

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi merupakan salah satu aspek penting dalam pemasaran yang berperan dalam memperlancar dan mempermudah penyampaian barang serta jasa dari produsen ke konsumen. Distribusi yang lebih dekat dan tepat waktu dapat meningkatkan efisiensi pengiriman, sehingga proses pendistribusian menjadi lebih cepat (Wahyuni dkk., 2022).

Dalam industri logistik, distribusi memiliki peran krusial dalam menentukan efisiensi operasional suatu perusahaan. Efisiensi distribusi tidak hanya berdampak pada pengurangan biaya operasional, tetapi juga meningkatkan kecepatan layanan dan kepuasan pelanggan. Oleh karena itu, strategi distribusi yang optimal menjadi faktor utama dalam meningkatkan daya saing perusahaan, terutama dalam menghadapi persaingan ketat di sektor logistik dan distribusi barang.

PT. Berkah Wakaf Indonesia adalah perusahaan manufaktur yang bergerak dalam produksi Air Minum Dalam Kemasan (AMDK) dengan merek Wahdah Water, didanai melalui sistem Wakaf Produktif. Perusahaan ini didirikan pada 10 November 2020 dan mulai beroperasi sejak 18 Januari 2021 setelah mengakuisisi perusahaan AMDK dengan merek yang sama. Sebelumnya, Wahdah Water telah berdiri sejak 2017, tetapi mengalami kesulitan hingga akhirnya kolaps pada awal pandemi Covid-19, Maret 2020.

Dalam pendistribusian produk Wahdah Water, Amanah Logistik Indonesia bertanggung jawab memastikan produk sampai ke tangan konsumen secara tepat waktu, efisien dan dalam kondisi terjaga. Dengan jaringan distribusi yang luas, perusahaan ini berupaya mengoptimalkan proses pengiriman guna mendukung kelancaran pasokan dan meningkatkan kepuasan pelanggan. Namun, dalam menjalankan operasionalnya, Amanah Logistik Indonesia menghadapi tantangan dalam menentukan rute distribusi yang optimal guna menekan biaya operasional serta meningkatkan efisiensi pengiriman.

Salah satu metode yang dapat digunakan untuk mengoptimalkan biaya distribusi adalah metode transportasi. Metode ini merupakan pendekatan sistematis yang bertujuan untuk mengatur pendistribusian barang dari berbagai sumber ke lokasi tujuan secara optimal, sehingga biaya distribusi dapat diminimalkan (Ratnasari dkk., 2020).



Optimized using
trial version
www.balesio.com

tian terdahulu telah membahas pengoptimalan rute dan biaya i & Rohma (2024) meneliti dengan judul Penentuan Rute e Kacang Menggunakan Metode *Saving Matrix* di UD Aulia Sementara itu, Dinda Permata & Rina Filia (2024) meneliti s of optimization waste transportation using saving matrix and is in Binjai.

Berdasarkan penelitian-penelitian tersebut, dapat disimpulkan bahwa metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* telah banyak digunakan dalam optimasi rute distribusi di berbagai sektor. Metode *Saving Matrix* membantu dalam pengelompokan rute distribusi dengan mengurangi jarak tempuh total, sedangkan metode *Floyd-Warshall* digunakan untuk menentukan jalur terpendek antara semua titik distribusi dalam jaringan.

Dengan mempertimbangkan keunggulan kedua metode tersebut, penelitian ini bertujuan untuk mengimplementasikan metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* dalam perencanaan rute distribusi pada Amanah Logistik Indonesia. Optimalisasi rute ini diharapkan dapat menekan biaya operasional, meningkatkan efisiensi pengiriman, serta memastikan produk Wahdah Water sampai ke tangan konsumen secara tepat waktu dan dalam kondisi baik.

Dengan demikian, penulis tertarik untuk meneliti dengan judul: **"Optimalisasi Rute dan Biaya Distribusi Dengan Metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* pada Amanah Logistik Indonesia."**

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, rumusan masalah yang akan dibahas dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan metode *Saving Matrix* untuk mengoptimalkan rute distribusi serta metode *Floyd-Warshall* untuk menentukan rute distribusi yang optimal pada Amanah Logistik Indonesia?
2. Bagaimana pengaruh penerapan metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* dapat mengurangi biaya distribusi?
3. Bagaimana perbandingan hasil optimasi kedua metode dalam efisiensi jarak dan biaya distribusi?

1.3 Batasan Masalah

Agar penelitian lebih terarah dan fokus, maka dibatasi pada hal-hal berikut :

1. Penelitian dilakukan di Amanah Logistik Indonesia.
2. Metode yang digunakan:

Penggunaan metode *Saving Matrix* untuk mengoptimalkan rute distribusi dan metode *Floyd-Warshall* untuk mencari solusi rute distribusi yang optimal, dengan fokus pada perbandingan hasil antara kedua metode tersebut dalam hal biaya distribusi.



1. Rute yang digunakan memiliki kapasitas yang sama dan setiap rute hanya melibatkan satu kendaraan.

2. Tidak memperhitungkan faktor eksternal seperti kemacetan atau cuaca yang dapat mempengaruhi waktu dan biaya distribusi.

5. Jarak antar titik diasumsikan simetris.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah sebagai berikut :

1. Menerapkan metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* dalam mengoptimalkan rute distribusi pada Amanah Logistik Indonesia.
2. Mengevaluasi pengaruh penerapan metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* terhadap pengurangan biaya distribusi.
3. Memperlihatkan hasil perbandingan optimasi kedua metode dalam hal efisiensi jarak dan biaya distribusi guna menentukan metode yang lebih efektif.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut :

a. Bagi penulis

Penelitian ini bermanfaat bagi penulis sebagai sarana pengembangan wawasan dan keterampilan dalam penerapan metode optimasi rute dan biaya distribusi, khususnya metode *Saving Matrix* dan metode *Floyd-Warshall*.

b. Bagi Perusahaan

Penelitian ini diharapkan dapat membantu dalam menentukan rute distribusi yang lebih efisien, sehingga mengurangi biaya operasional dan meningkatkan efektivitas pengiriman.

c. Bagi Pembaca

Penelitian ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi referensi dalam memahami strategi optimasi distribusi serta memberikan wawasan bagi akademisi dan praktisi yang tertarik dalam bidang logistik dan manajemen transportasi.

1.6 Landasan Teori

1.6.1 Optimasi

Optimasi adalah proses pengaturan yang sistematis untuk mencapai hasil ideal, dengan tujuan memaksimalkan keuntungan atau manfaat dalam suatu permasalahan hingga tidak ada solusi lain yang lebih baik ditemukan. Optimasi dapat diartikan sebagai upaya meningkatkan kinerja suatu sistem yang sudah ada atau merancang solusi yang lebih efisien dan optimal.



gai bidang, optimasi memainkan peran penting dalam pengambilan keputusan. Melalui optimasi, kita dapat mengurangi meningkatkan efisiensi, memaksimalkan keuntungan, serta s dalam berbagai siklus, seperti produksi, distribusi, dan selain itu, optimasi juga berkontribusi dalam pemanfaatan

sumber daya yang lebih efektif, sehingga menghasilkan solusi yang lebih berkelanjutan dan kompetitif (Siraj, 2024).

