

Perancangan Rute Pengiriman Towing Dengan Metode Branch and Bound Untuk Meningkatkan Jumlah Permintaan Terpenuhi Di PT XYZ

1st Raka Aji Wibowo
Fakultas Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
rakaajiw@student.telkomuniversity.ac.id

2nd Muhammad Nashir Ardiansyah
Fakultas Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
nashirardiansyah@telkomuniversity.ac.id

3rd Nova Indah Saragih
Fakultas Teknik Industri
Telkom University
Bandung, Indonesia
novaindah@telkomuniversity.ac.id

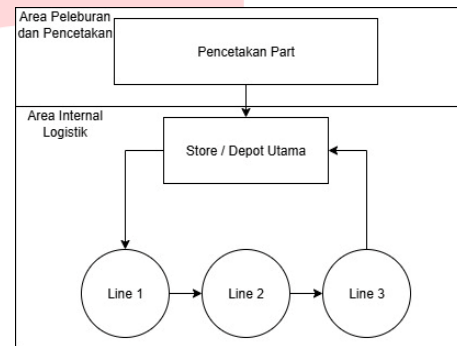
Penelitian ini bertujuan untuk meningkatkan jumlah permintaan terpenuhi dengan menggunakan metode *branch and bound*. Permasalahan yang diangkat diklasifikasikan sebagai *Inventory Routing Problem (IRP)*, yaitu gabungan antara perencanaan rute kendaraan dan pengelolaan inventori pada beberapa periode. Model disusun dengan mempertimbangkan berbagai batasan aktual perusahaan, seperti kapasitas maksimum gerbong, batas berat muatan, arah pergerakan towing, serta jumlah towing tersedia. Data yang digunakan mencakup tiga puluh tiga line dan dua puluh tiga periode pengiriman.

Model matematis dikembangkan dan diselesaikan menggunakan *gurobi solver* untuk memperoleh solusi optimal dalam bentuk kombinasi rute dan jadwal pengiriman. Hasil penelitian menunjukkan bahwa metode ini dapat meningkatkan jumlah permintaan terpenuhi menjadi 15.818 part, lebih tinggi dibandingkan sistem pengiriman eksisting pada hari ke dua, tiga dan hari ke lima. Selain itu, pembuatan rute pengiriman dapat menurunkan biaya pengiriman dari Rp5.177,4246 menjadi Rp1.746.3431. Temuan ini menunjukkan bahwa penerapan pendekatan optimasi deterministik mampu meningkatkan efisiensi distribusi internal perusahaan dan memberikan landasan yang lebih kuat dalam pengambilan keputusan logistik yang didasarkan pada analisis data.

Kata kunci: *Inventory Routing Problem, Branch and Bound, Perancangan rute, Gurobi, distribusi internal, optimasi logistik*

I. PENDAHULUAN

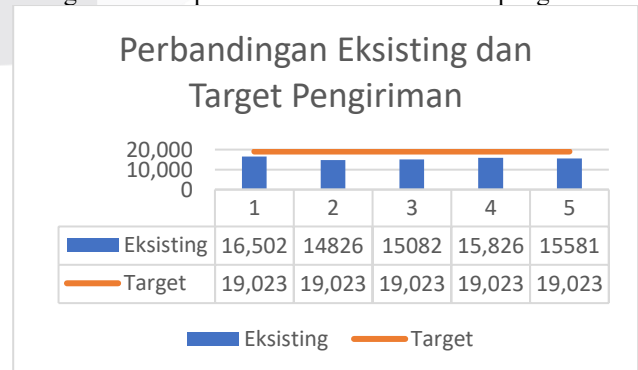
PT XYZ merupakan Perusahaan yang bergerak dalam industri manufaktur pembuatan *sparepart* mobil. PT XYZ memproduksi produknya berdasarkan *First Come First Out (FIFO)* yang dimana pengelolaan persediaan barang / produk yang pertama kali masuk disimpan atau di produksi maka akan menjadi pertama yang keluar [1].



GAMBAR 1
Gambaran alur pengiriman

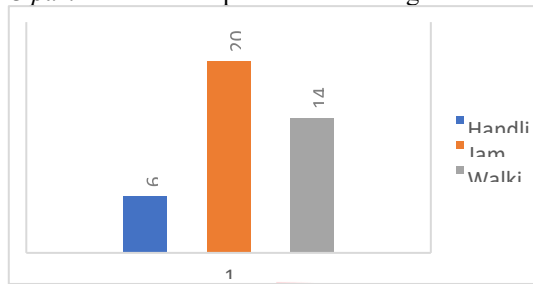
Towing pada PT XYZ digunakan pada internal logistik yang berfungsi untuk memasok *part* yang belum jadi agar di proses pada line produksi, selain untuk memasok *part*, towing tersebut digunakan untuk mengambil *part* yang sudah selesai di produksi dan mengirimkan *part* tersebut ke tempat *delivery*.

Towing pada *supply part* dan pengambilan *part* yang sudah jadi memiliki persamaan yaitu memiliki 3 gerbong palet, hal tersebut dikarenakan *safety* pada penggunaan towing serta mempermudah untuk melakukan pengiriman.



GAMBAR 2
Data pengiriman yang dilakukan oleh towing
Sumber: Data Perusahaan (2024)

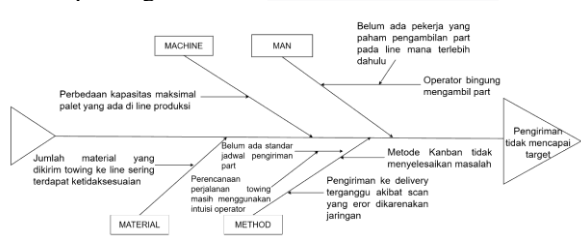
Supply yang dilakukan oleh towing seharusnya dapat tercapai dalam 1 hari, sedangkan pada Gambar 2 terdapat permasalahan yaitu pengiriman *part* yang dilakukan oleh towing 1 yaitu *supply part* ke 33 line pada lini produksi PT XYZ tidak pernah menuhi target pengiriman *part* yaitu 19.023 *part* dalam 1 hari pemakaian towing.



GAMBAR 3
Perbandingan *loading handling* dan *walking*
Sumber: Data Perusahaan (2024)

Dapat dilihat pada data pada Gambar 3, terdapat permasalahan berupa towing tersebut memiliki *loading only towing / walking* yang lebih besar yaitu 14.6 jam, yang lebih besar daripada *handling* yaitu 6.2 jam yang berarti towing lebih banyak menghabiskan waktu untuk jalan dari line ke line daripada untuk *supply part* dan mengambil *part* yang telah di proses. Sedangkan Perusahaan memiliki target jam kerja towing selama 19 jam. Jam kerja yang dilakukan oleh operator towing juga sudah melebihi jam kerja normal yaitu 20.8 jam dengan jam normal yaitu 19.8 jam dalam 1 hari. Dengan demikian, diperlukan pengurangan waktu selama 1 jam atau sebesar 5% dari jam kerja eksisting Perusahaan.

