

## BAB II TINJAUAN PUSTAKA

### 2.1 Sistem Distribusi dan Transportasi

Sistem distribusi dan transportasi merupakan komponen vital dalam rantai pasok, yang bertujuan mengalirkan barang dari produsen ke pelanggan secara efisien dan efektif. Integrasi antara sistem distribusi dan transportasi semakin penting seiring meningkatnya kompleksitas permintaan, yang menuntut solusi inovatif.

#### 2.1.1 Distribusi

Sistem distribusi mencakup perencanaan, pengelolaan, dan pengiriman produk melalui jaringan gudang, pusat distribusi, dan titik penjualan, dengan tujuan meminimalkan biaya dan waktu pengiriman sambil memenuhi permintaan pelanggan secara optimal. Menurut Lestari et al (2022) Distribusi mencakup aktivitas dan proses yang memastikan produk sampai ke tangan pelanggan, sehingga sistem distribusi merupakan bagian dari *material handling* karena adanya perpindahan material pada tiap titiknya.

Terdapat tiga strategi distribusi yang masing-masing memiliki kelebihan dan kekurangan. Menurut Chopra dalam tiga strategi itu yakni:

1. Pengiriman Langsung (*Direct Shipment*)

Strategi ini digambarkan dengan produk langsung dari produsen ke pelanggan tanpa perantara seperti gudang. Strategi ini sangat sesuai untuk produk yang mudah rusak dan umur produk yang pendek. Keunggulan strategi ini ada pada waktu pengiriman yang relatif pendek dan pengurangan inventory. Namun strategi ini memiliki kekurangan pada ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian pasokan yang relatif tinggi.

2. Pengiriman Melalui *Warehouse*

Strategi ini berbanding terbalik dengan sebelumnya, sehingga sangat sesuai pada produk yang tidak mudah rusak dan umur produk yang lama. Selain itu dengan adanya gudang sebagai tempat mengumpulkan barang dari berbagai pemasok ke berbagai pelanggan, sehingga dapat mengatasi adanya ketidakpastian permintaan dan ketidakpastian pasokan yang tinggi.

### 3. *Cross-Docking*

Di tempat ini, kendaraan penjemput dan pengirim akan bertemu dan terjadi perpindahan produk. Secara umum keunggulannya adalah pengiriman bisa relatif cepat, kegiatan *handling* akan jauh berkurang dan *inventory* di *supply chain* tidak akan setinggi model *warehousing*.

#### 2.1.2 **Transportasi**

Menurut Aprilliani (2021) transportasi adalah aktivitas perpindahan dari tempat angkutan dimulai sebagai titik awal menuju tempat angkutan tujuan sebagai titik akhir. Dalam aspek transportasi terdapat tiga hal yang perlu diperhatikan, yaitu: kecepatan waktu pelayanan, biaya transportasi dan konsistensi dari sistem transportasi dalam proses pengangkutan dan pemindahan. Sistem transportasi berperan sebagai penghubung fisik antar titik dalam jaringan distribusi, melibatkan pemilihan *moda* transportasi, rute dan jadwal pengiriman yang optimal untuk mengurangi biaya logistik dan dampak lingkungan.

Transportasi merupakan komponen rantai pasok, dimana berperan penting dalam efektivitas sistem distribusi yang bergantung efisiensi sistem transportasi. Selain itu, untuk kelancaran sistem distribusi pemilihan moda transportasi menjadi pertimbangan yang penting. Moda transportasi akan menentukan seberapa besar biaya yang akan dikeluarkan, kapasitas yang dapat dimuat, waktu pengiriman. Menurut Soimun (2022) adapun jenis-jenis moda transportasi dalam dunia distribusi barang berdasarkan karakteristiknya sebagai berikut:

1. Darat : fleksibel, sesuai untuk jarak pendek-menengah, efisien untuk distribusi regional, seperti mobil, truk, kereta.
2. Laut : kapasitas besar, biaya per unit rendah, sesuai untuk jarak jauh dan barang besar, seperti kapal.
3. Udara : sangat cepat, biaya tinggi, untuk barang bernilai tinggi atau butuh pengiriman cepat, seperti pesawat
4. *Intermodal* : kombinasi dua atau lebih moda (misal: truk + kereta + kapal) untuk efisiensi

