kadaluarsa memerlukan penanganan khusus.
 - Barang yang mudah hancur harus mempertimbangkan kelembaban dan ukuran penyimpanan.
 - Barang berbahaya harus dipisahkan dan diberi label sesuai dengan kode keamanan.
 - Barang berharga perlu perlindungan khusus untuk mencegah pencurian.
 - Barang sensitif harus dijauhkan dari material lain yang dapat menyebabkan kontaminasi.

2. Faktor Ruang

- *Space Conservation*: Memaksimalkan area penyimpanan untuk meningkatkan fleksibilitas dan kapabilitas penanganan material.
- *Space Limitation*: Ruang terbatas oleh tiang penopang, sprinkler, langit-langit, dan elemen struktural lainnya.
- *Accessibility*: Akses masuk dan keluar barang harus memadai untuk mendukung efisiensi tanpa memboroskan ruang.
- *Orderliness*: Keteraturan ruang kosong harus dihindari dan diperbaiki jika terjadi.

F. Sistem Penyimpanan

Sistem penyimpanan gudang penting untuk memaksimalkan ruang (Heragu, 2008) dan dipilih berdasarkan karakteristik barang dan pesanan pelanggan (Ghani et al., 2004). Jenis-jenis sistem penyimpanan menurut Lama (2016) adalah:

1. *Selective Pallet Racking*: Memungkinkan akses mudah ke semua palet, ideal untuk berbagai jenis barang.
2. *Narrow Aisle Racking*: Mengoptimalkan kapasitas dengan jarak antar rak yang sempit dan memerlukan material handling khusus.
3. *Drive In Racking*: Fokus pada kapasitas penyimpanan dengan metode *Last In First Out* (LIFO), menggunakan satu ukuran palet.
4. *Push Back Racking*: Cocok untuk ruang terbatas, memudahkan akses ke palet dari sisi depan.
5. *Medium Duty Racking*: Untuk barang dalam karton atau dus dengan berat 300-800 kg, dengan rak yang dapat disesuaikan.
6. *Multitier Racking*: Memaksimalkan kapasitas gudang dengan beberapa lantai, distribusi barang melalui tangga, lift, atau conveyor.

G. Kapasitas

Kapasitas, menurut Heizer & Render (2015), adalah jumlah unit yang dapat dilayani, disimpan, atau diproduksi oleh perusahaan dalam jangka waktu tertentu. Secara keseluruhan, kapasitas mencerminkan kemampuan perusahaan dalam mencapai hasil produksi yang optimal dan melayani pelanggan dengan efisien.

H. Barang Heterogen

Barang heterogen merupakan sekumpulan barang-barang yang memiliki jenis yang berbeda-beda. Untuk setiap jenis barangnya memiliki jumlah (volume), dimensi atau ukuran, dan berat barang yang berbeda-beda (Ratkiewicz & Lewczuk, 2021)

I. Model Heuristik Rack Cell Configuration Problem

Rack Cell Configuration Problem (RCCP) adalah metode untuk mengoptimalkan tata letak penyimpanan di gudang dengan menentukan dimensi rak yang ideal untuk barang homogen dan heterogen. RCCP mencakup penentuan dimensi rak dan penempatan barang, dengan mempertimbangkan jumlah, dimensi, dan berat barang (Andrejz & Konrad, 2002).

Fungsi Tujuan :

$$\min \sum_{n \in N} \beta_n \cdot lhd$$

Berikut merupakan model matematis yang digunakan dalam penyelesaian model heuristik *rack cell configuration problem* menurut (Ratkiewicz & Lewczuk, 2021):

$$\forall i \in I \quad xi = pwi + (1 - p)li \quad (1)$$

$$\forall i \in I \quad yi = pli + (1 - p)wi \quad (2)$$

$$\forall i \in I \quad \exists s \in S \quad xi + 2b2 \leq ls \quad (3)$$

$$\sum_{s \in S} K_s = 1 \quad (4)$$

$$l = \sum_{s \in S} K_s l_s + b_1 \quad (5)$$

$$\forall n \in N \quad b_2 + \sum_{i \in I} \sum_{p \in \{0,1\}} \alpha_{i,n}^p (x_i + b_2) \leq \sum_{s \in S} K_s l_s \quad (6)$$

$$h = \max_{i \in I} \{h_i\} + \sum_{s \in S} K_s g_s + b_3 \quad (7)$$

$$d = \max_{i \in I, p \in \{0,1\}, n \in N} \{y_i \cdot \text{sgn}(\alpha_{i,n}^p)\} \quad (8)$$

$$d \leq d^{\max} \quad (9)$$

$$\forall n \in N \quad \sum_{i \in I} \sum_{p \in \{0,1\}} \alpha_{i,n}^p c_i \leq \sum_{s \in S} K_s C_s \quad (10)$$

$$\forall i \in I \quad \sum_{p \in \{0,1\}} \sum_{n \in N} \beta_n \alpha_{i,n}^p \geq \lambda_i \quad (11)$$

Notasi :