Perusahaan masih belum menerapkan sistem penjadwalan pengiriman yang dimana *part* yang di *supply* dan di ambil akan di jadwalkan, serta di urutan proses pengiriman *part* dari awal sampai akhir. Hal tersebut menyebabkan waktu kerja yang dilakukan towing tinggi. Sehingga diperlukan penjadwalan agar dapat meminimumkan waktu pengiriman *part* dan pengiriman dapat mencapai target.



GAMBAR 4
Fishbone diagram

Permasalahan dan kendala pada PT XYZ telah di strukturkan pada *fishbone diagram* pada Gambar 4. Adapun usulan yang diberikan oleh penulis seperti pembuatan penjadwalan pengiriman part pada *fishbone diagram*, dikarenakan masalah yang diambil terletak pada *method* yaitu perencanaan perjalanan towing masih menggunakan intuisi operator. Terdapat metode yang dapat digunakan seperti routing towing agar waktu pengiriman yang dilakukan oleh towing turun. Pada penerapan *routing* dapat meminimalkan waktu perjalanan hingga 16 – 20% dan dapat memastikan pengiriman sesuai jadwal [2].

II. KAJIAN TEORI

A. Penjadwalan

Penjadwalan produksi adalah proses pengambilan keputusan untuk menghasilkan output melalui tahapan pengelompokan, pemilihan, dan penentuan waktu penggunaan sumber daya yang tersedia [3]. Penjadwalan flowshop merujuk pada penjadwalan pekerjaan dengan urutan mesin yang tetap tanpa adanya pengulangan [4].

B. Inventory Routing Problem (IRP)

Inventory Routing Problem (IRP) adalah suatu integrasi diantara dua komponen seperti *inventory control* dan *vehicle routing*, kedua komponen tersebut ditentukan secara simultan [5]. Berbeda dengan *vehicle routing problem* (VRP), yang dimana supplier mengoptimalkan distribusi kendaraannya untuk melakukan pengiriman sesuai dengan *demand* dari customer, pada IRP, permintaan pelanggan tidak dilakukan secara eksplisit melalui pemesanan langsung [6]. Pemasok bertanggung jawab untuk menjaga tingkat persediaan pelanggan dalam batas aman guna untuk menghindari terjadinya kehabisa stok (*stockout*). Dalam melaksanakan tanggung jawab tersebut, pemasok perlu mengelola persediaan nya secara efisien, dengan tetap mempertimbangkan aspek minimasi biaya operasional. Biaya yang relevan dalam konteks ini mencakup beberapa biaya seperti minimasi biaya transportasi, biaya proses bongkat – muat, biaya penyimpanan, serta komponen biaya lainnya yang disesuaikan dengan karakteristik spesifik dari permasalahan logistik yang dihadapi.

Dalam penelitian, model yang digunakan sebagai referensi untuk pengiriman *part* serta *inventory* yang dibutuhkan pada pemodelan IRP dengan rute pengiriman dan pengambilan [7].

III. METODE

1. Sistematisa Penyelesaian Masalah

Sistematisa penyelesaian masalah adalah gambaran yang menjelaskan tahapan tahapan yang digunakan untuk merancang solusi terhadap permasalahan distribusi dan manajemen persediaan, khususnya yang berkaitan dengan *Inventory Routing Problem* (IRP).

2. Deskripsi Mekanisme Pengumpulan Data

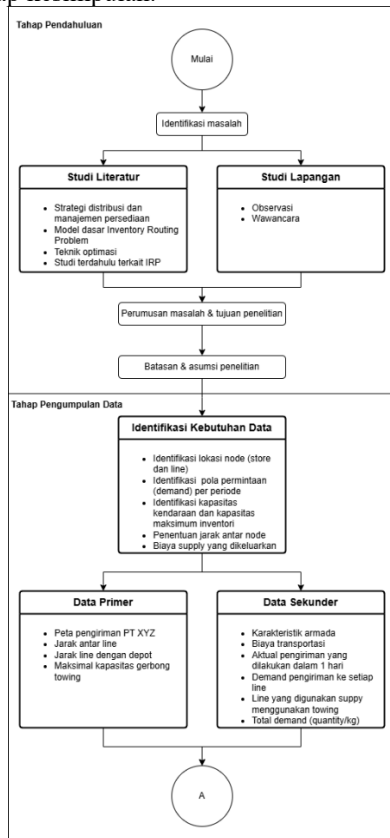
Pada tahap pengumpulan data atau informasi yang dibutuhkan dalam pemodelan IRP. Proses pengumpulan data dilakukan dengan menggabungkan studi literatur dan studi lapangan untuk mendapatkan gambaran operasional dan menentukan variabel – variabel penting di dalam model.

1. Studi literatur dilakukan untuk mengkaji strategi distribusi dan manajemen persediaan, model dasar dan pengembangan dari *Inventory Routing Problem* (IRP), teknik optimasi dan algoritma penyelesaian dan studi sebelumnya yang relevan.
2. Studi lapangan dilakukan melalui observasi dan wawancara dengan pihak problem owner guna mendapatkan informasi aktual terkait proses distribusi, pengisian persediaan (*supply*), dan kendala yang dihadapi.
3. Tahap penyelesaian masalah

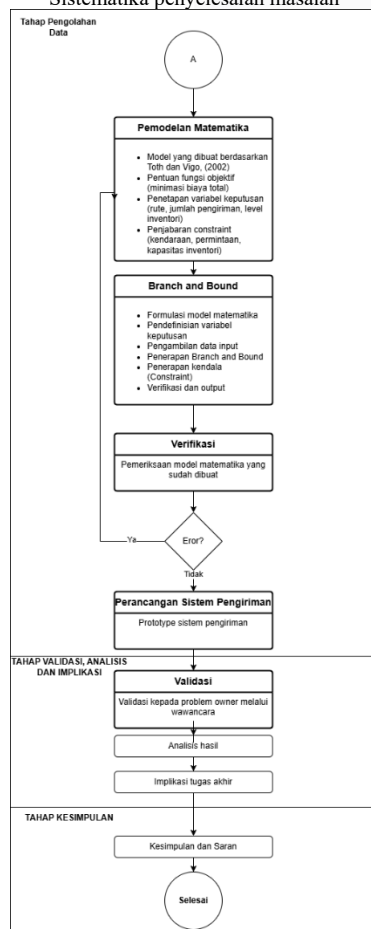
Diagram alir pada Gambar III.1 dan Gambar III.2 merupakan tahap penyelesaian permasalahan penelitian. Tahap penyelesaian permasalahan penelitian dalam tugas akhir ini terbagi menjadi lima tahap yaitu:

1. Tahap pendahuluan.
2. Tahap pengumpulan data.
3. Tahap pengolahan data.

4. Tahap validasi, analisis dan implikasi.
5. Tahap kesimpulan.



GAMBAR 5
Sistematika penyelesaian masalah



GAMBAR 6

Sistematika penyelesaian masalah (lanjutan)

4. Deskripsi Mekanisme Pengolahan Data

Pada tahap ini dilakukan penyusunan model matematika untuk menyelesaikan permasalahan pengiriman pada PT XYZ. Adapun yang dilakukan pada tahap ini yaitu:

1. Penentuan fungsi objektif, yaitu minimasi total biaya distribusi dan persediaan.
2. Penetapan Variabel keputusan, yaitu penentuan rute kendaraan, jumlah pengiriman ke masing masing node, level inventori di tiap lokasi per periode.
3. Penjabaran constraint dalam model, yaitu kapasitas kendaraan, permintaan pelanggan per periode, kapasitas maksimum inventori di tiap node, kewajiban Kembali ke depot

Setelah model disusun, tahap selanjutnya yaitu dengan menyelesaikan model tersebut dengan metode optimasi Branch and Bound melalui beberapa tahapan yaitu:

1. Formulasi ulang model matematika, dalam bentuk standar optimasi.
2. Pendefinisian variabel keputusan dan batasan (constraint).
3. Pengambilan data input, dari hasil pengumpulan data sebelumnya.
4. Penerapan metode Branch and Bound untuk menyelesaikan permasalahan IRP.
5. Verifikasi output, terhadap constraint dan objektif untuk memastikan solusi layak.