## 2.2 Vehicle Routing Problem (VRP)

Sistem distribusi dan transportasi saling terhubung erat dalam memastikan barang dapat sampai ke pelanggan. Salah satu tantangan utama dalam integrasi kedua sistem ini adalah penentuan rute kendaraan yang paling efisien untuk mendistribusikan barang ke berbagai lokasi pelanggan, yang dikenal sebagai *Vehicle Routing Problem* (VRP). Menurut Dantzing dan Ramser VRP adalah permasalahan dalam sistem distribusi yang berkaitan dengan rute kendaraan yang berbasis depot untuk melayani permintaan pelanggan yang tersebar pada titik-titik tertentu dengan tujuan minimal total jarak tempuh kendaraan.

*Vehicle Routing Problem* (VRP) merupakan permasalahan dimana perusahaan menyediakan layanan pengiriman dalam waktu yang telah ditentukan kepada sejumlah pelanggan. Pengiriman dilakukan dengan menggunakan kendaraan tertentu dengan batasan kapasitas muatan dan lokasi pelanggan yang tersebar. Penentuan sejumlah rute yang dilalui tepat satu kendaraan yang mulai dan berakhir di gudang.

Penyelesaian *Vehicle Routing Problem* (VRP) memiliki empat tujuan (Suwatno, 2011), antara lain:

1. Meminimalkan biaya transportasi, berkaitan dengan jarak dan biaya distribusi.
2. Meminimalkan jumlah kendaraan yang digunakan dalam melayani

pelanggan.

3. Menyeimbangkan rute distribusi, baik untuk waktu dan kapasitas muatan kendaraan,
4. Meminimalkan penalti yang berkaitan dengan pelayanan kepada pelanggan.

### 2.2.1 Karakteristik Vehicle Routing Problem

Menurut Toth dan Vigo terdapat karakteristik yang ada dalam VRP. Karakteristik pertama yakni komponen-komponen yang berkaitan dalam VRP sebagai berikut:

#### 1. Pelanggan

Dalam VRP ditandai sebagai *vertex* (titik) yang menjadi titik tujuan kendaraan dari depot dan secara umum pelanggan memiliki permintaan, jangka waktu layanan tertentu, dan lokasi geografis yang berbeda.

#### 2. Depot

Dalam VRP depot merupakan titik awal dan akhir dari rute kendaraan dalam proses distribusi. Depot juga digambarkan sebagai titik dan tiap depot memiliki kendaraan dengan jenis dan kapasitas tertentu.

#### 3. Kendaraan

Kendaraan atau moda transportasi alat yang digunakan dalam proses distribusi untuk mengangkut produk yang kemudian digunakan untuk mengantarkan produk tersebut. Kendaraan memiliki batasan seperti kapasitas muatan atau berat yang mampu dimuat oleh kendaraan.

#### 4. Rute

Dalam VRP rute adalah jalur perjalanan yang harus ditempuh oleh kendaraan untuk melayani sejumlah pelanggan yang dimulai dan diakhiri di depot. Rute digambarkan dalam sebuah grafik yang terdiri atas arc (lengkungan) dan vertex (titik).

Karakteristik berikutnya yakni kendala atau batasan yang ada dalam VRP. Berdasarkan kendala atau batasan yang ada dalam VRP yang dibagi menjadi beberapa jenis :

1. *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*

*Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* merupakan masalah optimasi dasar dalam menentukan rute terpendek dengan biaya minimal pada proses distribusi dengan mempertimbangkan adanya batasan kapasitas pada kendaraan yang digunakan.

2. *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*

*Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)* adalah masalah optimasi kombinatorial dalam penentuan rute optimal yang berkaitan dengan terbatasnya waktu penyedia layanan. Dimana setiap pelanggan memiliki permintaan yang harus dipenuhi dan *driver* melayani dalam waktu yang telah ditetapkan.

3. *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)*

*Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)* merupakan varian dari VRP dimana terdapat lebih dari satu depot sebagai titik awal dan akhir dari rute kendaraan untuk menentukan rute optimal distribusi kendaraan.

4. *Vehicle Routing Problem with Backhaul (VRPB)*

*Vehicle Routing Problem with Backhaul (VRPB)* merupakan perluasan CVRP dimana pelanggan dibagi menjadi dua bagian yakni *linehaul customer* dimana pelanggan menerima produk dan *backhaul* sebagai pelanggan yang produknya diambil.