I : jenis barang

P : varian rotasi barang

N : varian penyusunan barang di dalam rak sel

wi, li, hi : lebar, panjang, dan tinggi awal setiap jenis barang

xi, yi : lebar dan panjang setiap jenis barang (ketika dirotasi atau tidak)

ci : berat setiap jenis barang

d, l, h : kedalaman, panjang, dan tinggi rak sel

li : jumlah setiap jenis barang

ls : panjang rak *beam*

gs : tinggi (ketebalan) rak *beam* atau balok penyangga

cs : kapasitas muatan rak *beam* atau balok penyangga

b1 : lebar (ketebalan) pilar rak

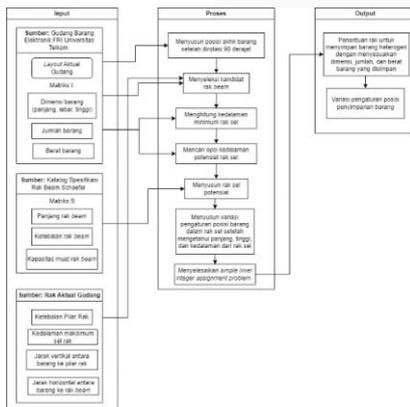
b2 : jarak vertical antara barang dengan pilar rak

b3 : jarak horizontal antara barang dengan rak *beam*

III. METODE

A. Kerangka Berpikir

Kerangka berpikir merupakan konsep yang dapat membantu dalam penyelesaian masalah pada penelitian. Berikut merupakan kerangka berpikir pada penelitian ini.

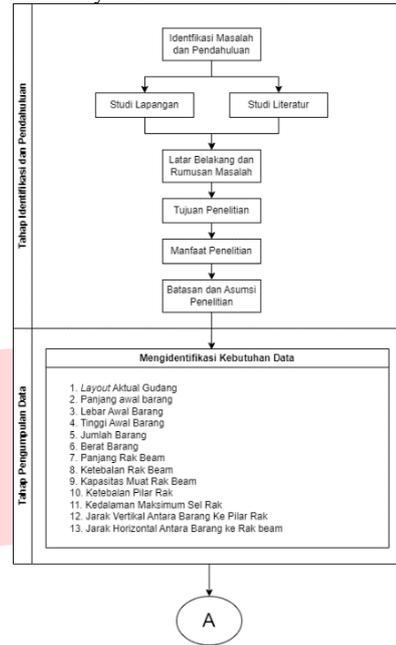


GAMBAR 5
KERANGKA BERPIKIR

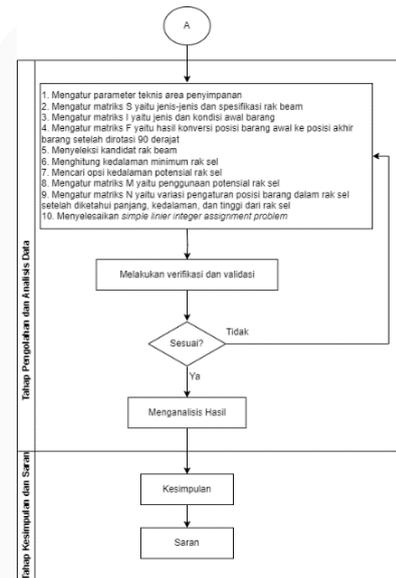
Kerangka berpikir penelitian ini menunjukkan proses *input*, *pengolahan*, dan *output*. *Input* data meliputi dimensi awal barang sebelum rotasi 90 derajat, jumlah dan berat barang, spesifikasi rak *beam*, serta spesifikasi rak seperti kedalaman maksimum, lebar pilar, jarak vertical antara barang dengan pilar rak, jarak horizontal antara barang dengan rak *beam*. *Output* penelitian ini adalah usulan penentuan rak sel untuk penyimpanan barang heterogen di

gudang FRI Universitas Telkom dan variasi penyusunan barang di rak sel.

B. Sistematika Penyelesaian Masalah



GAMBAR 6
SISTEMATIKA PENYELESAIAN MASALAH [1]



GAMBAR 7
SISTEMATIKA PENYELESAIAN [2]

IV. PENGUMPULAN DAN PENGOLAHAN DATA

A. Tahap Pengumpulan Data

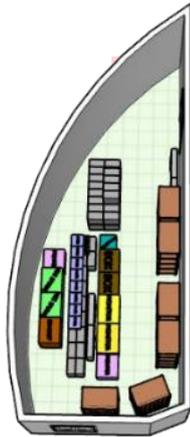
Dalam melakukan pengolahan data dibutuhkan inputan berupa data dan parameter yang akan diproses menggunakan model heuristik *rack cell configuration problem*. Data dan parameter yang dibutuhkan yaitu dimensi, jumlah, dan berat barang, panjang, ketebalan, dan kapasitas muat rak *beam*, ketebalan rak *beam*, kedalaman maksimum rak sel, jarak vertical antara barang ke pilar rak, jarak horizontal antara barang ke rak *beam*.