1.6.2 Transportasi

Menurut Salim (2000), transportasi adalah kegiatan pemindahan barang (muatan) dan penumpang dari suatu tempat ke tempat lain. Dalam transportasi ada unsur yang terpenting yaitu pemindahan/pergerakan dan secara fisik mengubah tempat dari barang (komoditi) dan penumpang ke tempat lain. Sementara itu, Miro (2005) mendefinisikan transportasi sebagai usaha memindahkan, menggerakkan, mengangkut, atau mengalihkan suatu objek dari suatu tempat ke tempat lain, dimana ditempat lain ini objek tersebut lebih bermanfaat atau dapat berguna untuk tujuan-tujuan tertentu. Peranan transportasi sangat penting yaitu sebagai sarana penghubung, mendekatkan, dan menjembatani antara pihak-pihak yang saling membutuhkan (Fatimah, 2019).

Metoda Transportasi adalah merupakan suatu metode yang dapat digunakan untuk memecahkan masalah transportasi atau pengiriman barang atau bahan dari beberapa sumber, ke beberapa tempat tujuan dengan prinsip biaya yang paling minimum. Masing-masing sumber mempunyai kapasitas pengiriman tertentu, sedangkan masing-masing tempat tujuan memiliki batasan-batasan permintaan (demand) tertentu pula (Syarifuddin Dedy Takdir, 2011).

1.6.3 Distribusi

Menurut Oentoro (2010), distribusi adalah kegiatan pemasaran yang bertujuan untuk memperlancar dan mempermudah penyampaian barang dari produsen ke konsumen. Tujuannya adalah agar produk dapat digunakan sesuai dengan jenis, jumlah, harga, tempat, dan waktu yang dibutuhkan. Basu Swastha mendefinisikan distribusi sebagai saluran pemasaran yang digunakan oleh produsen untuk mengirimkan produknya ke industri atau konsumen. Dalam saluran distribusi, terdapat tiga pihak utama yang berperan, yaitu produsen, konsumen, dan distributor. Sementara itu, Soekartawi menyatakan bahwa distribusi adalah aktivitas penyaluran atau pengiriman barang dan jasa agar dapat sampai ke tangan konsumen. Oleh karena itu, distribusi menjadi aspek penting dalam pemasaran, karena memastikan produk tersedia bagi konsumen yang membutuhkannya. Individu atau pihak yang melakukan kegiatan distribusi disebut sebagai distributor.

Secara umum, distribusi adalah proses penyaluran barang dari produsen ke konsumen akhir melalui berbagai saluran distribusi. Proses ini bertujuan untuk memastikan bahwa produk tersedia di lokasi yang tepat, dalam jumlah yang sesuai, dibutuhkan, dan dengan biaya yang minimal.



esman Problem (TSP)

esman Problem (TSP) adalah permasalahan umum dalam al, di mana seorang salesman harus mengunjungi sejumlah N an bahwa setiap kota hanya dikunjungi sekali. Salesman ini erjalanan sedemikian rupa sehingga jarak total yang ditempuh

menjadi minimum (Santosa, 2017). Permasalahan ini sering muncul dalam dunia industri dan logistik, di mana perusahaan menghadapi tantangan dalam menentukan lintasan optimal untuk meminimalkan biaya operasional, waktu tempuh, atau jarak perjalanan.

Secara Matematis TSP ini bisa diformulasikan sebagai berikut

Variabel keputusan :

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika rute dari kota } i \text{ ke kota } j \text{ dipilih} \\ 0, & \text{lainnya} \end{cases}$$

Fungsi tujuan :

$$\min z = \sum_{i=1}^N \sum_{j=1}^N c_{ij} x_{ij} \quad (1.1)$$

dengan c_{ij} adalah jarak atau biaya perjalanan dari kota i ke kota j .

Batasan-batasan :

a. *Salesman* mengunjungi setiap kota tepat satu kali

$$\sum_{i=1}^N x_{ij} = 1, j = 1, 2, \dots, N \quad (1.2)$$

b. *Salesman* melewati setiap kota tepat satu kali

$$\sum_{j=1}^N x_{ij} = 1, i = 1, 2, \dots, N \quad (1.3)$$

c. Kendala subtur yang memastikan tidak ada subroute (perjalanan bolak-balik dalam sebagian kecil kota)

$$u_i - u_j + Nx_{ij} \leq N - 1 \\ i \neq j, i = 2, \dots, N, j = 2, \dots, N, \quad u_i, u_j \geq 0 \quad (1.4)$$

Keterangan:

$\min z$: Fungsi tujuan

x_{ij} : Jarak kota i ke kota j



val

juan

ing Problem (VRP)

ing Problem (VRP) adalah suatu permasalahan yang depot kepada pelanggannya. Pengiriman barang tersebut termasuk yang diberikan oleh perusahaan dalam kurun waktu tertentu

kepada sejumlah pelanggan dengan menggunakan kendaraan tertentu. Lokasi depot/obyek pengiriman dapat berada pada satu atau lebih lokasi. Solusi VRP berupa rute-rute yang dapat ditempuh oleh kendaraan untuk mengantarkan seluruh permintaan pelanggan, dimana setiap rute ditempuh oleh satu kendaraan yang berawal dan berakhir di depot (Prasetyo & Tamyiz, 2017).

Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan perkembangan atau perluasan dari *Travelling Salesman Problem* (TSP). Tujuan dari penyelesaian VRP adalah untuk menentukan rute kendaraan yang mendatangi lokasi dari setiap pelanggan sehingga jarak tempuh dengan rute yang dibentuk menjadi seminimal mungkin. Menurut Toth dan Vigo, *Vehicle Routing Problem* (VRP) memiliki beberapa karakteristik utama yang harus diperhatikan, yang pertama adalah elemen-elemen penting yang membentuk permasalahan distribusi antara lain (Amri, Rahman & Yuniarti, 2014):

- a. Pelanggan, titik tujuan yang harus dikunjungi untuk pengiriman barang atau layanan
- b. Depot, titik awal dan akhir kendaraan yang digunakan untuk distribusi.
- c. Pengemudi, operator kendaraan yang bertanggung jawab menjalankan rute yang telah ditentukan.
- d. Rute kendaraan, jalur yang diambil oleh setiap kendaraan untuk mengunjungi pelanggan dengan efisiensi optimal.

Karakteristik berikutnya dari VRP adalah dalam hal kendala yang ada dalam VRP yaitu seperti :

1. Kapasitas kendaraan, setiap kendaraan memiliki batasan muatan yang tidak boleh dilampaui.
2. Batas waktu pelayanan, setiap pelanggan mungkin memiliki jendela waktu tertentu untuk menerima layanan.
3. Batas jumlah kendaraan, kendaraan yang digunakan dalam distribusi memiliki jumlah terbatas.
4. Batasan geografis, rute harus mempertimbangkan kondisi geografis, seperti jalan yang bisa dilalui atau tidak.