5. *Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery (VRPPD)*

*Vehicle Routing Problem with Pick-up and Delivery (VRPPD)* adalah varian VRP dimana ada peluang pelanggan mengembalikan produk yang sudah diantarkan. Dan dalam VRPPD perlu mempertimbangkan bahwa produk yang dikembalikan ke dalam kendaraan pengantaran.

6. *Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)*

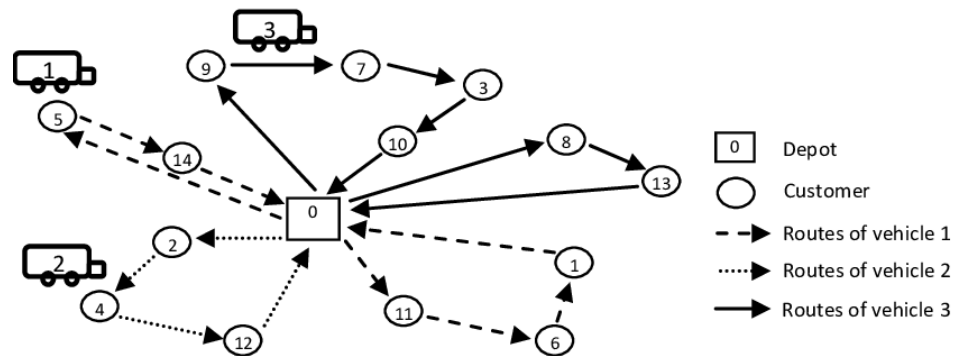
*Stochastic Vehicle Routing Problem* (SVRP) merupakan varian VRP yang terjadi jika faktor samping yang muncul bersifat acak. Dimana permintaan *stochastic* adalah jumlah permintaan  $d_i$  untuk tiap pelanggan adalah variabel random dan waktu *stochastic* adalah waktu pelayanan  $\delta_i$  dan waktu pelayan  $t_{ij}$  adalah variabel random.

#### 7. *Periodic Vehicle Routing Problem* (PVRP)

*Periodic Vehicle Routing Problem* (PVRP) adalah VRP yang generalisasi dengan memperluas rentang perencanaan pengiriman menjadi M hari, dari semula hanya rentang sehari. Tujuan dari PVRP yakni meminimalisasi jumlah kendaraan dan total waktu perjalanan untuk melayani tiap pelanggan.

### 2.3 ***Multiple Trip Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (MTHVRP)**

*Multiple Trip Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (MTHVRP) merupakan pengembangan dari permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP) yang mempertimbangkan dua karakteristik utama, yaitu *Multiple Trip* dan juga *Heterogeneous*. Heterogenitas kendaraan berarti armada yang digunakan memiliki perbedaan kapasitas, biaya operasional, kecepatan, atau karakteristik lainnya, sehingga pemilihan kendaraan menjadi keputusan penting dalam meminimalkan biaya distribusi. Kendaraan yang bersifat heterogen dan kemampuan setiap kendaraan untuk melakukan lebih dari satu perjalanan (*trip*) dalam satu periode perencanaan. Selain itu, konsep *multiple trip* memungkinkan satu kendaraan kembali ke depot setelah menyelesaikan satu rute untuk kemudian melayani rute berikutnya, selama masih berada dalam batasan waktu operasional yang ditetapkan (Irfan et al., 2021).



Gambar 2. 1 Ilustrasi MTHVRP

(Sumber: Ayadi 2013)

Secara keseluruhan, penelitian mengenai *Multiple Trip Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (MTHVRP) menunjukkan perkembangan dari pendekatan sederhana hingga metode yang lebih kompleks dan realistis. Prins (2002) memulai dengan pendekatan *heuristik* tanpa model matematis untuk meminimalkan durasi perjalanan dan jumlah kendaraan, sementara Sexias dan Mendes (2013) mengembangkan model *integer programming* dengan mempertimbangkan *time windows*, jam kerja, serta biaya distribusi yang diselesaikan menggunakan kombinasi *heuristik* dan *tabu search* serta *column generation*. Selanjutnya, Cruz et al (2014) menambahkan batasan jarak maksimum rute dan aturan penggunaan kendaraan dengan algoritma hibrida berbasis *Clarke and Wright Savings* dan *local search*, sedangkan Coelho et al (2015) memperluas model dengan batasan *docking* serta komponen biaya yang lebih lengkap, dan menggunakan metode metaheuristik gabungan (GILS-VND). Secara umum, penelitian MTHVRP berkembang dengan memasukkan berbagai batasan operasional yang lebih nyata serta penggunaan algoritma untuk menghasilkan solusi yang lebih optimal.