Perancangan sistem pengiriman dibuat agar memudahkan operator pada saat pengiriman tidak perlu mencatat secara manual, tetapi sudah tersedia dashboard pengiriman agar lebih efektif.

5. Deskripsi Mekanisme Verifikasi

Verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model yang telah dibuat telah sesuai secara matematis, langkah tersebut yaitu:

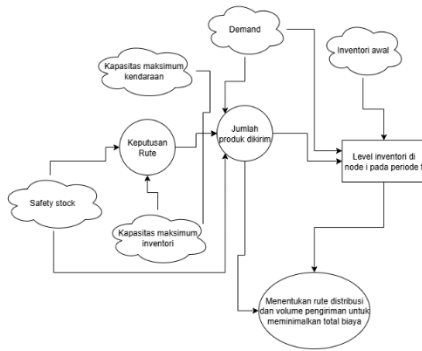
1. Pemeriksaan kesesuaian model dengan sistem nyata.
2. Jika ditemukan error atau hasil yang tidak sesuai, maka dilakukan revisi terhadap model dan proses diulang dari tahap pemodelan.

6. Deskripsi Mekanisme Validasi Analisis dan Implikasi

Validasi pada tahap ini dilakukan dengan melibatkan stakeholder atau *problem owner* melalui wawancara untuk menilai apakah model dan solusi yang sudah dihasilkan sesuai dengan kondisi nyata dan kebutuhan operasional perusahaan. Dilanjutkan melakukan evaluasi terhadap solusi modelnya pada tahap analisis hasil untuk melihat efisiensi rute yang dihasilkan, perbandingan biaya sebelum dan sesudah penerapan model, dan tingkat pemenuhan permintaan (*service level*). Pada tahap terakhir di deskripsi ini yaitu implikasi. Implikasi pada tahap ini merumuskan dampak dari solusi terhadap operasional yang sudah berjalan di perusahaan dan potensi implementasi model yang sudah dibuat, serta batasan yang mungkin dihadapi saat penerapan model tersebut.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

1. Model Matematis



GAMBAR 7
Influence diagram

Dari Gambar 7 merupakan influence diagram yang digunakan untuk menggambarkan hubungan. Interaksi antar elemen ini mengarah pada tujuan utama, yaitu menentukan rute dan volume pengiriman yang optimal untuk meminimalkan total biaya.

2. Formulasi Model

Tabel 1. Model matematis yang digunakan

Notasi	Deskripsi
N	Jumlah node (termasuk depot)
V	Jumlah kendaraan
T	Jumlah periode
D_{ij}	Jarak dari node i ke node j
G_{ij}	Permintaan node i pada waktu t
QQ	Kapasitas maksimum kendaraan
H	Biaya penyimpanan per unit
C_r	Biaya perjalanan per satuan jarak
I_0	Inventory awal
SS	Safety stock
Z	Kapasitas maksimum inventori
Variabel keputusan	
Deskripsi	
$x_{ijvt} \in \{0,1\}$	1 jika kendaraan v pergi dari i ke j pada waktu t
$z_{ivt} \in \{0,1\}$	1 jika kendaraan v melayani pelanggan i pada waktu t
$q_{ivt} \geq 0$	Jumlah barang yang dikirim ke i oleh v pada t
u_{ivt}	Variabel urutan subtur (untuk mencegah subtour)
inv_{it}	Inventory node i pada waktu t

Fungsi Objektif

$$\min \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{j=0}^{N-1} \sum_{v=0}^{V-1} \sum_{t=0}^{T-1} C_r \cdot D_{ij} \cdot x_{ijvt} + \sum_{i=0}^{N-1} \sum_{t=0}^{T-1} H \cdot inv_{it}$$

Kendala

- Setiap kunjungan hanya jika node dilayani

$$\sum_{i=0}^{N-1} x_{ijvt} = z_{jvt} \quad \forall j = 1, N-1; \forall v, t \dots (1)$$
- Keluar dari node hanya jika node dilayani

$$\sum_{j=0}^{N-1} x_{ijvt} = z_{ivt} \quad \forall i = 1, N-1; \forall v, t \dots (2)$$
- Keseimbangan arus in out

$$\sum_{j=0}^{N-1} x_{ijvt} = \sum_{k=0}^{N-1} x_{ikvt} \quad \forall i = 1, N-1; \forall v, t = 1, T-1 \dots (3)$$
- Kendaraan keluar dari depot hanya jika depot aktif

$$\sum_{j=0}^{N-1} x_{0jvt} = z_{0vt} \quad \forall v, t \dots (4)$$
- Total pengiriman per kendaraan tidak melebihi kapasitas

$$\sum_{i=1}^{N-1} q_{ivt} \leq QQ \quad \forall v, t \dots (5)$$
- Pengiriman hanya jika node dilayani

$$q_{ivt} \leq Z \cdot z_{ivt} \quad \forall i, v, t = 1, T-1 \dots (6)$$
- Urutan subtour diatur dari depot

$$u_{0vt} = 1 \quad \forall v, t \dots (7)$$
- Batas atas urutan kunjungan untuk mencegah subtour

$$u_{ivt} \leq N + 1 \quad \forall i = 1, N-1; \forall v, t = 1, T-1 \dots (8)$$
- Kendala eliminasi subtour

$$u_{jvt} \geq u_{ivt} + 1 - Z(1 - x_{ijvt}) \quad \forall i \neq j = 1, N-1; \forall v, t = 1, T-1 \dots (9)$$

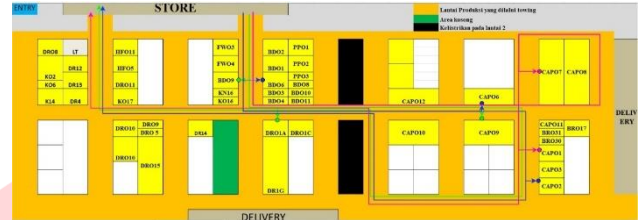
$$10. \text{ Inventori awal} \\ inv_{i,0} = I_0 \quad \forall i = 1, N-1 \dots (10)$$

$$11. \text{ Keseimbangan inventory} \\ inv_{i,t} = inv_{i,t-1} + \sum_{v=0}^{V-1} q_{ivt} - G_{it} \quad \forall i = 1, N-1; t = 1, T-1 \dots (11)$$

$$12. \text{ Inventori tidak boleh kurang dari safety stock} \\ inv_{it} \geq SS \quad \forall i = 1, N-1; t = 1, T-1 \dots (12)$$

$$13. \text{ Inventory tidak melebihi maksimum} \\ inv_{it} \leq I_{max} \quad \forall i, t \dots (13)$$