Berdasarkan kendala yang ada, VRP dibagi kedalam beberapa contoh varian VRP (Hutasoit, Susanty & Imran, 2014), antara lain



Optimized using
trial version
www.balesio.com

Vehicle Routing Problem with Multiple Trips), VRP dengan banyak kendaraan setiap kendaraan dapat melakukan lebih dari satu perjalanan sehari untuk mengoptimalkan rute pengiriman;
Vehicle Routing Problem with Time Windows), VRP yang memiliki batasan waktu layanan dimana pelanggan harus dilayani pada waktu tertentu;

- VRPPD (*Vehicle Routing Problem with Pickup and Delivery*), VRP yang melibatkan pengambilan dan pengantaran dimana kendaraan harus mengambil barang dari satu lokasi dan mengantarkannya ke lokasi lain;
- CVRP (*Capacitated Vehicle Routing Problem*), VRP dengan kapasitas terbatas dimana setiap kendaraan memiliki batas maksimum muatan yang tidak boleh dilampaui;
- VRPMP (*Vehicle Routing Problem with Multiple Product*), VRP yang menangani berbagai jenis produk dengan karakteristik yang berbeda, seperti kebutuhan penyimpanan khusus atau pembatasan dalam pengiriman;
- VRPMD (*Vehicle Routing Problem with Multiple Depots*), VRP dengan lebih dari satu gudang sehingga kendaraan dapat memulai dan mengakhiri perjalanan di beberapa lokasi berbeda;
- PVRP (*Periodic Vehicle Routing Problem*), VRP yang mempertimbangkan jadwal pengiriman periodik dimana rute pengiriman tidak dilakukan setiap hari tetapi dalam interval tertentu (misalnya mingguan atau bulanan) ; dan
- VRPHFV (*Vehicle Routing Problem with Heterogeneous Fleet of Vehicles*), VRP dengan armada kendaraan yang berbeda-beda misalnya kendaraan dengan kapasitas, kecepatan atau biaya operasional yang bervariasi.
- SVRP (*Stochastic Vehicle Routing Problem*), VRP yang mempertimbangkan ketidakpastian dalam parameter masalah, seperti jumlah pelanggan, permintaan pelanggan dan waktu layanan bersifat acak atau tidak pasti, setiap pelanggan memiliki kemungkinan untuk tidak dikunjungi setiap hari.
- DVRP (*Dynamic Vehicle Routing Problem*), VRP yang menyesuaikan rute secara dinamis berdasarkan seperti pesanan yang baru masuk, perubahan kondisi lalu lintas atau keterlambatan pengiriman.

1.6.6 *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*

Capacitated Vehicle Routing Problem merupakan konsep dasar perhitungan penentuan rute yang memiliki kesamaan dengan *Vehicle Routing Problem*. Menurut Cahyaningsih, CVRP adalah masalah optimasi untuk menemukan rute terpendek dengan biaya minimal serta kapasitas tertentu yang telah diketahui sebelum proses pendistribusian berlangsung (Kristina, Sianturi & Husnadi, 2020).

Berikut ini adalah formulasi matematis *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP):

Variabel keputusan :

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{jika terdapat kunjungan dari titik } i \text{ ke titik } j \text{ dengan kendaraan } k \\ 0, & \text{jika tidak terdapat kunjungan dari titik } i \text{ ke titik } j \text{ dengan kendaraan } k \end{cases}$$



$$\text{Min } z = \sum_{k \in K} \sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} c_{ij} x_{ijk} \quad (1.5)$$

- Setiap pelanggan dikunjungi tepat satu kali oleh satu kendaraan.

$$\sum_{j \in J_0} \sum_{k \in K} x_{ijk} = 1, i \in J_0 \quad (1.6)$$

- Total permintaan semua titik dalam satu rute tidak melebihi kapasitas kendaraan.

$$\sum_{i \in J_0} \sum_{j \in J_0} D_j x_{ijk} \leq Q_k, k \in K \quad (1.7)$$

- Setiap rute berawal dari depot nol.

$$\sum_{j \in J_0} x_{ojk}, k \in K \quad (1.8)$$

- Setiap kendaraan yang mengunjungi satu titik pasti akan meninggalkan titik tersebut.

$$\sum_{i \in J} x_{ijk} - \sum_{j \in J} x_{ijk} = 0, k \in K \quad (1.9)$$

- Setiap rute berakhir di depot.

$$\sum_{i \in J_0} x_{i0k} = 1, k \in K \quad (1.10)$$

- Variabel x_{ijk} merupakan variabel integer biner.

$$x_{ijk} \in \{0,1\}, (i,j \in J_0, k \in K) \quad (1.11)$$

Keterangan:

i : Indeks lokasi, i = 0 adalah depot, i = 1,2, ..., n adalah konsumen.

k : indeks kendaraan, k = 1,2, ..., m

c_{ij} : Jarak tempuh perjalanan dari konsumen i ke konsumen j

n : Jumlah konsumen

D_j : Jumlah permintaan yang dikirim j $\in J$

Q_k : kapasitas kendaraan k

J_0 : himpunan depot

J : himpunan pelanggan, $J = \{1,2, \dots, n\}$

$J_0 \cup J$: himpunan semua node termasuk depot, $J_0 = \{1,2, \dots, m\}$



y_i dan y_j : Variabel yang digunakan untuk menghindari terjadinya subtur, bisa diartikan sebagai posisi node $i, j \in J$ dalam sebuah rute.

1.6.7 Metode *Saving Matrix*

Metode *Saving Matrix* merupakan salah satu algoritma heuristik dalam penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*. Metode *Saving Matrix* adalah suatu metode yang digunakan untuk menentukan jalur pengiriman barang dari produsen ke pembeli dengan mengoptimalkan rute perjalanan dan jumlah kendaraan yang digunakan sesuai dengan kapasitasnya. Metode ini bertujuan untuk memperoleh jalur yang paling efisien sehingga dapat meminimalkan biaya transportasi. Pendekatan matriks penghematan secara langsung mempertimbangkan jumlah kendaraan yang dibutuhkan untuk melayani semua titik pengiriman sekaligus mengoptimalkan jarak tempuh total kendaraan (Siraj, 2024). Dengan metode ini, perusahaan dapat mengurangi biaya operasional, meningkatkan efisiensi distribusi, serta menghindari penggunaan kendaraan yang berlebihan.

Langkah-langkah penggunaan metode *Saving Matrix* antara lain:

1. Mengidentifikasi dan Menentukan Matriks Jarak (*Distance Matrix*)

Matriks jarak menunjukkan jarak antara setiap pasangan lokasi yang harus dikunjungi. Penentuan jarak dapat dilakukan menggunakan aplikasi seperti Google Earth, Google Maps, atau dengan pengukuran manual menggunakan spidometer (Oetomo dkk, 2020).

Selain itu, misalnya ada dua lokasi masing-masing lokasi A memiliki koordinat (x_1, y_1) dan lokasi B memiliki koordinat (x_2, y_2) , maka jarak antara keduanya dapat dihitung menggunakan rumus jarak Euclidean sebagai berikut :

$$Dist(A, B) = \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (y_2 - y_1)^2} \quad (1.12)$$

Keterangan:

$Dist(A, B)$: Jarak antara lokasi A dan B

(x_1, y_1) : Koordinat lokasi A

(x_2, y_2) : Koordinat lokasi B

Apabila jarak sebenarnya (*real distance*) antara lokasi telah diketahui, maka jarak tersebut lebih baik digunakan dibandingkan dengan jarak teoritis yang dihitung menggunakan rumus Euclidean. Hal ini dikarenakan jarak sebenarnya mencerminkan kondisi nyata di lapangan, termasuk faktor seperti kontur jalan, rute batan lainnya yang tidak selalu terwakili dalam perhitungan. Sebenarnya antara lokasi dapat disusun dalam bentuk tabel



an Menentukan Matriks Penghematan (*Saving Matrix*)
 ematan menggambarkan potensi penghematan jarak, waktu,
 asi jika dua lokasi digabungkan dalam satu perjalanan

menggunakan kendaraan yang sama. Matriks penghematan menunjukkan potensi pengurangan jarak yang dapat diperoleh dengan menggabungkan dua atau lebih pelanggan dalam satu rute.