1. Profil Perusahaan

Setelah pengumpulan data selesai, langkah selanjutnya adalah melakukan proses pengolahan untuk mengusulkan perbaikan. Tahap ini melibatkan beberapa langkah, diantaranya menguji distribusi data permintaan dan perhitungan kebijakan persediaan usulan.

2. Layout Aktual Gudang

Gudang barang elektronik FRI Universitas Telkom memiliki ukuran 950 cm x 270 cm dengan tinggi 275 cm dan sisi miring 80 cm. Barang disimpan di rak dengan kapasitas 99 unit, serta di lantai dengan kapasitas 77 unit. Berikut adalah *layout* aktual gudang.



GAMBAR 8
LAYOUT AKTUAL GUDANG

Gudang FRI memiliki 6 rak dengan 4 tingkatan per rak, masing-masing berukuran 80cm x 50cm x 48cm per level, dan mampu menampung total 99 barang.



GAMBAR 9
RAK AKTUAL GUDANG

3. Jenis, Jumlah, Dimensi, dan Berat Barang

Gudang barang elektronik di FRI Universitas Telkom menyimpan berbagai barang elektronik dengan karakteristik yang beragam, seperti jenis, jumlah, dimensi, dan berat yang berbeda-beda. Data berikut menunjukkan barang-barang yang disimpan di gudang.

TABEL 2
DATA BARANG

No	Barang	Jumlah	Dimensi (cm)			Berat (kg)
1	Monitor	55	42	23	43	2,1
2	Printer	10	43	27	15	34

3	Scanner	4	41	45	39	11,2
4	Stand Monitor	3	69	30	20	4,6
5	Router	5	49	28	6	1
6	Ethernet Switch	9	43	25,5	9	0,5
7	Kabel Antena	6	19,5	14,5	5	0,25
8	Kabel Power PC	2	31	22	24,5	0,25
9	Network	4	34	29	7	1,6
10	Commscope	1	36	25	15	0,2
11	CPU	56	39	20	45	4
12	Proyektor	1	44	41	30	2,5
13	Kabel Listrik	8	30	30	13	5,5
14	Web Smart Witch D-Link	1	49	14	5	1
15	Box Kabel Bekas	2	60	50	50	1
16	Monitor Baru	2	73	53	60	7,5
17	Printer Baru	2	56	52	42	3,4
18	TV Baru	2	80	15	50	4,7
19	KSS Spiral Wrapping Band	2	63	50	70	7,5
20	Kabel Bracket Proyektor	1	63	50	70	3

4. Parameter Teknis Area Penyimpanan

Parameter teknis area penyimpanan di gudang meliputi: kedalaman rak maksimum 145 cm, ketebalan rak pilar 8 cm, jarak vertikal antara barang dan pilar rak 5 cm, serta jarak horizontal antara barang dan rak *beam* 10 cm.

TABEL 3
PARAMETER TEKNIS AREA PENYIMPANAN

Parameter Teknis Area Penyimpanan		
Maksimum Kedalaman Rak Sel	d^{max}	145 cm
Ketebalan pilar rak	b_1	8 cm
Jarak vertikal antara barang dengan pilar rak	b_2	5 cm
Jarak horizontal antara barang dengan rak <i>beam</i>	b_3	10

5. Jenis dan Spesifikasi Rak Beam atau Balok Penyangga

Barang di gudang FRI Universitas Telkom memiliki dimensi, jumlah, dan berat yang bervariasi, sehingga penting untuk mempertimbangkan jenis balok penyangga rak sel yang sesuai. Terdapat lima jenis balok penyangga rak dengan panjang, ketebalan, dan kapasitas muatan yang berbeda-beda untuk memastikan barang dapat ditampung dengan optimal. Berikut merupakan jenis dan spesifikasi rak *beam*:

TABEL 4
JENIS RAK BEAM

Jenis Rak <i>Beam</i>					
Jenis Rak <i>Beam</i>	s1	s2	s3	s4	s5
Panjang (l_s)	259 cm	260 cm	274 cm	274 cm	390 cm
Ketebalan (g_s)	7,5 cm	10 cm	7,5 cm	10 cm	10,5 cm
Kapasitas Muatan (c_s)	1000 kg	2000 kg	1000 kg	2000 kg	1000 kg

B. Pengolahan Data

1. Model Matematika

Permasalahan kondisi aktual dirumuskan dalam model matematis dengan tujuan meminimasi volume kubik area penyimpanan, mengacu pada model Ratkiewicz & Lewczuk (2021). Model ini mencakup indeks, parameter, dan variabel keputusan yang relevan untuk penelitian.

TABEL 5
INDEX DALAM MODEL MATEMATIKA

Index	
Simbol	Keterangan
i	Jumlah barang
p	Variansi rotasi barang (varian rotasi 1 => p=0 barang tidak dirotasi 90 derajat, varian rotasi 2 => p=1 barang dirotasi 90 derajat)
s	Tipe rak beam
n	Varian penyusunan barang di dalam rak sel

Dalam model matematika, digunakan indeks seperti jenis barang, varian rotasi barang (p=0 untuk tanpa rotasi 90 derajat, p=1 untuk rotasi 90 derajat), jenis rak *beam*, dan varian penyusunan barang di rak sel.