Dalam MTHVRP, keputusan yang harus diambil tidak hanya mencakup penentuan urutan kunjungan *customer*, tetapi juga alokasi *customer* ke dalam *trip* tertentu, pemilihan jenis kendaraan untuk setiap *trip*, serta penjadwalan jumlah *trip* yang dapat dilakukan oleh masing-masing kendaraan. Permasalahan ini umumnya memiliki berbagai kendala, seperti kapasitas

kendaraan, waktu kerja maksimum, waktu pelayanan *customer*, serta jarak atau waktu tempuh antar lokasi. Kompleksitas meningkat karena kombinasi keputusan rute, jenis kendaraan, dan jumlah *trip* saling memengaruhi, sehingga solusi yang optimal sulit diperoleh dengan metode eksak untuk skala permasalahan yang besar.

Penyelesaian MTHVRP sangat erat kaitannya dengan pendekatan *cluster-first-route-second* (CFRS). Dimana keduanya menyelesaikan masalah penentuan rute menjadi dua tahap utama. Pada tahap pertama, mengelompokkan pelanggan ke dalam beberapa *cluster* (*trip*), dan tahap kedua, menentukan urutan kunjungan (rute) pada setiap *cluster*. Dengan demikian, MTHVRP secara konseptual mengikuti kerangka CFRS, hanya menambahkan dimensi heterogenitas kendaraan ke dalam proses pengelompokan dan perutean (Garside et al 2019).

Penerapan MTHVRP sangat relevan pada sistem distribusi nyata, seperti pengiriman galon, logistik ritel, dan distribusi barang konsumsi, di mana perusahaan sering menggunakan armada dengan spesifikasi berbeda dan mengizinkan kendaraan melakukan beberapa perjalanan dalam satu hari. Dengan memodelkan permasalahan sebagai MTHVRP, perusahaan dapat memperoleh rencana distribusi yang lebih realistis dan efisien, baik dari sisi biaya maupun pemanfaatan armada.

Berikut formulasi matematis untuk penyelesaian MTHVRP (F. Setiawan et al 2019).

*Objective function:*

$$\sum_{k=1}^K F_k Y_{0k0} + \sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R C_{ijkr} X_{ijkr} \quad (1)$$

*Subject to:*

Diketahui:

- N : himpunan pelanggan
- Q<sub>i</sub> : total permintaan
- T<sub>ij</sub> : waktu tempuh dari titik i ke j

B<sub>p</sub> : kuantitas permintaan

k : kendaraan

Cap<sub>k</sub> : kapasitas kendaraan

T<sub>max</sub> : jam kerja perhari

NRK : jumlah total kendaraan yang tersedia

$Y_{ikr} \begin{cases} 1, & \text{jika pelanggan } i \text{ dikunjungi kendaraan } k \text{ pada rute } r \\ 0, & \text{jika sebaliknya} \end{cases}$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R Y_{ikr} = 1 \quad \forall i \in N \setminus \{0\} \quad (2)$$

$$\sum_{k=1}^K \sum_{r=1}^R Y_{0kr} \leq NRK \quad (3)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N X_{ijkr} = Y_{ikr} \quad \forall i \in N; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (4)$$

$$\sum_{\substack{j=0 \\ i \neq j}}^N X_{jikr} = Y_{ikr} \quad \forall i \in N; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (5)$$

$$\sum_{p=1}^P B_p = Q_i \quad \forall i \in N \quad (6)$$

$$\sum_{j=1}^N X_{0ikr} \geq \sum_{j=1}^n X_{0jkr+1} \quad \forall k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R - 1 \quad (7)$$

$$\sum_{i=1}^N Q_i Y_{ikr} \leq Cap_k \quad \forall k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R - 1 \quad (8)$$

$$Q_i \leq Y_{ikr} \leq Cap_k \quad \forall i \in N \setminus \{0\}; k = 1, \dots, K \\ r = 1, 2, \dots, R \quad (9)$$

$$U_{ikr} - U_{jkr} + Cap_k X_{ijkr} \leq Cap_k - Q_j \quad \forall i, j \in N \setminus \{0\}; i \neq j, \\ k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (10)$$

$$\sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^K \sum_{r=1}^R T_{ij} X_{ijkr} \leq T_{max} \quad \forall k = 1, \dots, K \quad (11)$$

$$Y_{ikr} \in \{0,1\} \quad \forall i \in N; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (12)$$

$$X_{ijk} \in \{0,1\} \quad \forall i, j \in N; k = 1, \dots, K; r = 1, \dots, R \quad (13)$$