Jika setiap pelanggan dikunjungi secara terpisah, maka kendaraan harus menempuh perjalanan dari gudang ke Konsumen 1, kemudian kembali lagi ke gudang, lalu berangkat kembali dari gudang ke Konsumen 2 dan kembali lagi ke gudang. Namun, apabila Konsumen 1 dan Konsumen 2 digabungkan dalam satu rute, maka jarak tempuh yang diperlukan menjadi lebih efisien, yaitu dari gudang menuju Konsumen 1, dilanjutkan ke Konsumen 2, dan kembali ke gudang. Penggabungan ini memungkinkan pengurangan total jarak perjalanan sehingga dapat menghemat waktu serta biaya operasional (Oetomo dkk, 2020).

Rumus untuk mendapatkan matriks penghematan (*Saving Matrix*) adalah sebagai berikut:

$$S(x, y) = J(G, x) + J(G, y) - J(x, y) \quad (1.13)$$

Keterangan :

$S(x, y)$: Penghematan jarak (*Saving Matrix*) yang diperoleh dengan menggabungkan rute x dan y menjadi satu.

$J(G, x)$: Jarak dari gudang ke konsumen x .

$J(G, y)$: Jarak dari gudang ke konsumen y .

$J(x, y)$: Jarak dari konsumen x ke konsumen y .

3. Mengalokasikan Kendaraan dan Rute Berdasarkan Lokasi

Setelah menghitung nilai penghematan (*saving*) untuk setiap kombinasi dua rute, langkah selanjutnya adalah mengurutkan nilai tersebut dalam matriks penghematan. Pengurutan dilakukan dari nilai terbesar ke nilai terkecil dengan tujuan memprioritaskan kombinasi dua rute yang memberikan penghematan paling besar dalam proses penyusunan rute distribusi. Rute dengan nilai penghematan tertinggi memiliki potensi terbesar dalam mengurangi total jarak tempuh, sehingga dapat meningkatkan efisiensi transportasi dan menurunkan biaya operasional secara signifikan.

4. Mengurutkan Konsumen (Tujuan) ke dalam Rute yang Sudah Terdefinisi

Setelah alokasi rute dilakukan, langkah berikutnya adalah menentukan urutan kunjungan. Terdapat beberapa metode yang dapat digunakan untuk mengurutkan toko dalam meminimalkan jarak kendaraan yaitu:



leighbour adalah algoritma yang mudah diimplementasikan dan tidak selalu menjamin solusi yang optimal. Algoritma ini memilih pelanggan yang memiliki jarak terdekat dari titik terakhir dengan mempertimbangkan beberapa batasan tertentu.

Insertion adalah salah satu algoritma penyusunan rute yang cara menambahkan titik tujuan ke dalam rute yang telah

terbentuk berdasarkan jarak terdekat. Metode ini lebih fleksibel dibandingkan dengan *Nearest Neighbour*, karena mempertimbangkan penyisipan titik baru ke dalam rute yang sudah ada, bukan hanya memilih titik terdekat secara berurutan.

1.6.8 Contoh Kasus Metode *Saving Matrix*

Contoh kasus ini diambil dari beberapa data yang ada pada jurnal Dinda Permata & Rina Filia tahun 2024 dengan judul *Analysis of optimization waste transportation using saving matrix and floyd warshall methods in Binjai*.

Sampah menjadi permasalahan serius di kota-kota besar seperti Jakarta, Surabaya dan Binjai akibat peningkatan jumlah penduduk dan aktivitas masyarakat. Di Binjai pengangkutan sampah masih dilakukan sekali sehari dengan kapasitas truk terbatas, menyebabkan penumpukan sampah di TPS. Untuk mengatasi masalah ini, dibutuhkan pengelolaan rute pengangkutan yang optimal agar efisien dari segi waktu, jarak dan biaya. Dalam penelitian ini, digunakan data rute pengangkutan sampah wilayah Binjai Timur dengan armada truk sampah berkapasitas 6-8 m³ atau 3-5 ton. Berikut ini adalah data-data yang diperlukan untuk menyelesaikan permasalahan tersebut:

Tabel 1 Titik Data Pengangkutan Sampah di Binjai Timur

No.	Simbol	Lintang	Bujur	Berat (kg)
1	v1	3.5931079	98.4878944	-
2	v2	3.5911852	98.5181966	600
3	v3	3.6031095	98.5180833	550
4	v4	3.6080370	98.5170295	400
5	v5	3.6035944	98.5132503	450
6	v6	3.6131529	98.5182047	400
7	v7	3.6172431	98.5183103	600
8	v8	3.6278612	98.5192628	350
9	v9	3.6173495	98.5345004	450
10	v10	3.6133292	98.5343271	350
11	v11	3.6131024	98.5102009	550
12	v12	3.576794	98.500022	-

Sumber : Dinas Lingkungan Hidup Kota Binjai, Tahun 2024.

Pada Tabel 1 menyajikan data titik pengangkutan sampah di wilayah Binjai Timur, yang mencakup informasi koordinat lokasi (lintang dan bujur) serta berat sampah yang diangkut dari masing-masing titik. Pengumpulan data lokasi dilakukan dengan pihak terkait di lapangan, sedangkan data jarak menggunakan *Google Maps*. Adapun armada yang digunakan adalah truk sampah dengan kapasitas angkut 6-8 m³ atau 3-5 ton.



lokasi TPS dan TPA jika dilihat dari perangkat lunak Map



Gambar 1 Lokasi TPS dan TPA Binjai Timur

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

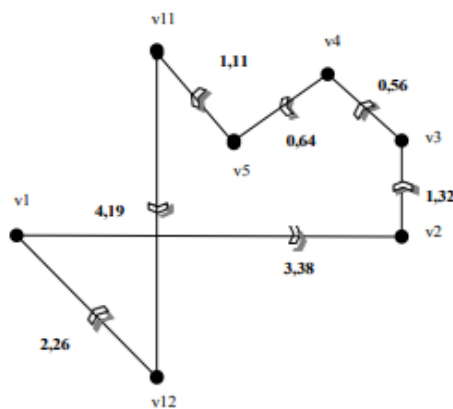
Sebelum penelitian dilakukan, terdapat dua rute pengangkutan sampah dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Binjai ke TPA. Berikut ini adalah rute-rute tersebut:

Tabel 2 Rute Pengumpulan Sampah Awal

Rute	Urutan Awal	Jarak(Km)	Berat (Kg)
1	v1-v2-v3-v4-v5-v11-v12-v1	13,46	2550
2	v1-v6-v7-v8-v9-v10-v12-v1	16	2150
Total		29,46	4700

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

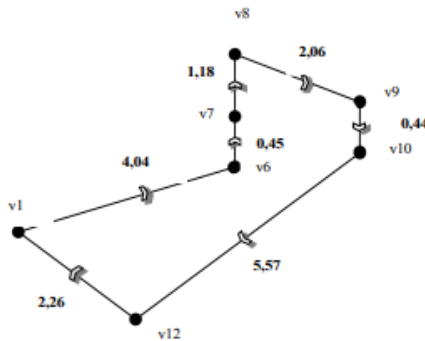
Berdasarkan Tabel 2, grafik rute pengumpulan sampah diatas dapat dilihat pada gambar 2 dan 3.