3. Visualisasi Hasil Solusi

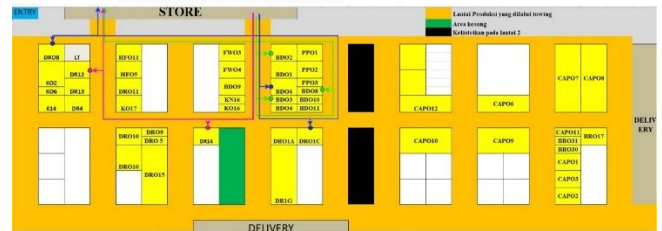


GAMBAR 8

Pengiriman yang dilakukan di jam 08.00-09.00 (Periode 1)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 1 serta inventori (supply) yang dikirim yaitu:

- Rute 1: Node 0 – Node 20 (1038.00) – Node 7 (521.00) – Node 16 (660.00) – Node 0.
- Rute 2: Node 0 – Node 5 (469.00) – Node 11 (0.00) – Node 13 (660.00) – Node 0.
- Rute 3: Node 0 – Node 10 (0.00) – Node 14 (660.00) – Node 0.

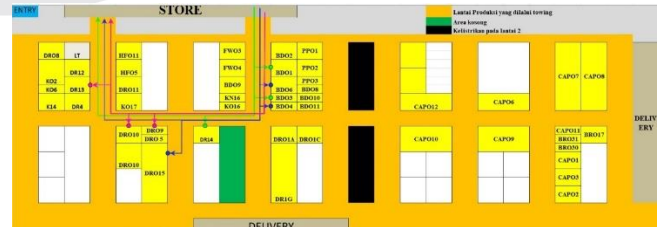


GAMBAR 9

Pengiriman Yang Dilakukan di Jam 09.00 – 10.00 (Periode 2)

Alur Pengiriman yang dilakukan pada periode 2 serta inventori (supply) yang dikirim yaitu:

- Rute 1: Node 0 – Node 3 (44.00) – Node 6 (496.00) – Node 2 (926.00) – Node 0.
- Rute 2: Node 0 – Node 21 (619.00) – Node 5 (903.00) – Node 25 (902.00) – Node 0.
- Rute 3: Node 0 – Node 29 (848.00) – Node 31 (642.00) – Node 0.



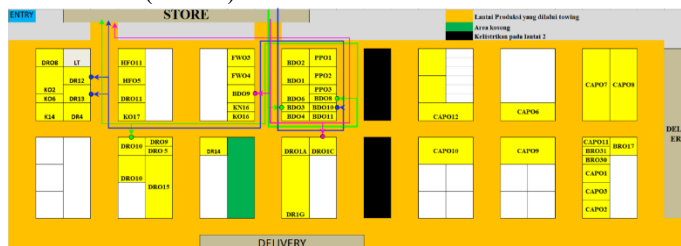
GAMBAR 10

Pengiriman yang dilakukan di jam 10.00 – 11.00 (Periode 3)

Alur Pengiriman yang dilakukan pada periode 3 serta inventori (supply) yang dikirim yaitu:

- Rute 1: Node 0 – Node 1 (490.00) – Node 31 (624.00) – Node 3 (463.00) – Node 0.

2. **Rute 2:** Node 0 – Node 4 (469.00) – Node 24 (1436.00) – Node 5 (35.00) – Node 0.
3. **Rute 3:** Node 0 – Node 26 (544.00) – Node 27 (471.00) – Node 30 (848.00) – Node 0.

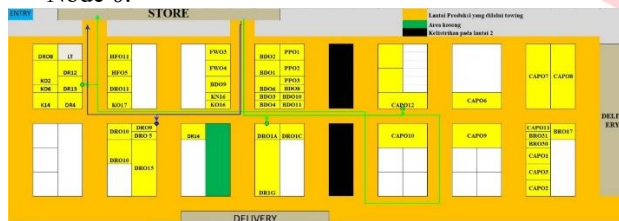


GAMBAR 11

Pengiriman yang dilakukan di jam 11.00 – 12.00 (Periode 4)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 4 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 3 (463.00) – Node 6 (496.00) – Node 27 (942.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 30 (340.00) – Node 29 (1696.00) – Node 8 (409.00) – Node 0.
3. **Rute 3:** Node 0 – Node 21 (513.00) – Node 7 (521.00) – Node 0.

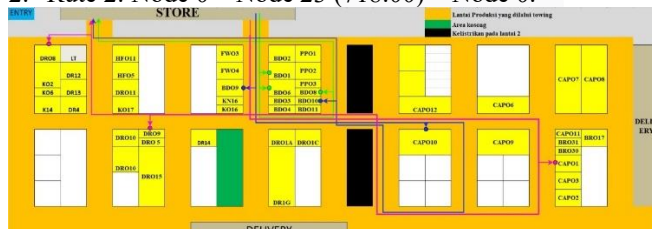


GAMBAR 12

Pengiriman yang dilakukan di jam 12.00 – 13.00 (Periode 5)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 5 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 19 (1454.00) – Node 20 (2076.00) – Node 30 (1132.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 23 (718.00) – Node 0.

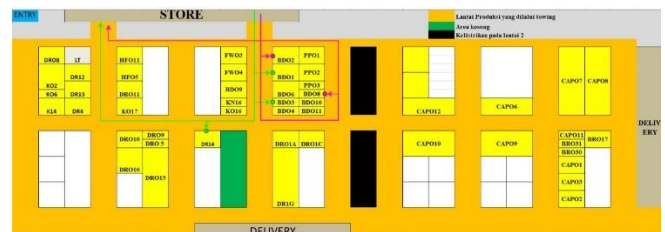


GAMBAR 13

Pengiriman yang dilakukan di jam 13.00 – 14.00 (Periode 6)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 6 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 1 (490.00) – Node 5 (938.00) – Node 6 (496.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 7 (669.00) – Node 8 (409.00) – Node 17 (660.00) – Node 0.
3. **Rute 3:** Node 0 – Node 26 (544.00) – Node 10 (723.00) – Node 25 (451.00) – Node 0.

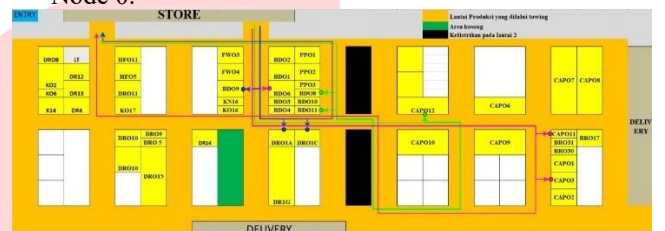


GAMBAR 14

Pengiriman yang dilakukan di jam 14.00 – 15.00 (Periode 7)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 7 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 31 (624.00) – Node 1 (899.00) – Node 3 (926.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 6 (27.00) – Node 2 (953.00) – Node 0.