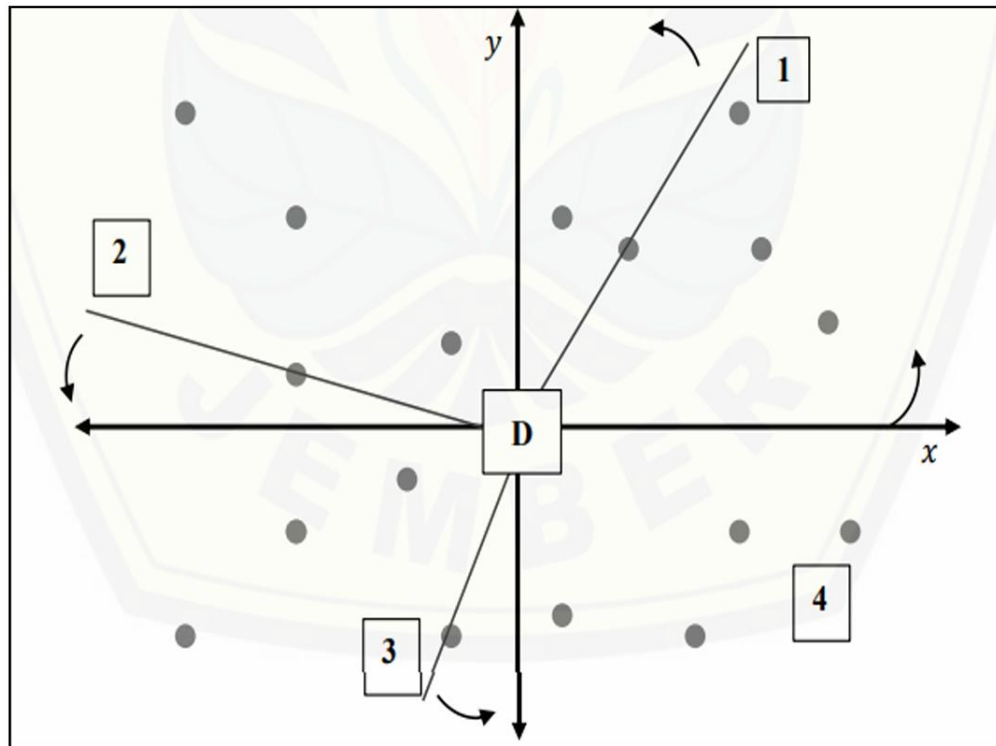
Fungsi tujuan dalam persamaan (1) untuk meminimalkan total biaya perjalanan. Persamaan (2) Memastikan bahwa pelanggan dikunjungi satu kali. Persamaan (3) menunjukkan jumlah maksimum rute dan kendaraan yang dapat digunakan. Persamaan (4) dan (5) menunjukkan bahwa kendaraan dan rute yang sama masuk dan keluar dari pelanggan tertentu. Persamaan (6) memastikan bahwa permintaan tidak melebihi kapasitas. Persamaan (7) membuat urutan perjalanan dimulai dari R ke R+1. Persamaan (9) dan (10) memastikan tidak ada sub-perjalanan. Persamaan (11) pembatasan jam kerja maksimum perhari. Persamaan (12) dan (13) mendefinisikan ruang solusi variabel keputusan.

#### 2.4 Algoritma Sweep

Algoritma *sweep* merupakan salah satu metode heuristik klasik yang banyak digunakan dalam penyelesaian permasalahan *Vehicle Routing Problem* (VRP). Prinsip dasar algoritma ini adalah mengubah koordinat lokasi pelanggan ke dalam bentuk sudut polar terhadap depot sebagai titik pusat. Selanjutnya, pelanggan diurutkan berdasarkan besar sudut tersebut, kemudian dilakukan proses “penyapuan” (*sweeping*) searah jarum jam atau berlawanan arah jarum jam untuk membentuk kelompok pelanggan. Setiap kelompok dibentuk dengan mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan, sehingga kelompok yang terbentuk dapat dilayani oleh satu kendaraan atau satu perjalanan (A. Setiawan et al., 2025).