Gambar 2 Grafik Rute Pertama Pengumpulan Sampah di Binjai Timur
Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.



Optimized using
trial version
www.balesio.com



Gambar 3 Grafik Rute Pertama Pengumpulan Sampah di Binjai Timur
Sumber : Dinda Permata & Rina Fila, Tahun 2024.

Pada Gambar 2 dan Gambar 3 menunjukkan visualisasi rute pertama dan kedua pengumpulan sampah di wilayah Binjai Timur. Gambar-gambar ini menggambarkan titik-titik lokasi pengangkutan berdasarkan koordinat lintang dan bujur serta jarak antar titik yang dilalui oleh armada truk pengangkut. Visualisasi ini membantu dalam memahami pola rute yang diambil untuk memaksimalkan efisiensi pengumpulan sampah.

Dalam menentukan biaya bahan bakar dapat dihitung dengan rumus berikut :

$$B = J \times \frac{1}{k} \times h \quad (1.14)$$

Keterangan :

B : Biaya Bahan Bakar (Dalam Rupiah)

J : Jarak Customer (Km)

k : Jarak Tempuh dalam 1 liter BBM (km/liter)

h : Harga Bahan Bakar per Liter (Dalam Rupiah)

Dan total biaya distribusi :

Dengan menggunakan rumus 1.14 diperoleh biaya distribusi:

$$\begin{aligned} B &= 29,46 \times \frac{1}{10} \times \text{Rp}6.800,00 \\ &= \text{Rp}20.032,8 \end{aligned}$$

Dengan asumsi bahwa setiap 10 km membutuhkan 1 liter solar dan harga solar adalah Rp6.800,00 dan diketahui bahwa jumlah rute atau jumlah perjalanan dump truck dalam sehari yaitu 30 kali(hari). Maka diperoleh biaya bahan bakar sebesar:

$$20.032,8 \times 30 = \text{Rp}600.984,00 \text{ per bulan}$$

biaya transportasi yang dikeluarkan oleh Dinas Lingkungan dengan menggunakan satu unit kendaraan dump truck dalam 20.032,8 per hari dan Rp600.984,00 per bulan.



Langkah 1 Mengidentifikasi dan menentukan matriks jarak

Tabel 2 Matriks Jarak dalam Satuan Km

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0											
v2	3,38	0										
v3	3,54	1,32	0									
v4	3,64	2,43	0,56	0								
v5	3,05	1,48	0,54	0,64	0							
v6	4,04	2,44	1,11	0,58	1,19	0						
v7	4,32	2,90	1,57	1,03	1,62	0,45	0					
v8	5,21	4,08	2,75	2,22	2,78	1,64	1,18	0				
v9	5,84	3,43	2,41	2,20	2,81	1,87	1,80	2,06	0			
v10	5,63	3,04	2,13	2,01	2,58	1,79	1,83	2,33	0,44	0		
v11	3,33	2,59	1,41	0,94	1,11	0,89	1,01	1,92	2,74	2,68	0	
v12	2,26	2,58	3,55	3,95	3,32	4,52	4,94	6,07	5,92	5,57	4,19	0

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

Pada Tabel 2 matriks jarak yang diperoleh dan dikumpulkan menggunakan aplikasi *google maps*, dimana mencari satu per satu titik dengan pedoman alamat pelanggan yang diberikan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Binjai.

Langkah 2 Mengidentifikasi dan Menentukan Matriks Penghematan (*Saving Matrix*) dengan menggunakan rumus pada persamaan 1.13, yaitu:

$$S(x, y) = J(G, x) + J(G, y) - J(x, y)$$

Dengan menggunakan rumus diatas, maka diperoleh matriks penghematan (*Saving Matrix*) sebagai berikut:

Tabel 3 Perhitungan Matriks Penghematan (*Saving Matrix*) (Km)

$S(v2, v3)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v3) - J(v2, v3)$ $= 3,38 + 3,54 - 1,32 = 5,60$	$S(v5, v7)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v7) - J(v5, v7)$ $= 3,05 + 4,32 - 1,62 = 5,75$
$S(v2, v4)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v4) - J(v2, v4)$ $= 3,38 + 3,64 - 2,43 = 4,59$	$S(v5, v8)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v8) - J(v5, v8)$ $= 3,05 + 5,21 - 2,78 = 5,48$
$S(v2, v5)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v5) - J(v2, v5)$ $= 3,38 + 3,05 - 1,48 = 4,95$	$S(v5, v9)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v9) - J(v5, v9)$ $= 3,05 + 5,84 - 2,81 = 6,08$
$S(v2, v6)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v6) - J(v2, v6)$ $= 3,38 + 4,04 - 2,44 = 4,98$	$S(v5, v10)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v10) - J(v5, v10)$ $= 3,05 + 5,63 - 2,58 = 6,10$
$S(v2, v7)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v7) - J(v2, v7)$ $= 3,38 + 4,32 - 2,90 = 4,80$	$S(v5, v11)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v11) - J(v5, v11)$ $= 3,05 + 3,33 - 1,11 = 5,27$
$S(v2, v8)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v8) - J(v2, v8)$ $= 3,38 + 5,21 - 4,08 = 4,51$	$S(v5, v12)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v12) - J(v5, v12)$ $= 3,05 + 2,26 - 3,32 = 1,99$
$S(v2, v9)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v9) - J(v2, v9)$ $= 3,38 + 5,84 - 3,43 = 5,79$	$S(v6, v7)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v7) - J(v6, v7)$ $= 4,04 + 4,32 - 0,45 = 7,91$
$S(v2, v10)$	$= J(v1, v2) + J(v1, v10) - J(v2, v10)$ $= 3,38 + 5,63 - 3,04 = 5,97$	$S(v6, v8)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v8) - J(v6, v8)$ $= 4,04 + 5,21 - 1,64 = 7,61$
	$J(v1, v11) - J(v2, v11)$ $= 3,33 - 2,59 = 4,12$	$S(v6, v9)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v9) - J(v6, v9)$ $= 4,04 + 5,84 - 1,87 = 8,01$
	$J(v1, v12) - J(v2, v12)$ $= 2,26 - 2,58 = 3,06$	$S(v6, v10)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v10) - J(v6, v10)$ $= 4,04 + 5,63 - 1,79 = 7,88$
	$J(v1, v4) - J(v3, v4)$ $= 3,64 - 0,56 = 6,62$	$S(v6, v11)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v11) - J(v6, v11)$ $= 4,04 + 3,33 - 0,89 = 6,48$
	$J(v1, v5) - J(v3, v5)$ $= 3,05 - 0,54 = 6,05$	$S(v6, v12)$	$= J(v1, v6) + J(v1, v12) - J(v6, v12)$ $= 4,04 + 2,26 - 4,52 = 1,78$