TABEL 6
PARAMETER MODEL

Parameter Model	
λ_i	Jumlah barang jenis-i
w_i, l_i, h_i	Lebar, panjang, tinggi awal barang jenis-i
x_i, y_i	Lebar dan panjang sebenarnya dari barang jenis-i, baik saat barang dirotasi maupun tidak
c_i	Berat barang jenis-i
d_{max}	Kedalaman maksimum sel rak (diasumsikan)
l_s	Panjang balok rak tipe-s
g_s	Tinggi (ketebalan) rak <i>beam</i> tipe-s
b_1	Lebar (ketebalan) pilar rak
b_2	Celah pengaman vertikal antara barang dengan pilar rak
b_3	Celah pengaman horizontal antara barang dengan rak <i>beam</i>

Parameter model matematika mencakup: jumlah dan dimensi awal setiap jenis barang, dimensi barang setelah rotasi 90 derajat, berat barang, kedalaman maksimum sel rak, panjang dan ketebalan rak beam, ketebalan pilar rak, serta jarak vertikal dan horizontal antara barang dengan pilar atau rak *beam*.

TABEL 7
VARIABEL KEPUTUSAN

Variabel Keputusan	
K_s	Variabel Biner yang ditentukan menggunakan rak <i>beam</i> tipe-s dalam rak sel.
$\alpha_{i,n}^p$	Variabel integer untuk jumlah barang jenis-i dengan rotasi p yang membentuk varian susunan ke-n
$\beta_{n(s)}$	Jumlah rak sel yang menggunakan varian susunan ke-n (s)

Dalam model matematika pada penelitian ini, terdapat variabel keputusan sebagai berikut: variabel biner untuk memilih rak *beam* tipe-s, variabel integer untuk jumlah barang yang dirotasi dan membentuk varian susunan ke-n, serta jumlah rak sel yang menggunakan varian susunan ke-n(s). Berikut merupakan model matematika yang digunakan:

- Panjang barang jenis-i yang disimpan dengan dirotasi 90 derajat.
 $\forall i \in I \ x_i = p w_i + (1 - p) l_i$
- Lebar barang jenis-i yang disimpan dengan dirotasi 90 derajat.
 $\forall i \in I \ y_i = p l_i + (1 - p) w_i$
- Balok rak yang sesuai dengan panjang setiap barang dalam setidaknya satu putaran (90 derajat).
 $\forall i \in I \ \exists s \in S \ x_i + 2 b_2 \leq l_s$
- Hanya 1 jenis rak *beam* yang digunakan dalam rak sel.
 $\sum_{s \in S} K_s = 1$
- Panjang rak sel dibatasi panjang rak *beam* atau balok penyangga dan ketebalan pilar rak
 $l = \sum_{s \in S} K_s l_s + b_1$
- Jumlah panjang barang yang ditempatkan pada rak sel dan jarak vertikal antara barang dengan pilar rak tidak boleh melebihi panjang balok rak
 $\forall n \in N \ b_2 + \sum_{i \in I} \sum_{p \in \{0,1\}} \alpha_{i,n}^p (x_i + b_2) \leq \sum_{s \in S} K_s l_s$
- Tinggi rak sel yaitu tetap dan dihasilkan dari tinggi rak *beam* atau balok penyangga, barang tertinggi, dan jarak horizontal antara barang dengan rak *beam* atau balok penyangga.
 $h = \max_{i \in I} \{h_i\} + \sum_{s \in S} K_s g_s + b_3$
- Kedalaman rak sel ditentukan oleh barang terpanjang ketika barang dirotasi.
 $d = \max_{i \in I, p \in \{0,1\}, n \in N} \{y_i \cdot \text{sgn}(\alpha_{i,n}^p)\}$
- Kedalaman rak sel tidak boleh lebih besar dari kedalaman maksimum rak sel.
 $d \leq d^{max}$
- Total Berat barang tidak boleh melebihi kapasitas muat rak *beam* atau balok penyangga.
 $\forall n \in N \ \sum_{i \in I} \sum_{p \in \{0,1\}} \alpha_{i,n}^p c_i \leq \sum_{s \in S} K_s C_s$
- Rak sel harus dapat menyimpan semua jenis barang.
 $\forall i \in I \ \sum_{p \in \{0,1\}} \sum_{n \in N} \beta_n \alpha_{i,n}^p \geq \lambda_i$