Metode algoritma *sweep* merupakan salah satu heuristik konstruktif yang sederhana namun efektif untuk membentuk rute pada masalah *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan variannya, termasuk kasus dengan armada heterogen dan permintaan periodik, yang dalam literatur dikategorikan sebagai masalah dengan kompleksitas tinggi dan bersifat NP-Hard (Khoidir, 2022). Penggunaan algoritma *sweep* sebagai tahap awal pembentukan rute menjadi

sangat relevan: metode ini mampu dengan cepat menghasilkan solusi awal yang layak. Dengan demikian, algoritma *sweep* memberikan keseimbangan yang baik antara kesederhanaan implementasi, kecepatan komputasi, dan kualitas awal solusi untuk masalah penentuan rute berbasis Multiple Trip Heterogeneous Vehicle Routing Problem.



Gambar 2. 2 Ilustrasi Proses Forward Sweep

(sumber :Irfan 2021)

Algoritma *sweep* sendiri terbagi menjadi dua jenis utama, yaitu *forward sweep* dan *backward sweep*, yang dibedakan berdasarkan arah proses penyapuan pelanggan terhadap depot. Perbedaan arah ini berpengaruh pada urutan pengelompokan pelanggan dan rute yang dihasilkan, sehingga dapat menghasilkan nilai jarak atau biaya distribusi yang berbeda meskipun data yang digunakan sama. Pada *forward sweep*, proses penyapuan dilakukan dengan mengurutkan pelanggan berdasarkan sudut polar dari nilai sudut terkecil ke terbesar, kemudian pelanggan dialokasikan sebaliknya, *backward sweep* melakukan proses penyapuan dengan arah yang berlawanan, yaitu dari

sudut terbesar ke sudut terkecil. Prinsip pembentukan rutenya sama dengan forward sweep, namun urutan pelanggan yang diproses berbeda. ke dalam rute secara berurutan hingga kapasitas kendaraan terpenuhi.

Algoritma *sweep* menerapkan pendekatan dua fase, di mana pada fase pertama dilakukan pengelompokan pelanggan ke dalam beberapa kluster berdasarkan wilayah pelayanan serta ketersediaan kendaraan. Selanjutnya, pada fase kedua dilakukan penyusunan rute distribusi untuk setiap kluster pelanggan yang telah terbentuk. Algoritma *sweep* dapat dilakukan dengan langkah-langkah sebagai berikut (Rizal et al 2024):

1. Tahap *clustering*, Berikut langkah-langkah pada tahap *clustering*:
  - a. Menentukan masing-masing depot dalam koordinat kartesius dan menetapkan lokasi depot sebagai pusat koordinat.
  - b. Mencari seluruh koordinat polar tiap-tiap agen atau pelanggan yang berhubungan dengan depot.
  - c. Melakukan pengelompokan (*clustering*) berawal dari depot yang memiliki sudut polar terkecil atau terbesar dengan memperhatikan kapasitas kendaraan.
  - d. Memastikan seluruh agen atau pelanggan sudah dikunjungi saat ini.
  - e. Pengelompokan dalam satu *cluster* selesai apabila muatan dari transportasi sudah melebihi batas muatan.
  - f. Langkah selanjutnya dimulai dengan melakukan proses yang sama seperti langkah c, dimulai dari agen dengan nilai sudut polar terkecil yang belum ada pada *cluster* sebelumnya.
  - g. Melakukan perulangan langkah dari langkah c-f, sampai semua titik atau agen telah digabungkan ke dalam *cluster*.
  
2. Pada tahap pembentukan rute, proses penentuan jalur distribusi dilakukan dengan menggunakan metode *Nearest Neighbour* sehingga diperoleh urutan kunjungan pengiriman untuk masing-masing rute.