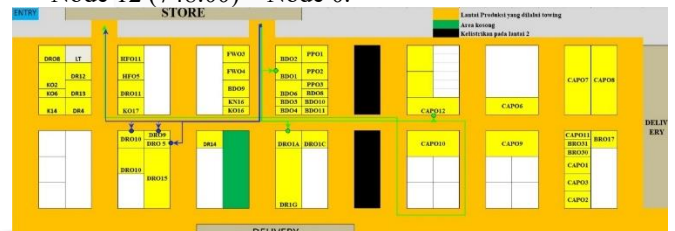


GAMBAR 15

Pengiriman yang dilakukan di jam 15.00 – 16.00 (Periode 8)

Alur pengiriman yang dilakukan pada periode 8 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 6 (27.00) – Node 9 (723.00) – Node 19 (622.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 20 (1038.00) – Node 21 (566.00) – Node 7 (527.00) – Node 0.
3. **Rute 3:** Node 0 – Node 18 (660.00) – Node 5 (469.00) – Node 12 (748.00) – Node 0.

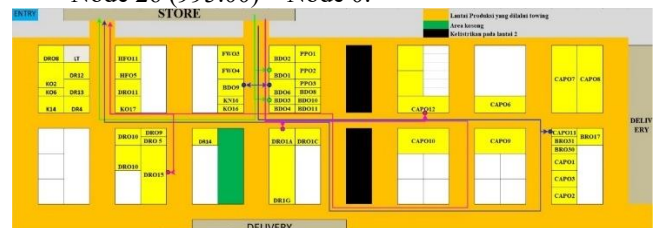


GAMBAR 16

Pengiriman yang dilakukan di jam 16.00 – 17.00 (Periode 9)

Alur pengiriman pada periode 9 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. **Rute 1:** Node 0 – Node 1 (490.00) – Node 19 (459.00) – Node 20 (1038.00) – Node 0.
2. **Rute 2:** Node 0 – Node 27 (1015.00) – Node 23 (1383.00) – Node 26 (995.00) – Node 0.

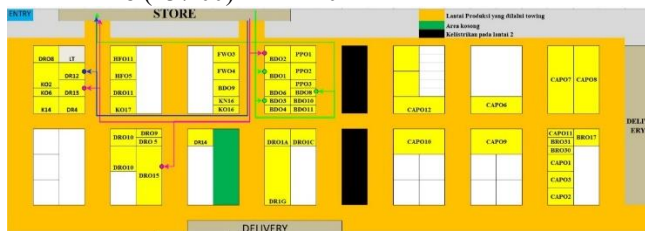


GAMBAR 17

Pengiriman yang dilakukan di jam 17.00 – 18.00 (Periode 10)

Alur pengiriman pada periode 10 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 1 (81.00) – Node 3 (453.00) – Node 4 (480.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 24 (718.00) – Node 19 (579.00) – Node 20 (1038.00) – Node 0.
3. Route 3: Node 0 – Node 5 (469.00) – Node 7 (367.00) – Node 18 (137.00) – Node 0.

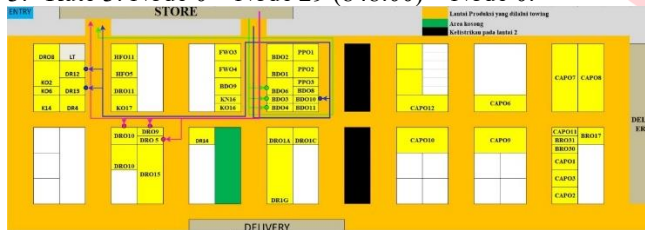


GAMBAR 18

Pengiriman yang dilakukan di jam 18.00 – 19.00 (Periode 11)

Alur pengiriman pada periode 11 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 1 (490.00) – Node 3 (463.00) – Node 6 (554.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 2 (741.00) – Node 24 (1436.00) – Node 30 (848.00) – Node 0.
3. Route 3: Node 0 – Node 29 (848.00) – Node 0.

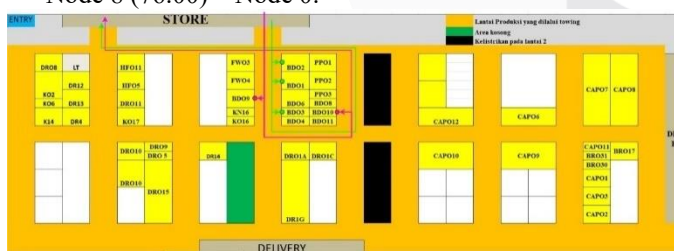


GAMBAR 19

Pengiriman yang dilakukan di jam 19.00 – 20.00 (Periode 12)

Alur pengiriman pada periode 12 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 3 (463.00) – Node 4 (463.00) – Node 5 (949.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 23 (718.00) – Node 26 (544.00) – Node 27 (471.00) – Node 0.
3. Route 3: Node 0 – Node 30 (848.00) – Node 29 (848.00) – Node 8 (76.00) – Node 0.

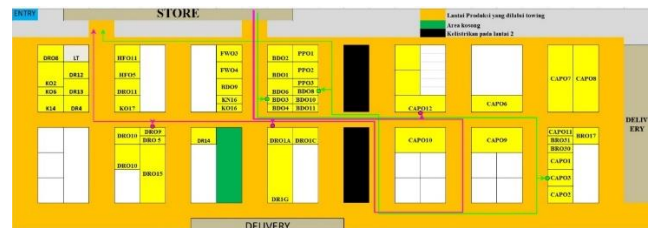


GAMBAR 20

Pengiriman yang dilakukan di jam 20.00 – 21.00 (Periode 13)

Alur pengiriman pada periode 13 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 1 (899.00) – Node 3 (463.00) – Node 2 (158.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 7 (1017.00) – Node 8 (660.00) – Node 0.

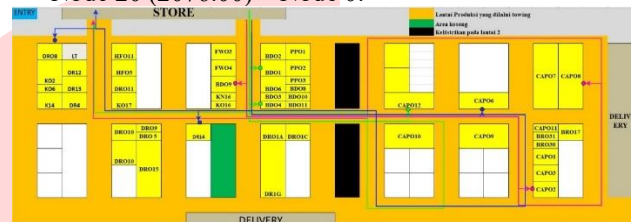


GAMBAR 21

Pengiriman yang dilakukan di jam 21.00 – 22.00 (Periode 14)

Alur pengiriman pada periode 14 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 3 (463.00) – Node 6 (438.00) – Node 12 (748.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 26 (995.00) – Node 19 (660.00) – Node 20 (2076.00) – Node 0.

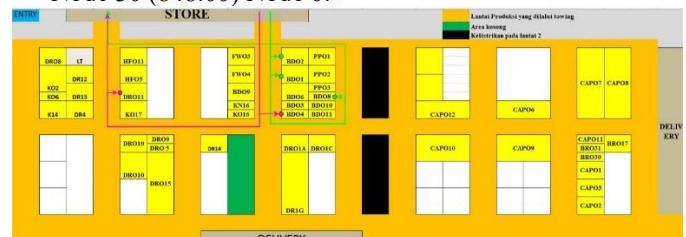


GAMBAR 22

Pengiriman yang dilakukan di jam 22.00 – 23.00 (Periode 15)

Alur pengiriman pada periode 15 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 1 (81.00) – Node 4 (17.00) – Node 19 (378.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 7 (521.00) – Node 15 (1320.00) – Node 11 (565.00) – Node 0.
3. Route 3: Node 0 – Node 13 (748.00) – Node 25 (902.00) – Node 30 (848.00) – Node 0.