2. Hasil Rancangan

Hasil rancangan yang diperoleh berdasarkan pengolahan menggunakan model heuristik rack cell configuration problem, yaitu:

a. Kondisi Awal Barang

TABEL 8
KONDISI AWAL BARANG

No	Nama Barang	Jumlah	Satuan	Dimensi (cm)			Berat (kg)
1	CPU	56	Unit	39	20	45	4
2	Proyektor	1	Kardus	44	41	30	2,5
3	Kabel Listrik	8	Unit	30	30	13	5,5
4	Web Smart Witch D-Link	1	Unit	49	14	5	1
5	Box Kabel	2	Kardus	60	50	50	1
6	Monitor Baru	2	Kardus	73	53	60	7,5
7	Printer Baru	2	Kardus	56	52	42	3,4
8	TV	2	Kardus	80	15	50	4,7
9	KSS Spiral Wrapping Band	2	Kardus	63	50	70	7,5
10	Kabel Bracket Proyektor	1	Kardus	63	50	70	3

Hasil yang diperoleh menunjukkan bahwa barang awal disimpan di lantai sebelum dipindahkan ke rak sesuai usulan. Terdapat 10 jenis barang dengan jumlah, dimensi, dan berat yang bervariasi.

b. Kondisi Barang Ketika Tidak Dirotasi 90 derajat atau dirotasi 90 derajat

TABEL 9
KONDISI ROTASI BARANG

Nama Barang	Variasi Rotasi	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)	Jumlah (unit)	Berat (kg)	Total Berat (kg)
CPU	1	39	20	45	56	4	224
	2	20	39	45	56	4	223
Proyektor	1	44	41	30	1	2,5	2,5
	2	41	44	30	1	2,5	2,5
Kabel Listrik	1	30	30	13	8	5,5	44
	2	30	30	13	8	5,5	44
Web Smart Witch D-Link	1	49	14	5	1	1	1
	2	14	49	5	1	1	1
Box Kabel Bekas	1	60	50	50	2	1	2
	2	50	60	50	2	1	2
Monitor Besar Baru	1	73	53	60	2	7,5	15
	2	53	73	60	2	7,5	15
Printer Baru	1	56	52	42	2	3,4	6,8
	2	52	56	42	2	3,4	6,8
TV	1	80	15	50	2	4,7	9,4
	2	15	80	50	2	4,7	9,4
KSS Spiral Wrapping Band	1	63	50	70	2	7,5	15
	2	50	63	70	2	7,5	15
Kabel Bracket Proyektor	1	63	50	70	1	3	3
	2	50	63	70	1	3	3

Tabel di atas menunjukkan kondisi barang yang disimpan di rak, baik dengan rotasi 90 derajat maupun tanpa rotasi. Setelah dirotasi 90 derajat, dimensi barang yang berubah adalah panjang dan lebar, di mana panjang awal menjadi lebar dan sebaliknya. Tinggi barang tetap sama karena perubahan posisi tinggi dapat menyebabkan kerusakan pada barang.

c. Panjang Rak Sel, Kedalaman Rak Sel, dan Jenis Rak Beam

Panjang rak sel dihitung sebagai panjang rak *beam* (l) ditambah ketebalan rak pilar (b_1). Hasilnya adalah sebagai berikut:

$$l = \sum_{s \in S} K_s l_s + b_1$$

$$s1 = 267 \text{ cm}$$

$$s2 = 268 \text{ cm}$$

$$s3 = 282 \text{ cm}$$

$$s4 = 282 \text{ cm}$$

$$s5 = 398 \text{ cm}$$

TABEL 10
DIMENSI RAK SEL

Panjang Rak Sel (cm)	Kedalaman Rak Sel (cm)	Jenis Rak Beam
267	80	s1
268	80	s2
282	80	s3
282	80	s4
398	80	s5

Kedalaman rak sel untuk semua jenis rak adalah 80 cm.

$$d = \max_{i \in I, p \in \{0,1\}, n \in N} \{y_i \cdot \text{sgn}(\alpha_{i,n}^p)\}$$

$$d = 80 \text{ cm}$$

d. Variasi Pengaturan Posisi Barang Dalam Rak Sel

Hasil yang diperoleh yaitu variasi pengaturan posisi barang dalam rak sel dari jenis rak *beam* s1, s2, s3, s4, dan s5. Dari matriks N juga diperoleh hasil dari tinggi rak sel dengan perhitungan barang tertinggi ditambah ketebalan rak *beam* (g_s) ditambah jarak horizontal antara barang dengan rak *beam* (b_3). Berikut merupakan tinggi rak sel yang dihasilkan dari semua jenis rak *beam*:

$$s1 = 70 + 7,5 + 10 = 87,5 \text{ cm}$$

$$s2 = 70 + 10 + 10 = 90 \text{ cm}$$

$$s3 = 70 + 7,5 + 10 = 90,5 \text{ cm}$$

$$s4 = 70 + 10 + 10 = 90 \text{ cm}$$

$$s5 = 70 + 10,5 + 10 = 90,5 \text{ cm}$$

Jenis rak *beam* yang terpilih yaitu rak *beam* s5 dengan dimensi rak sel yang diperoleh yaitu panjang rak sel 398cm, kedalaman rak sel 80cm, dan tinggi rak sel 90,5cm.