## 2.5 *Nearest Neighbor*

*Nearest Neighbour* (NN) merupakan salah satu metode heuristik sederhana yang sering digunakan dalam penyelesaian permasalahan optimasi rute, khususnya pada *Vehicle Routing Problem* (VRP) dan *Traveling Salesman Problem* (TSP). Prinsip dasar metode ini adalah memilih pelanggan atau titik tujuan terdekat berikutnya dari posisi kendaraan saat ini berdasarkan jarak terpendek. Proses dimulai dari depot atau titik awal, kemudian kendaraan secara bertahap mengunjungi pelanggan yang memiliki jarak paling dekat dan belum dikunjungi hingga seluruh pelanggan terlayani atau kapasitas kendaraan terpenuhi (Anand 2024).

Keunggulan utama metode *Nearest Neighbour* terletak pada kemudahan implementasi dan kecepatan perhitungannya. Karena hanya mempertimbangkan jarak terdekat pada setiap langkah, metode ini tidak memerlukan komputasi yang kompleks dan sangat sesuai digunakan sebagai solusi awal (*initial solution*) dalam algoritma optimasi yang lebih lanjut, seperti *metaheuristik* atau metode perbaikan rute. Dalam praktiknya, NN mampu menghasilkan rute yang cukup baik dalam waktu singkat, terutama untuk permasalahan dengan jumlah pelanggan yang besar.

Metode *Nearest Neighbour* digunakan untuk tahap 2 yakni penentuan rute setelah adanya *clustering* pada tahap 1 dengan metode algoritma sweep. Pada tahap penentuan rute, setiap *cluster* yang dihasilkan pada tahap sebelumnya akan diproses menggunakan metode *Nearest Neighbour* untuk memperoleh urutan perjalanan kendaraan pada masing-masing *cluster*. Metode ini digunakan untuk menentukan urutan kunjungan pelanggan berdasarkan jarak terdekat. Adapun tahapan dalam pembentukan rute dengan metode *Nearest Neighbour* adalah sebagai berikut (Rizal et al 2024):

- 1) Proses diawali dari depot, kemudian ditentukan pelanggan yang belum dilayani dengan jarak paling dekat dari depot sebagai titik kunjungan pertama.

- 2) Menentukan pelanggan berikutnya yang memiliki jarak paling dekat dari pelanggan yang telah dilayani sebelumnya, dengan tetap memastikan bahwa total muatan pengiriman tidak melampaui kapasitas kendaraan.
  - a. Apabila masih ada pelanggan yang belum terlayani dan kapasitas masih belum terpakai sepenuhnya, maka proses pada langkah 2 dilaksanakan kembali.
  - b. Jika kapasitas kendaraan terpenuhi, kembali ke langkah 1.
  - c. Apabila total permintaan pelanggan berikutnya melampaui kapasitas kendaraan, maka proses kembali ke langkah awal. Kendaraan memulai kembali dari depot dan selanjutnya memilih pelanggan terdekat yang belum dilayani.
- 3) Jika semua pelanggan telah dikunjungi tepat satu kali, maka algoritma selesai.

## 2.6 Verifikasi *Multiple Trip Heterogenous Vehicle Routing Problem*

Untuk mendapatkan rute usulan dilakukan uji verifikasi dan validasi terhadap MTHVRP dengan algoritma sweep. Uji verifikasi dilakukan untuk memastikan bahwa model MTHVRP yang diselesaikan menggunakan metode *Algoritma Sweep* telah menghasilkan solusi yang efektif dan efisien. Proses verifikasi meliputi pemenuhan seluruh permintaan pelanggan tanpa melebihi kapasitas kendaraan yang ditentukan, serta memastikan bahwa setiap pelanggan hanya dilayani sekali.

Setelah verifikasi hasil selanjutnya yakni validasi. Validasi bertujuan untuk memastikan apakah metode tersebut telah diterapkan dengan benar atau belum. Proses validasi dilakukan dengan membandingkan rute awal perusahaan dengan hasil rute usulan yang didapatkan (Iii 2025).

Untuk dapat membandingkan hasil solusi yang didapatkan dari rute awal dengan rute usulan dapat dilakukan dengan persamaan berikut (Mitra 2022):

$$Efisiensi(\%) = \frac{Nilai\ awal - Nilai\ usulan}{Nilai\ awal} \times 100\% \quad (14)$$

Keterangan:

Nilai awal = Nilai yang didapatkan dari rute awal perusahaan.

Nilai usulan = Nilai yang didapatkan dari pengerjaan/rute usulan yang didapatkan.