$S(v3, v6)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v6) - J(v3, v6)$ $= 3,54 + 4,04 - 1,11 = 6,47$	$S(v7, v8)$	$= J(v1, v7) + J(v1, v8) - J(v7, v8)$ $= 4,32 + 5,21 - 1,18 = 8,35$
$S(v3, v7)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v7) - J(v3, v7)$ $= 3,54 + 4,32 - 1,57 = 6,29$	$S(v7, v9)$	$= J(v1, v7) + J(v1, v9) - J(v7, v9)$ $= 4,32 + 5,84 - 1,80 = 8,36$
$S(v3, v8)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v8) - J(v3, v8)$ $= 3,54 + 5,21 - 2,75 = 6,00$	$S(v7, v10)$	$= J(v1, v7) + J(v1, v10) - J(v7, v10)$ $= 4,32 + 5,63 - 1,83 = 8,12$
$S(v3, v9)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v9) - J(v3, v9)$ $= 3,54 + 5,84 - 2,41 = 6,97$	$S(v7, v11)$	$= J(v1, v7) + J(v1, v11) - J(v7, v11)$ $= 4,32 + 3,33 - 1,01 = 6,64$
$S(v3, v10)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v10) - J(v3, v10)$ $= 3,54 + 5,63 - 2,13 = 7,04$	$S(v7, v12)$	$= J(v1, v7) + J(v1, v12) - J(v7, v12)$ $= 4,32 + 2,26 - 4,94 = 1,64$
$S(v3, v11)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v11) - J(v3, v11)$ $= 3,54 + 3,33 - 1,41 = 5,46$	$S(v8, v9)$	$= J(v1, v8) + J(v1, v9) - J(v8, v9)$ $= 5,21 + 5,84 - 2,06 = 8,99$
$S(v3, v12)$	$= J(v1, v3) + J(v1, v12) - J(v3, v12)$ $= 3,54 + 2,26 - 3,55 = 2,25$	$S(v8, v10)$	$= J(v1, v8) + J(v1, v10) - J(v8, v10)$ $= 5,21 + 5,63 - 2,33 = 8,51$
$S(v4, v5)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v5) - J(v4, v5)$ $= 3,64 + 3,05 - 0,64 = 6,05$	$S(v8, v11)$	$= J(v1, v8) + J(v1, v11) - J(v8, v11)$ $= 5,21 + 3,33 - 1,92 = 6,62$
$S(v4, v6)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v6) - J(v4, v6)$ $= 3,64 + 4,04 - 0,58 = 7,10$	$S(v8, v12)$	$= J(v1, v8) + J(v1, v12) - J(v8, v12)$ $= 5,21 + 2,26 - 6,07 = 1,40$
$S(v4, v7)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v7) - J(v4, v7)$ $= 3,64 + 4,32 - 1,03 = 6,93$	$S(v9, v10)$	$= J(v1, v9) + J(v1, v10) - J(v9, v10)$ $= 5,84 + 5,63 - 0,44 = 11,03$
$S(v4, v8)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v8) - J(v4, v8)$ $= 3,64 + 5,21 - 2,22 = 6,63$	$S(v9, v11)$	$= J(v1, v9) + J(v1, v11) - J(v9, v11)$ $= 5,84 + 3,33 - 2,74 = 6,43$
$S(v4, v9)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v9) - J(v4, v9)$ $= 3,64 + 5,84 - 2,20 = 7,28$	$S(v9, v12)$	$= J(v1, v9) + J(v1, v12) - J(v9, v12)$ $= 5,84 + 2,26 - 5,92 = 2,18$
$S(v4, v10)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v10) - J(v4, v10)$ $= 3,64 + 5,63 - 2,01 = 7,26$	$S(v10, v11)$	$= J(v1, v10) + J(v1, v11) - J(v10, v11)$ $= 5,63 + 3,33 - 2,68 = 6,28$
$S(v4, v11)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v11) - J(v4, v11)$ $= 3,64 + 3,33 - 0,94 = 6,03$	$S(v10, v12)$	$= J(v1, v10) + J(v1, v12) - J(v10, v12)$ $= 5,63 + 2,26 - 5,57 = 2,32$
$S(v4, v12)$	$= J(v1, v4) + J(v1, v12) - J(v4, v12)$ $= 3,64 + 2,26 - 3,95 = 1,95$	$S(v11, v12)$	$= J(v1, v11) + J(v1, v12) - J(v11, v12)$ $= 3,33 + 2,26 - 4,19 = 1,40$
$S(v5, v6)$	$= J(v1, v5) + J(v1, v6) - J(v5, v6)$ $= 3,05 + 4,04 - 1,19 = 5,90$		

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

Setelah dilakukan perhitungan matriks penghematan (Saving Matrix) seperti pada Tabel 3, selanjutnya dapat dibentuk matriks penghematan (Saving Matrix) sebagai berikut:

Tabel 4 Matriks Penghematan dalam Satuan Km

	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v2	0										
v3	5,60	0									
v4	4,59	6,62	0								
v5	4,95	6,05	6,05	0							
v6	4,98	6,47	7,10	5,90	0						
v7			6,93	5,75	7,91	0					
v8			6,63	5,48	7,61	8,35	0				
v9			7,28	6,08	8,01	8,36	8,99	0			
v10			7,26	6,10	7,88	8,12	8,51	11,03	0		
v11			6,03	5,27	6,48	6,64	6,62	6,43	6,28	0	
v12			1,95	1,99	1,78	1,64	1,40	2,18	2,32	1,40	0



nata & Rina Filia, Tahun 2024.

Pada Tabel 4 Matriks penghematan (*Saving Matrix*) diperoleh dari Tabel 3, dimana nilai 5,60 km ditempatkan pada kolom kedua yaitu v2 dan baris ketiga yaitu v3. Cara ini diulangi untuk menempatkan nilai matriks penghematan lainnya.

Langkah 3 Mengalokasikan Kendaraan dan Rute Berdasarkan Lokasi

Untuk mempermudah proses alokasi pelanggan ke kendaraan dan penentuan rute, dapat disusun sebuah tabel yang menampilkan nilai terbesar dari matriks penghematan (*Saving Matrix*). Tabel ini akan membantu dalam mengidentifikasi kombinasi rute yang paling efisien, sehingga meminimalkan biaya operasional dan meningkatkan efektivitas distribusi.