2. Visualisasi Hasil Rancangan

Dari hasil rancangan yang telah diperoleh. Berikut adalah spesifikasi rak *beam* yang terpilih:

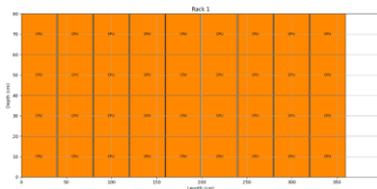
a. Usulan Rak Beam Yang Terpilih:

- 1) Panjang: 390 cm
- 2) Ketebalan: 10,5 cm
- 3) Kapasitas: 1000 kg

Dimensi rak sel yang diusulkan untuk menyimpan barang heterogen adalah:

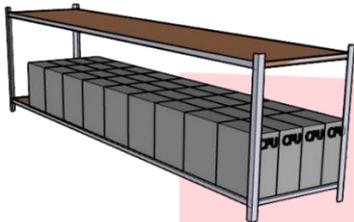
- 1) Panjang: 398 cm
- 2) Kedalaman: 80 cm
- 3) Tinggi: 90,5 cm

Terdapat empat rak sel dengan berbagai cara penyusunan barang. Berikut adalah visualisasi dua dimensi penyusunan barang pada rak sel 1.



GAMBAR 10
USULAN RAK SEL 1

Berikut merupakan visualisasi tiga dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 1:

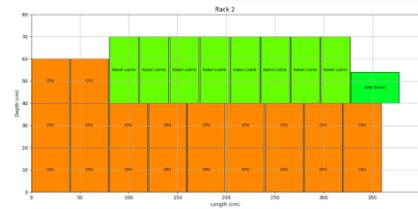


GAMBAR 11
VISUAL 3D VARIASI RAK SEL 1

Dari visualisasi 2D dan 3D di atas, rak sel usulan 1 dapat menampung 36 unit CPU tanpa rotasi ($p = 0$)

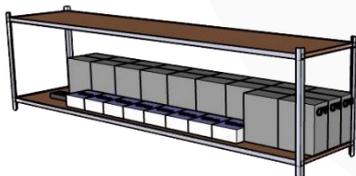
b. Usulan Sel Rak 2

Berikut merupakan visualisasi dua dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 2:



GAMBAR 12
USULAN RAK SEL 2

Berikut merupakan visualisasi tiga dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 2:

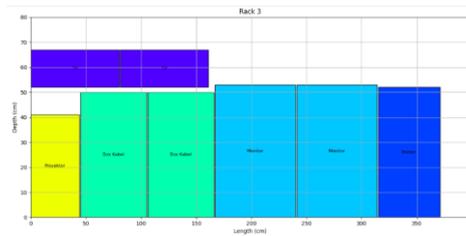


GAMBAR 13
VISUAL 3D RAK SEL 2

Visualisasi 2D dan 3D menunjukkan bahwa rak sel usulan 2 menyimpan CPU, kabel listrik, dan web smart tanpa rotasi ($p = 0$). Kapasitas rak adalah: CPU 20 unit, kabel listrik 8 unit, dan web smart 1 unit.

c. Usulan Rak Sel 3

Berikut merupakan visualisasi dua dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 3:



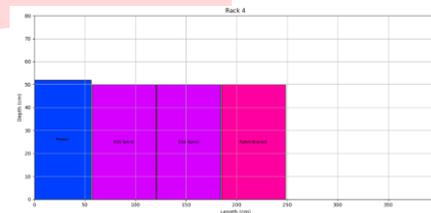
GAMBAR 14
USULAN RAK SEL 3

Berikut merupakan visualisasi tiga dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 3:

Visualisasi 2D dan 3D menunjukkan bahwa rak sel usulan 3 dapat menyimpan barang-barang berikut tanpa rotasi ($p=0$): Proyektor 1 unit, Box kabel 2 unit, Monitor 2 unit, Printer 1 unit, dan TV 2 unit.

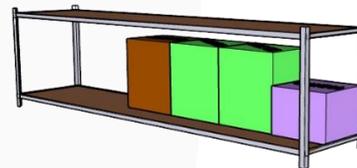
d. Usulan Rak Sel 4

Berikut merupakan visualisasi dua dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 4:



GAMBAR 15
USULAN RAK SEL 4

Berikut merupakan visualisasi tiga dimensi variasi penyusunan barang di dalam rak sel 4:



GAMBAR 16
VISUAL 3D RAK SEL 4

Berdasarkan visualisasi 2D dan 3D, rak sel usulan 4 dapat menyimpan monitor, KSS spiral wrapping band, dan kabel bracket proyektor tanpa rotasi ($p = 0$), dengan kapasitas sebagai berikut:

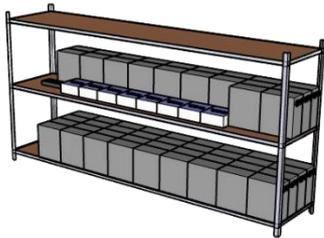
- 1) Printer: 1 unit
- 2) KSS spiral wrapping band: 2 unit
- 3) Kabel bracket proyektor: 1 unit