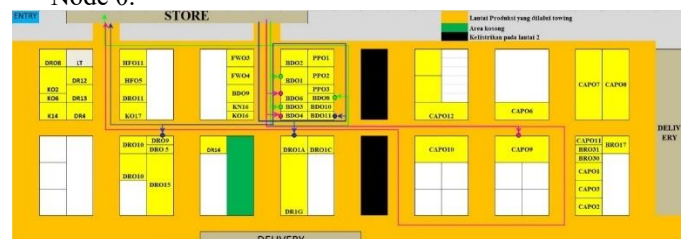


GAMBAR 23

Pengiriman yang dilakukan di jam 23.00 – 00.00 (Periode 16)

Alur pengiriman pada periode 16 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

1. Route 1: Node 0 – Node 1 (899.00) – Node 6 (469.00) – Node 2 (953.00) – Node 0.
2. Route 2: Node 0 – Node 4 (463.00) – Node 28 (1319.00) – Node 0.



GAMBAR 24

Pengiriman yang dilakukan di jam 00.00 – 01.00 (Periode 17)

Alur pengiriman pada periode 17 serta inventori (*supply*) yang dikirim yaitu:

Legend:

- Lantai Produk yang tidak terowong (Green box)
- Lantai terowong (Yellow box)
- Kategori produk pada lantai 2 (Orange box)

Store Layout Details:

- Top Section (Delivery Area):** Labeled "DELIVERY".
- Left Side (Vertical Aisle):** Contains sections for "PRODUK 11", "PRODUK 12", "PRODUK 13", "PRODUK 14", "PRODUK 15", "PRODUK 16", "PRODUK 17", "PRODUK 18", "PRODUK 19", "PRODUK 20", "PRODUK 21", "PRODUK 22", "PRODUK 23", "PRODUK 24", "PRODUK 25", "PRODUK 26", "PRODUK 27", "PRODUK 28", "PRODUK 29", "PRODUK 30", "PRODUK 31", "PRODUK 32", "PRODUK 33", "PRODUK 34", "PRODUK 35", "PRODUK 36", "PRODUK 37", "PRODUK 38", "PRODUK 39", "PRODUK 40", "PRODUK 41", "PRODUK 42", "PRODUK 43", "PRODUK 44", "PRODUK 45", "PRODUK 46", "PRODUK 47", "PRODUK 48", "PRODUK 49", "PRODUK 50", "PRODUK 51", "PRODUK 52", "PRODUK 53", "PRODUK 54", "PRODUK 55", "PRODUK 56", "PRODUK 57", "PRODUK 58", "PRODUK 59", "PRODUK 60", "PRODUK 61", "PRODUK 62", "PRODUK 63", "PRODUK 64", "PRODUK 65", "PRODUK 66", "PRODUK 67", "PRODUK 68", "PRODUK 69", "PRODUK 70", "PRODUK 71", "PRODUK 72", "PRODUK 73", "PRODUK 74", "PRODUK 75", "PRODUK 76", "PRODUK 77", "PRODUK 78", "PRODUK 79", "PRODUK 80", "PRODUK 81", "PRODUK 82", "PRODUK 83", "PRODUK 84", "PRODUK 85", "PRODUK 86", "PRODUK 87", "PRODUK 88", "PRODUK 89", "PRODUK 90", "PRODUK 91", "PRODUK 92", "PRODUK 93", "PRODUK 94", "PRODUK 95", "PRODUK 96", "PRODUK 97", "PRODUK 98", "PRODUK 99", "PRODUK 100".
- Right Side (Vertical Aisle):** Contains sections for "PRODUK 11", "PRODUK 12", "PRODUK 13", "PRODUK 14", "PRODUK 15", "PRODUK 16", "PRODUK 17", "PRODUK 18", "PRODUK 19", "PRODUK 20", "PRODUK 21", "PRODUK 22", "PRODUK 23", "PRODUK 24", "PRODUK 25", "PRODUK 26", "PRODUK 27", "PRODUK 28", "PRODUK 29", "PRODUK 30", "PRODUK 31", "PRODUK 32", "PRODUK 33", "PRODUK 34", "PRODUK 35", "PRODUK 36", "PRODUK 37", "PRODUK 38", "PRODUK 39", "PRODUK 40", "PRODUK 41", "PRODUK 42", "PRODUK 43", "PRODUK 44", "PRODUK 45", "PRODUK 46", "PRODUK 47", "PRODUK 48", "PRODUK 49", "PRODUK 50", "PRODUK 51", "PRODUK 52", "PRODUK 53", "PRODUK 54", "PRODUK 55", "PRODUK 56", "PRODUK 57", "PRODUK 58", "PRODUK 59", "PRODUK 60", "PRODUK 61", "PRODUK 62", "PRODUK 63", "PRODUK 64", "PRODUK 65", "PRODUK 66", "PRODUK 67", "PRODUK 68", "PRODUK 69", "PRODUK 70", "PRODUK 71", "PRODUK 72", "PRODUK 73", "PRODUK 74", "PRODUK 75", "PRODUK 76", "PRODUK 77", "PRODUK 78", "PRODUK 79", "PRODUK 80", "PRODUK 81", "PRODUK 82", "PRODUK 83", "PRODUK 84", "PRODUK 85", "PRODUK 86", "PRODUK 87", "PRODUK 88", "PRODUK 89", "PRODUK 90", "PRODUK 91", "PRODUK 92", "PRODUK 93", "PRODUK 94", "PRODUK 95", "PRODUK 96", "PRODUK 97", "PRODUK 98", "PRODUK 99", "PRODUK 100".
- Bottom Section (Delivery Area):** Labeled "DELIVERY".