Tabel 5 Pengurutan Nilai Matriks Penghematan (*Saving Matrix*) Terbesar

No.	Koordinat Nude	Saving (Km)
1.	(v9,v10)	11,03
2.	(v8,v9)	8,99
3.	(v8,v10)	8,51
4.	(v7,v9)	8,36
5.	(v7,v8)	8,35
6.	(v7,v10)	8,12
7.	(v6,v9)	8,01
8.	(v6,v7)	7,91
9.	(v6,v10)	7,88
10.	(v6,v8)	7,61
11.	(v4,v9)	7,28
12.	(v4,v10)	7,26
13.	(v4,v6)	7,10
14.	(v3,v10)	7,04
15.	(v3,v9)	6,97
16.	(v4,v7)	6,93
17.	(v7,v11)	6,64
18.	(v4,v8)	6,63
19.	(v8,v11)	6,62
20.	(v3,v4)	6,62
21.	(v6,v11)	6,48
22.	(v3,v6)	6,47
23.	(v9,v11)	6,43
24.	(v3,v7)	6,29
25.	(v10,v11)	6,28
	(v5,v10)	6,10
	(v5,v9)	6,08
	(v3,v5)	6,05
	(v4,v5)	6,05
	(v4,v11)	6,03
	(v3,v8)	6,00
	(v2,v10)	5,97



No.	Koordinat Nude	Saving (Km)
33.	(v5,v6)	5,90
34.	(v2,v9)	5,79
35.	(v5,v7)	5,75
36.	(v2,v3)	5,60
37.	(v5,v8)	5,48
38.	(v3,v11)	5,46
39.	(v5,v11)	5,27
40.	(v2,v6)	4,98
41.	(v2,v5)	4,95
42.	(v2,v7)	4,80
43.	(v2,v4)	4,59
44.	(v2,v8)	4,51
45.	(v2,v11)	4,12
46.	(v2,v12)	3,06
47.	(v10,v12)	2,32
48.	(v3,v12)	2,25
49.	(v9,v12)	2,18
50.	(v5,v12)	1,99
51.	(v4,v12)	1,95
52.	(v6,v12)	1,78
53.	(v7,v12)	1,64
54.	(v8,v12)	1,40
55.	(v11,v12)	1,40

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

Pada Tabel 5 dapat diketahui untuk mempermudah pengalokasian pelanggan ke kendaraan dan rute dapat diurutkan dari Tabel 4 Matriks penghematan (*Saving Matrix*) dengan memulai nilai matriks yang terbesar ke nilai matriks yang terkecil.

Iterasi 1 :

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 11,03 km terjadi antara titik v9 dan v10. Sebelum menggabungkan kedua rute tersebut, perlu dipastikan bahwa kapasitas kendaraan mencukupi. Pengangkutan sampah dari titik v9 mencapai 450 kg, sedangkan pengangkutan sampah titik v10 sebesar 350 kg. Dengan kapasitas maksimum kendaraan 5.000 kg, total pengangkutan sampah dari kedua titik setelah digabungkan adalah 800 kg yang masih berada dalam batas kapasitas kendaraan. Oleh karena itu, penggabungan rute v9 dan v10 dapat dilakukan dengan efisien.



hematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 8,99 km terjadi antara titik v8 dan v9. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute tersebut layak dilakukan dengan total sebesar 800 kg. Sementara itu, kapasitas kendaraan dari titik v8 adalah 350 kg. Jika ketiga titik ini digabungkan,

total pengangkutan sampah menjadi 1.150 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10 dan v8 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 3** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v8 dan v10 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 4:**

Iterasi 4 :

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 8,36 km terjadi antara titik v7 dan v9. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10 dan v8 layak dilakukan dengan total sebesar 1.150 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v7 adalah 600 kg. Jika keempat titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 1.750 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8 dan v7 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 5** dan **iterasi 6** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v7,v8 dan v10 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 7:**

Iterasi 7 :

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 8,01 km terjadi antara titik v6 dan v9. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8 dan v7 layak dilakukan dengan total sebesar 1.750 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v6 adalah 400 kg. Jika keempat titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 2.150 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7 dan v6 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 8** sampai **iterasi 10** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v6,v7,v8 dan v10 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 11:**

Iterasi 11:

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 7,28 km terjadi antara titik v4 dan v9. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8,v7 dan v6 layak dilakukan dengan total sebesar 2.150 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v4 adalah 400 kg. Jika kelima titik



pengangkutan sampah menjadi 2.550 kg yang masih berada maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, v9,v10,v8,v7,v6 dan v4 dapat diterapkan secara efektif.

iterasi 13 tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v4,v6 abung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya tungan dilanjutkan pada **iterasi 14:**

Iterasi 14:

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 7,28 km terjadi antara titik v3 dan v10. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8,v7,v6 dan v4 layak dilakukan dengan total sebesar 2.550 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v3 adalah 550 kg. Jika keenam titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 3.100 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7,v6,v4 dan v3 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 15** dan **iterasi 16** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v3,v4,v7 dan v9 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya. Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 17**:

Iterasi 17:

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 6,64 km terjadi antara titik v7 dan v11. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8,v7,v6,v4 dan v3 layak dilakukan dengan total sebesar 3.100 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v11 adalah 550 kg. Jika ketujuh titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 3.650 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3 dan v11 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 18** sampai **iterasi 25** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v3,v4,v6,v7,v9 dan v11 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya. Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 26**:

Iterasi 26:

Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 6,10 km terjadi antara titik v5 dan v10. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3 dan v11 layak dilakukan dengan total sebesar 3.650 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v5 adalah 450 kg. Jika kedelapan titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 4.100 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3,v11 dan v5 dapat diterapkan secara efektif.

Pada **Iterasi 27** sampai **iterasi 31** tidak layak digunakan. Hal ini disebabkan v5 dan v11 sudah tergabung dalam satu rute yang sama pada iterasi sebelumnya. Oleh karena itu, perhitungan dilanjutkan pada **iterasi 32**:



Pada matriks penghematan (*Saving matrix*) nilai tertinggi pertama adalah 5,97 km terjadi antara titik v2 dan v10. Sebelumnya, telah dianalisis bahwa penggabungan rute toko v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3,v11 dan v5 layak dilakukan dengan total sebesar 4.100 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v2 adalah 450 kg. Jika kesembilan titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 4.550 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3,v11 dan v5 dapat diterapkan secara efektif.

4.100 kg. Sementara itu, pengangkutan sampah dari titik v2 adalah 600 kg. Jika kesembilan titik ini digabungkan, total pengangkutan sampah menjadi 4.700 kg yang masih berada dalam kapasitas maksimum kendaraan yaitu 5.000 kg. Oleh karena itu, penggabungan v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3,v11,v5 dan v2 dapat diterapkan secara efektif.

Berdasarkan hasil iterasi yang telah dilakukan, maka berakhir cukup dengan 1 kelompok yaitu rute 1 terdiri dari rute titik v9,v10,v8,v7,v6,v4,v3,v11,v5 dan v2 dengan total beban angkut 4.700 kg.

Langkah 4 Mengurutkan konsumen ke dalam rute yang sudah terdefinisi

Setelah alokasi dilakukan, langkah berikutnya adalah menentukan urutan kunjungan. Metode *nearest neighbour* merupakan metode yang cukup sederhana dan efektif. Prinsipnya, selalu menambahkan titik pengangkutan yang memiliki jarak terdekat dengan titik yang terakhir dikunjungi. Proses dimulai dari Dinas Lingkungan Hidup Kota Binjai, kemudian mencari titik pengangkutan dengan jarak terdekat. Dari sepuluh titik pengangkutan yang tersedia, urutan kunjungan yang diperoleh berdasarkan metode *nearest neighbour* adalah titik v12-v2-v3-v5-v4-v6-v7-v8-v11-v10-v9, lalu kembali ke Dinas Lingkungan Hidup.

Hasil optimasi ini menghasilkan rute dengan jarak total 20,03 km dibandingkan dengan total jarak sebelum menggunakan *saving matrix* yaitu 29,46 km. Hal ini menunjukkan bahwa metode *nearest neighbour* mampu mengurangi jarak tempuh secara signifikan sehingga lebih efisien dalam distribusi barang.