Dengan dimensi gudang 950cm x 270cm x 275cm, disarankan agar rak sel usulan dibuat dalam 2 level atau 2 tingkatan, sehingga menjadi 2 rak, masing-masing dengan dimensi:

- 1) Panjang: 398cm
- 2) Kedalaman: 80cm
- 3) Tinggi: 186cm (90,5cm x 2 + kaki tumpuan 5cm)

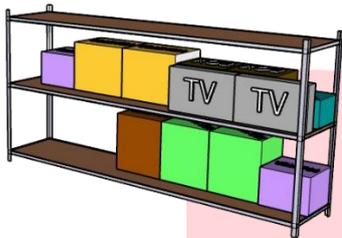
Berikut merupakan visualisasi rak apabila dibuat menjadi 2 level atau 2 tingkatan:

Usulan Rak 1



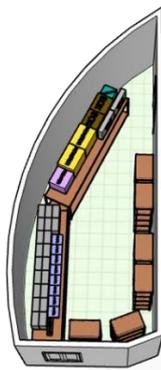
GAMBAR 17
USULAN RAK 1

Usulan Rak 2



GAMBAR 18
RAK 2

Berikut adalah visualisasi usulan penulis untuk dua rak sel yang dirancang dengan dua level di gudang FRI Universitas Telkom:



GAMBAR 19
USULAN KEDUA RAK

C. Validasi Model

Pada tahap validasi model, dilakukan pemeriksaan untuk memastikan bahwa model yang digunakan menghasilkan hasil sesuai yang diharapkan

TABEL 11
VALIDASI MODEL

Target Validasi	Pemenuhan	Feedback
Penentuan rak sel untuk penyimpanan barang heterogen	Dengan menggunakan model heuristik <i>rack cell configuration problem</i> diperoleh hasil usulan rak sel untuk penyimpanan barang heterogen dengan dimensi panjang rak sel 398cm, kedalaman rak sel 80cm, dan tinggi rak sel 90,5cm.	Sudah sesuai
Variasi penyusunan	Dengan menggunakan model heuristik <i>rack cell</i>	Sudah sesuai

barang di dalam rak sel	<i>configuration problem</i> diperoleh hasil usulan 4 rak sel dengan masing-masing rak sel penyusunan barang di dalam rak sel berbeda-beda.	
Meminimasi <i>overcapacity</i> pada rak penyimpanan di gudang	Dari hasil usulan rak yang diperoleh, barang-barang yang disimpan ditumpuk di lantai gudang dapat semua tertampung atau dapat semua disimpan di dalam rak usulan, sehingga tidak ada penumpukan barang di lantai gudang karena kapasitas rak penyimpanan meningkat.	Sudah sesuai

V. ANALISIS

A. Analisis Hasil Rancangan

1. Analisis Hasil Penentuan Rak Sel

Dari hasil data, rak *beam* yang digunakan adalah tipe S5 dengan spesifikasi sebagai berikut:

TABEL 12
JENIS RAK BEAM

Jenis Rak Beam	
Jenis Rak Beam	s5
Panjang (l_s) = cm	390
Ketebalan (g_s) = cm	10,5
Kapasitas Muatan (c_s) = cm	1000

Setelah menentukan jenis rak *beam*, dimensi rak sel untuk penyimpanan barang heterogen di gudang FRI Universitas Telkom ditentukan, menggantikan penyimpanan tumpuk di lantai gudang.

TABEL 13
DIMENSI RAK SEL

Dimensi Rak Sel	
Panjang Rak Sel (l)	398cm
Kedalaman Rak Sel (d)	80cm
Tinggi Rak Sel (h)	90,5cm

1. Analisis Kondisi Barang Setelah Dirotasi 90 Derajat

Penyimpanan barang di rak sel dapat dilakukan dengan rotasi barang 90 derajat atau tanpa rotasi dari posisi awal:

TABEL 14
KONDISI SETELAH ROTASI

Nama Barang	Varian Rotasi	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
CPU	1	39	20	45
	2	20	39	45
Proyektor	1	44	41	30

Nama Barang	Varian Rotasi	Panjang (cm)	Lebar (cm)	Tinggi (cm)
	2	41	44	30
Kabel listrik	1	30	30	13
	2	30	30	13
Web Smart Witch D-Link	1	49	14	5
	2	14	49	5
Box Kabel Bekas	1	60	50	50
	2	50	60	50
Monitor Besar Baru	1	73	53	60
	2	53	73	60
Printer Baru	1	56	52	42
	2	52	56	42
TV	1	80	15	50
	2	15	80	50
KSS Spiral Wrapping Band	1	63	50	70
	2	50	63	70
Kabel Bracket Proyektor	1	63	50	70
	2	50	63	70

2. Analisis Penyusunan Barang di Dalam Rak Sel sebanyak

TABEL 15
PENYUSUNAN RAK SEL 1

Rak Sel 1	
Barang Yang Disimpan	Jumlah
CPU	36

TABEL 16
PENYUSUNAN RAK SEL 2

Rak Sel 2	
Barang Yang Disimpan	Jumlah
CPU	20
Kabel Listrik	8
Web Smart D-Link	1

TABEL 17
PENYUSUNAN RAK SEL 3

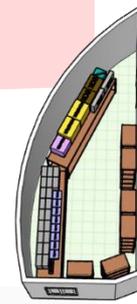
Rak Sel 3	
Barang Yang Disimpan	Jumlah
Proyektor	20
Box Kabel	8
Monitor	1
Printer	1
TV	2