Persamaan (14) dapat digunakan untuk mengetahui nilai efisiensi dari total jarak dan juga biaya bahan bakar, sehingga dapat menverifikasi apakah metode yang digunakan efisien dalam penyelesaian MTHVRP.

## 2.7 Penelitian Terdahulu

Implementasi algoritma sweep pada MTHVRP telah banyak dilakukan untuk memodelkan permasalahan distribusi yang melibatkan kendaraan dengan kapasitas dan biaya operasional yang berbeda serta memungkinkan setiap kendaraan melakukan lebih dari satu perjalanan dalam satu periode perencanaan. Beberapa studi memanfaatkan algoritma *sweep* sebagai metode konstruktif awal dalam menyelesaikan permasalahan ini, karena kemampuannya dalam mengelompokkan pelanggan berdasarkan sudut polar dari depot sehingga menghasilkan alokasi pelanggan yang terstruktur. Dalam konteks MTHVRP, algoritma *sweep* digunakan untuk membentuk kelompok pelanggan dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan yang berbeda-beda, kemudian setiap kelompok dialokasikan ke kendaraan yang sesuai untuk satu atau beberapa *trip* hingga seluruh permintaan terpenuhi.

Hasil dari implementasi algoritma sweep pada MTHVRP diharapkan dapat memberikan solusi yang efisien dan efektif untuk Depo Bancar. Dengan memanfaatkan keunggulan algoritma sweep dalam eksplorasi ruang solusi, perusahaan dapat meningkatkan kinerja operasional dan memberikan layanan yang lebih baik kepada pelanggan. Penelitian ini akan mengkaji lebih lanjut tentang penerapan algoritma sweep dalam konteks VRP dan dampaknya

terhadap efisiensi pengiriman barang. Berikut penelitian-penelitian terdahulu yang mengimplementasikan metode serupa dalam *Multiple Trip Heterogeneous Vehicle Routing Problem* (MTHVRP)) ataupun dalam masalah logistik dan sistem distribusi.

Tabel 2. 1 Penelitian Terdahulu

No	Nama,Tahun	Metode	Jenis Masalah	Objek Penelitian	Fungsi Tujuan
1	Wulandari (2020)	NN dan BnB	VRP	Pendistribusian Sepatu ke berbagai cabang toko	Meminimalkan jarak tempuh
2	Nugroho (2021)	<i>Algoritma Sweep</i>	VRP	Pendistribusian produk roti di Yogyakarta	Meminimalkan total biaya
3	Irfan et al (2021)	<i>Algoritma Sweep</i>	MTHFFVRP	Rute pendistribusian gas LPG	Meminimalkan total biaya
4	Izzatillah (2021)	NN	VRP	Pendistribusian Gas LPG PT. Asri Dena Pertiwi	Meminimalkan waktu tempuh
5	Anjeli et al(2022)	NN dan <i>Saving Matrix</i>	VRP	Pendistribusian beras di CV. Expedisi Mitra Mandiri (EMM)	Meminimalkan jarak tempuh
6	Rahmadi et al(2023)	<i>Algoritma Sweep</i> dan K-NN	VRP	Pendistribusian <i>skincare CV Vavl Beaute Store</i>	Meminimalkan jarak tempuh
7	Hasyrani (2023)	BnB	HVRP	Pendistribusian BBM	Meminimalkan jarak tempuh
8	Rizal (2024)	<i>Algoritma Sweep</i>	HFCVRP	Pendistribusian aksesoris PT	Meminimalkan jarak tempuh

				Andika Sinar Mas	
9	Setiawan et al (2025)	<i>Algoritma Sweep</i>	CVRP	Pendistribusian Gas LPG	Meminimalkan jarak tempuh

Pada tabel 2.1 pada kolom metode memakai beberapa metode antara lain NN(*Nearest Neighbor*), BnB (*Brunch and Bound*) dan *Algoritma Sweep*, yang sejalan penggunaan metode yang dipakai pada penelitian ini. Sedangkan pada kolom jenis masalah memiliki beberapa jenis permasalahan yakni VRP (*Vehicle Routing Problem*), MTHFFVRP (*Multiple Trip Heterogeneous Fix Fleet Vehicle Routing Problem*), HVRP (*Heterogeneous Vehicle Routing Problem*), HFCVRP(*Heterogeneous Fleet Capacitated Vehicle Routing Problem*), dan CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*).