STORE

Lantai Persekitaran diteliti (tawar)
Area koridor
Koridor yang pada lantai 2

DRO1 LT
DRO2
DRO3
DRO4
DRO5
DRO6

BDO1
BDO2
BDO3
BDO4
BDO5
BDO6

CAP01
CAP02
CAP03
CAP04
CAP05
CAP06

DELIVERY

STORE

PRODUK 1, PRODUK 2, PRODUK 3, PRODUK 4, PRODUK 5, PRODUK 6, PRODUK 7, PRODUK 8, PRODUK 9, PRODUK 10, PRODUK 11, PRODUK 12, PRODUK 13, PRODUK 14, PRODUK 15, PRODUK 16, PRODUK 17, PRODUK 18, PRODUK 19, PRODUK 20, PRODUK 21, PRODUK 22, PRODUK 23, PRODUK 24, PRODUK 25, PRODUK 26, PRODUK 27, PRODUK 28, PRODUK 29, PRODUK 30, PRODUK 31, PRODUK 32, PRODUK 33, PRODUK 34, PRODUK 35, PRODUK 36, PRODUK 37, PRODUK 38, PRODUK 39, PRODUK 40, PRODUK 41, PRODUK 42, PRODUK 43, PRODUK 44, PRODUK 45, PRODUK 46, PRODUK 47, PRODUK 48, PRODUK 49, PRODUK 50, PRODUK 51, PRODUK 52, PRODUK 53, PRODUK 54, PRODUK 55, PRODUK 56, PRODUK 57, PRODUK 58, PRODUK 59, PRODUK 60, PRODUK 61, PRODUK 62, PRODUK 63, PRODUK 64, PRODUK 65, PRODUK 66, PRODUK 67, PRODUK 68, PRODUK 69, PRODUK 70, PRODUK 71, PRODUK 72, PRODUK 73, PRODUK 74, PRODUK 75, PRODUK 76, PRODUK 77, PRODUK 78, PRODUK 79, PRODUK 80, PRODUK 81, PRODUK 82, PRODUK 83, PRODUK 84, PRODUK 85, PRODUK 86, PRODUK 87, PRODUK 88, PRODUK 89, PRODUK 90, PRODUK 91, PRODUK 92, PRODUK 93, PRODUK 94, PRODUK 95, PRODUK 96, PRODUK 97, PRODUK 98, PRODUK 99, PRODUK 100

Lantai Produk yang dilulus testing

Area testing

Area yang tidak boleh masuk

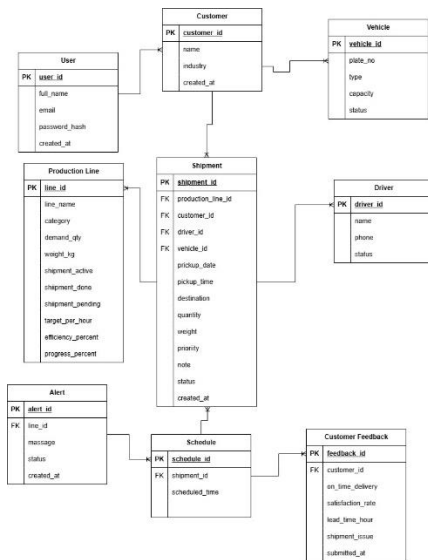
DELIVERY

Usulan penjadwalan dan target

Kategori	Usulan	Target
1	15,000	18,000
2	15,000	18,000
3	15,000	18,000
4	15,000	18,000
5	15,000	18,000

Dari pengiriman yang dilakukan pada periode satu sampai periode dua puluh tiga terdapat inventory yang di supply yaitu sebesar 15.818 pcs dalam satu hari pengiriman. Hasil tersebut lebih besar dari rata – rata pengiriman pada Gambar 1 dengan ini menyatakan terdapat improvement.

5.Perancangan sistem pengiriman

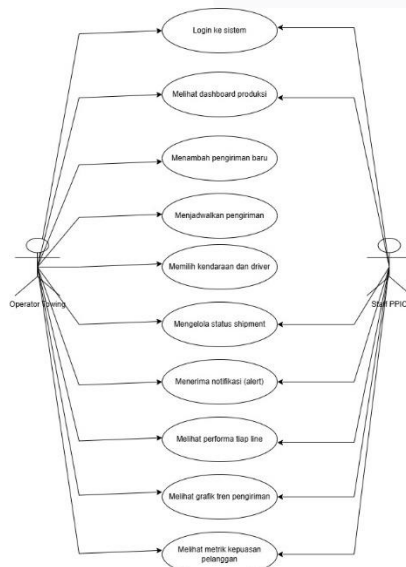


GAMBAR 32

Entity relationship diagram

ERD pada Gambar 32 terdapat entitas dan relasi utama yang digunakan yaitu:

1. User: Menyimpan informasi pengguna sistem.
2. Customer: perusahaan atau pihak penerima pengiriman.
3. Vehicle: Data kendaraan pengangkut barang.
4. Driver: Data supir yang bertugas mengantarkan barang.
5. ProductionLine: Jalur produksi berdasarkan kategori (BDO, CAPO, DRO, FWO).
6. Shipment: Data pengiriman barang, menghubungkan customer, kendaraan, driver dan line.
7. Schedule: Jadwal pengiriman yang direncanakan.
8. Alert: Notifikasi terkait performa produksi.
9. CustomerFeedback: Evaluasi dari customer terkait pelayanan pengiriman.

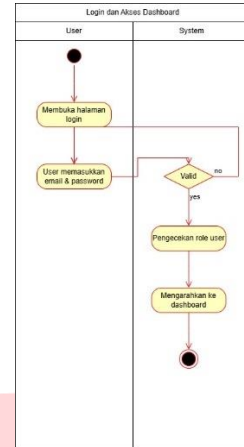


GAMBAR 33

Use case diagram

Use case diagram merupakan diagram yang menggambarkan antara aktor (pengguna) dan sistem. Pada

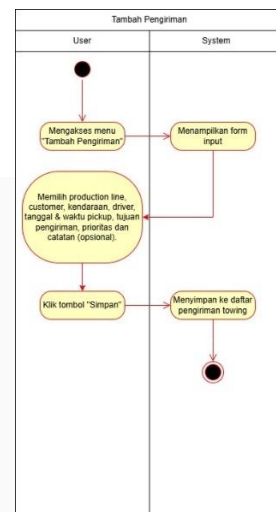
Gambar 33 aktor dalam sistem nya yaitu Operator towing/user sistem dan staff ppc/customer.



GAMBAR 34

Activity diagram login dan akses dashboard

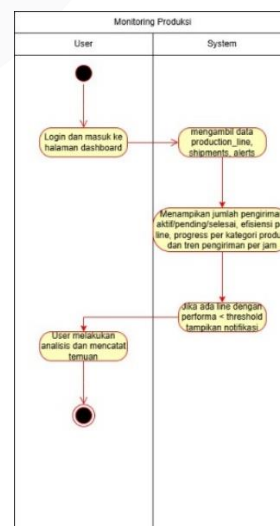
Activity diagram proses login pada Gambar 34 menjelaskan tentang proses validasi login, pengecekan user, dan arahkan ke dashboard.



GAMBAR 35

Activity diagram tambah pengiriman

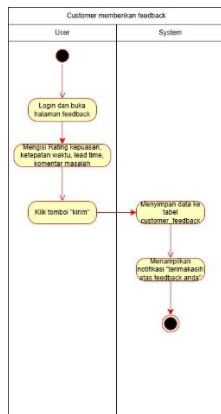
Pada activity diagram Gambar 35 memungkinkan admin/operator untuk mencatat dan menjadwalkan pengiriman part ke setiap line secara sistematis.



GAMBAR 36

Activity diagram monitoring produksi

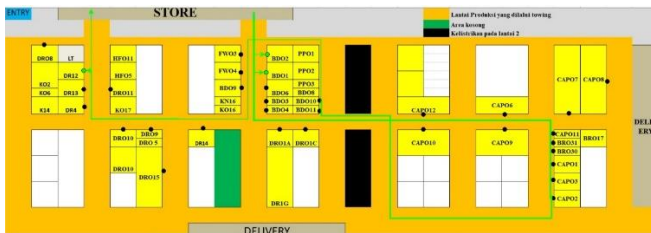
Pada activity diagram monitoring produksi Gambar 36 memberikan informasi real-time kepada admin terkait performa lini produksi berdasarkan kategori dan status pengiriman.