TABEL 18
PENYUSUNAN RAK SEL 4

Rak Sel 4	
Barang Yang Disimpan	Jumlah
Printer	1
KSS Spiral Wrapping Band	2
Kabel Bracket Proyektor	1

3. Analisis Overcapacity

Hasil pengolahan data menghasilkan empat rak sel usulan. Rak-rak tersebut akan dibuat dalam dua level, sehingga setiap rak terdiri dari dua tingkat. Dengan desain ini, seluruh barang yang saat ini ditumpuk di lantai gudang dapat tertampung dalam rak di gudang barang elektronik FRI Universitas Telkom.



GAMBAR 20
USULAN LAYOUT FINAL

VI. KESIMPULAN

Rak beam yang terpilih yaitu s5 dan dimensi rak sel yang diperoleh yaitu panjang 398 cm, kedalaman 80 cm, dan tinggi rak sel 90,5 cm. Rak sel usulan berjumlah 4 dan dapat menampung seluruh barang yang ditumpuk di lantai gudang. Dengan mempertimbangkan tinggi bangunan gudang, 4 rak sel usulan dibuat menjadi 2 level, Panjang rak 398 cm, kedalaman 80 cm, dan tinggi 186 cm. Sehingga tidak ada lagi barang yang disimpan dengan ditumpuk di lantai gudang.

REFERENSI

- Ahmadi, J. N., Crisnanto, Y. H., & Umbara, F. R. (2022). Optimalisasi Knapsack Problem Di PT. Baraka Sarana Tama Menggunakan Algoritma Genetika. 376-381.
- Amalia, D. (2017). Penambahan Sel Rak Untuk Perluasan Gudang.
- Andrzej, Ratkiewicz, A., & Lewczuk, K. (2021). Rack Cell Configuration Problem: a Mathematical Model And Effective Combined Heuristic. *Bulletin Of The Polish Academy Of Sciences Technical Sciences*.
- Bayurisman, M. F. (2019). Analisis Tata Letak Gudang Barang Jadi (Clopen Rack) Guna Meningkatkan Kapasitas Ruang Penyimpanan PT Panca Harapan.

- Daryono, A. (2017). Usulan Rancangan Racking System Menggunakan Multiple Knapsack Problem (MKP) Untuk Meningkatkan Kapasitas Penyimpanan Barang dan Utilitas Dengan Minimasi Barang dan Utilitas Dengan Minimasi Ongkos Material Handling Equipment dan Cross Aisle Di Gudang PT XY.
- Eprilliani, A. (2023). Perancangan Alokasi Penyimpanan Gudang Adorable Projects Menggunakan Shared Storage Dan Pendekatan Simulasi Untuk Meminimasi Overcapacity Pada Rak Penyimpanan.
- Fanany, I. (2016). Optimasi Pemuatan Baja Coil Pada Gerbong Kerera Api.
- Frezelle, E. H. (2015). *World-Class Warehousing and Material Handling*. New York: mc. Graww Hill.
- Hasan, M. M. (2002). *A Framework For The Design Of Warehouse Layout*. MCB UP Limited.
- Master, T. R. (2009). Warehouse Redesign Of Facility Layout.
- Nisa, A. S. (2018). Pengelolaan Limbah Elektronik Di Kantor Pemerintah Kota Surabaya.
- Richards, G. (2014). *Warehouse Management A Complete Guide to Improving Efficiency and Minimizing Costs in the Modern Warehouse*. USA: Kogan Page.
- Sadida, H. M., & Pratama, P. Y. (2024). Desain Dan Simulasi Adjustable Rack Untuk Gudang E-Commerce.
- Sari, T. P., Ridwan, A. Y., & Aurachman, R. (2017). Designing Floor Tile Warehouse Layout Using Heuristic Approach. *International Journal of Innovation in Enterprise System*.
- Supriono. (2023). Perancangan Tata Letak Penyimpanan Baju di Gudang Bahero. 8.
- Vidiarta, M. R. (2016). Optimasi Model Racking System Menggunakan Algoritma Dynamic Programming Untuk Meningkatkan Kapasitas Penyimpanan Central Distribution Center PT XYZ.
- Wulan, G. (2018). Analisis Perancangan Tata Letak Gudang Barang Jadi (Finished Goods Warehouse) Guna Meningkatkan Kapasitas Ruang Penyimpanan Pada Gudang Non Woven PT South Pacific Viscose.
- Zarinchang, A., Avaspour, I., Yang, J., Dongxing Zhang, & Knopf, G. K. (2019). Adaptive Warehouse Storage Location Assignment With Considerations To Order-Picking Efficiency and Worker Safety.