GAMBAR 37

Activity diagram customer memberikan feedback

Pada activity diagram Gambar 34 operator towing mendapat evaluasi dari customer (Staff PPC) atas layanan pengiriman untuk mendukung peningkatan kualitas dan kepuasan.



GAMBAR 38

Kondisi eksisting

Kondisi eksisting Pada Gambar 38 setiap *line* terdapat kemungkinan membutuhkan *supply*. Kemungkinan tersebut menyebabkan towing harus mengelilingi setiap *line* untuk *supply part* hal tersebut dapat meningkatkan waktu *loading only towing* serta menyebabkan biaya yang dikeluarkan dalam satu kali *supply* meningkat.

Pada usulan yang telah dibuat oleh penulis pada Gambar 8 sampai Gambar 30 berbeda dengan penjadwalan eksisting pada Gambar 38 perbedaan terletak pada pengiriman sudah dijadwalkan sesuai dengan jam mulai pengiriman yaitu pada jam 08.00 – 09.00 yaitu periode 1 sampai jam 06.00 – 07.00 yaitu periode 23. Usulan ini diharapkan dapat menurunkan *loading only towing* dan biaya pengiriman yang dilakukan oleh towing.

Perbandingan Eksisting, Usulan dan Target Pengiriman

	1	2	3	4	5
Eksisting	16,502	14826	15082	15,826	15581
Usulan	15,818	15,818	15,818	15,818	15,818
Target	19,023	19,023	19,023	19,023	19,023

Eksisting

Usulan

Target

GAMBAR 39

Perbandingan eksisting, usulan dan target pengiriman

Dari hasil yang telah diperoleh hasil tersebut dilakukan konversi dari pengiriman per kg menjadi per pcs. Pada Gambar 35 satu hari pengiriman yaitu yang dilakukan pada periode satu hingga periode dua puluh tiga mendapatkan hasil dengan total pengiriman yaitu 15.818 pcs hasil tersebut lebih besar dari pengiriman pada hari ke dua, tiga, dan lima, hasil tersebut juga memastikan bahwa pendekatan IRP menggunakan metode *Branch and Bound* sudah ada *improvement*.

6. Analisis biaya pengiriman kondisi actual dan kondisi usulan

Biaya pengiriman pada kondisi actual pada PT XYZ di tahun 2024 tercatat sebesar Rp5.177,4264 angka tersebut merupakan beban yang cukup besar mengingat kendaraan yang digunakan yaitu kendaraan dengan Listrik sebagai sumber bahan bakar.

Setelah dilakukan pembuatan rute towing yang dirancang menggunakan metode *Branch and Bound* dengan permasalahan IRP biaya yang awalnya Rp5.177,4264 mengalami penurunan menjadi Rp1.746,3431, berikut merupakan tabel yang memudahkan untuk melihat biaya pengiriman eksisting dan usulan:

Tabel 5. Biaya pengiriman perusahaan 2024 dan usulan

Biaya Pengiriman Perusahaan 2024	Biaya Pengiriman Hasil Solusi Gurobi 2024
Rp5.177,4264	Rp1.746,3431

Pada Tabel 5 merupakan dampak dari usulan penjadwalan yang sudah dibuat dari Gambar 8 sampai Gambar 30 dampak dari penjadwalan tersebut dapat mengurangi biaya. Hasil ini dalam menggunakan pendekatan IRP dapat menghasilkan pengiriman semua *line* dapat dicapai, dapat mengurangi *overstock* dalam pengiriman. dan membuat standar jadwal pengiriman *part* Penggunaan *Branch and Bound* dapat menyusun *constraint*, permintaan yang dibutuhkan, serta jarak distribusi pengiriman. Penggunaan pendekatan IRP dengan menggunakan metode *Branch and Bound* dapat mengurangi biaya serta dapat menghilangkan penggunaan *ituisi* dalam pengiriman *part* kepada setiap *line*. Dari hasil tersebut model ini dapat direkomendasikan serta dapat digunakan sebagai sistem pengiriman di PT XYZ.

V. KESIMPULAN

Adapun kesimpulan dari penelitian adalah sebagai berikut:

1. Metode *branch and bound* dapat merancang rute pengiriman pada PT XYZ dengan tiga puluh tiga *line* serta dua puluh tiga periode. Rute pengiriman telah disesuaikan dengan batasan seperti jumlah *qty* pengiriman, maksimal tiga gerbong palet, berat maksimal yang dikirim, jumlah towing yang ada, dan peraturan arah yang ada pada PT XYZ.
2. Perancangan rute yang dilakukan dengan metode *branch and bound* dapat meningkatkan permintaan terpenuhi menjadi 15.818 *part*. Hasil tersebut lebih besar dari eksisting pengiriman pada hari ke dua, tiga, dan hari ke lima. Perancangan rute ini juga dapat meminimasi biaya pengiriman eksisting perusahaan pada tahun 2024 sebesar Rp5.177,4264 menjadi Rp1.746,3431 pada hasil usulan menggunakan *gurobi solver*. Pengurangan biaya ini menunjukkan bahwa metode yang diusulkan tidak

hanya mampu meningkatkan tingkat pengiriman (dengan meningkatnya jumlah permintaan terpenuhi), tetapi juga memberikan dampak ekonomi yang signifikan melalui penghematan biaya operasional distribusi.

REFERENSI

- [1] T. & S. H. Wiharko, " Sistem Informasi E-Ticketing di PT Pos Indonesia Cabang Cianjur berbasis Web dengan Metode Fifo," *Media J. Inform*, 2020.
- [2] Y. H. Y. & W. P. Duan, "An adaptive large neighborhood search heuristic for the electric vehicle routing problems with time windows and recharging strategies," *Journal of Advanced Transportation*, 2023, Article ID 1200526., 2023.
- [3] N. Z. Nurhasanah, "Penjadwalan Produksi Industri Garmen Dengan Simulasi," *Jurnal Ilmiah Teknik Industri*, pp. 2(3), 141–148, 2014.
- [4] H. M. Risa, "Perbandingan Metode Campbell Dedek Smith dan Palmer dalam Meminimasi Total Waktu Penyelesaian Studi Kasus: Astra Konveksi Pontianak," *Jurnal Bimaster*, pp. 81-190, 2015.
- [5] D. K. F. H. R. F. S. M. W. Hemmelmayr Vera, "OR Spectrum," *Delivery strategies for blood products supplies*, pp. 31(4),, 2009.
- [6] F. K. Rani, A. Rusdiansyah, W. S. E. and N. Siswanto, "Model Multi Product Inventory Routing Problem Kapal Tanker Dengan Mempertimbangkan Faktor Kompatibilitas Dalam Pemuatan Produk," *Article of Prosiding Seminar Nasional Manajemen Teknologi XII Program Studi MMT-ITS, Surabaya 7 Agustus 2010.*, 2010.
- [7] C. Archetti, M. Christiansen and M. Grazia Speranza, "Inventory Routing With Pickups And Deliveries," *European Journal of Operational Research*, pp. 268(1), 314–324, 2018.