Biaya distribusi setelah menggunakan *saving matrix* dapat diperoleh yaitu:

$$B = 20,03 \times \frac{1}{10} \times \text{Rp}6.800,00 = \text{Rp}13.620,00$$

Dengan asumsi bahwa setiap 10 km membutuhkan 1 liter solar dan harga solar adalah Rp6.800,00 serta diketahui bahwa jumlah rute atau jumlah perjalanan dump truck dalam sebulan yaitu 30 kali(hari). Maka diperoleh biaya bahan bakar sebesar:

$$= \text{Rp}13.620,00 \times 30$$

$$= \text{Rp}408.612,00 \text{ per bulan}$$

Jadi, diperoleh biaya transportasi yang dikeluarkan oleh Dinas Lingkungan Hidup Kota Binjai dengan menggunakan satu unit kendaraan dump truck dalam satu hari sebesar Rp13.620,00 per hari dan Rp408.612,00 per bulan



Tabel 6 Perbandingan Total Jarak Rute Awal dan Rute Metode *Saving Matrix*

Perbandingan jarak dan biaya distribusi		
Rute	Jarak (Km)	Biaya distribusi (Rp)
Awal	29,46	Rp600.984,00
<i>Saving Matrix</i>	20,03	Rp408.612,00
Penghematan	9,43	Rp192.372,00
Persentase	32,01%	32,01%

Sumber : Data Diolah, Tahun 2024.

Berdasarkan Tabel 6, metode *Saving Matrix* menunjukkan hasil yang lebih unggul dibandingkan dengan metode yang digunakan oleh perusahaan. Setelah menerapkan metode *saving matrix*, jumlah rute yang awalnya 2 rute berkurang menjadi 1 rute dengan total jarak tempuh menggunakan metode *saving matrix* adalah 20,03 km, jauh lebih rendah dibandingkan metode perusahaan yang mencapai 29,46 km. Hal ini menunjukkan adanya penghematan jarak sebesar 9,43 km atau 32,01%. Selain itu, metode *saving matrix* juga menghasilkan total biaya distribusi yang lebih rendah yaitu Rp408.612,00 per bulan, dibandingkan dengan metode perusahaan yang mencapai Rp600.984,00 per bulan. Dengan demikian, metode ini mampu menghemat biaya distribusi sebesar Rp192.372,00 per bulan atau 32,01%. Metode *Saving Matrix* terbukti lebih efektif dalam mendistribusikan produk dengan mengurangi jarak tempuh dan biaya distribusi. Oleh karena itu, metode ini direkomendasikan untuk digunakan dalam menentukan jalur distribusi yang optimal.

1.6.9 Graf

Sebuah Graf G adalah pasangan himpunan $(V(G), E(G))$, dengan $V(G)$ adalah himpunan diskrit yang anggota-anggotanya disebut simpul dan $E(G)$ adalah himpunan dari pasangan anggota-anggota $V(G)$ yang anggota-anggotanya disebut sisi (Hasmawati, 2023).

1.6.10 Rute Terpendek

Lintasan terpendek adalah lintasan minimum yang diperlukan untuk mencapai suatu titik dari titik lain dalam graf berbobot. Graf terdiri dari simpul yang dihubungkan oleh sisi, dengan beberapa istilah terkait (Mukti, 2018):

1. *Adjacent*, dua verteks dikatakan bertetangga jika terhubung oleh sisi yang sama.
2. *Path*, lintasan yang melalui sisi dan simpul dalam graf.
3. *Cycle*, lintasan yang berawal dan berakhir pada simpul yang sama.



, Graf dengan arah pada setiap sisi.

pencarian rute terpendek dapat diselesaikan dengan berbagai penelitian ini, digunakan algoritma *Floyd-Warshall* untuk mal.

1.6.11 Metode Floyd-Warshall

Pada tahun 1962, Stephen Warshall memperkenalkan sebuah algoritma untuk menghitung *transitive closure* dalam graf tak berbobot. *Transitive closure* dari sebuah graf menunjukkan apakah terdapat jalur antara sepasang simpul, sehingga memungkinkan penentuan keterhubungan antar simpul dalam graf tersebut.

Di tahun yang sama, Robert Floyd mengembangkan algoritma yang mampu menemukan jalur terpendek antara semua pasangan simpul dalam graf berbobot, baik yang memiliki bobot positif maupun negatif, asalkan tidak terdapat siklus negatif. Algoritma ini menggunakan pendekatan pemrograman dinamis untuk membandingkan semua kemungkinan jalur melalui setiap simpul sebagai perantara, sehingga memastikan ditemukannya jalur terpendek untuk setiap pasangan simpul.

Meskipun kedua algoritma tersebut dikembangkan secara independen dengan tujuan yang berbeda, keduanya memiliki struktur dan pendekatan yang serupa. Oleh karena itu, algoritma yang mampu menghitung jalur terpendek antara semua pasangan simpul dalam graf berbobot ini dikenal sebagai algoritma *Floyd-Warshall*, menggabungkan nama kedua penemunya.

Menurut Ningrum & Andrasto, Algoritma *Floyd-Warshall* adalah salah satu algoritma dalam pemrograman dinamis yang digunakan untuk terpendek antara semua pasangan simpul dalam suatu graf berbobot. Algoritma ini dapat menyelesaikan masalah dengan memandang solusi sebagai keputusan yang saling terkait, dimana solusi pada suatu tahap dibentuk berdasarkan solusi tahap sebelumnya (Cahyaningati & Vikaliana, 2021).

Dalam penentuan rute terpendek, terdapat beberapa algoritma yang dapat diterapkan, seperti Dijkstra, Bellman-Ford, *Floyd-Warshall* dan lainnya. Algoritma *Floyd-Warshall* lebih menjamin keberhasilan dalam menemukan solusi minimum karena mampu membandingkan semua kemungkinan lintasan dalam graf untuk setiap pasangan simpul. Algoritma ini ditemukan oleh Warshall untuk mencari rute terpendek merupakan algoritma yang sederhana dan mudah diimplementasikan. Tujuan utama dari penerapan algoritma ini adalah untuk membantu perusahaan dalam mengoptimalkan jarak tempuh pendistribusian barang menuju lokasi tujuan, sehingga dapat meningkatkan efisiensi operasional dan mengurangi biaya transportasi. Algoritma *Floyd-Warshall* ini memiliki input graf berarah dan berbobot (V, E) , yang berupa daftar titik (node/titik V) dan daftar sisi (sisi E). Algoritma ini menghitung bobot terkecil dari semua jalur yang saling berhubungan.



Langkah-langkahnya adalah sebagai berikut:

1. Pada peta dan merepresentasikan setiap titik lokasi sebagai

2. Matriks awal yang merepresentasikan jarak antar simpul. Jika antara dua simpul, maka jarak diinisialisasi dengan nilai tak

3. Melakukan iterasi, dimulai dari iterasi ke-0 sampai ke- n , dengan n merupakan jumlah simpul yang ada. Menurut Ramadhani, secara umum algoritma *Floyd-Warshall* adalah sebagai berikut (Inayah, Resti & Ilmiyah, 2023):

- a. $X = X_0$
- b. Untuk $k = 1$ hingga n , lakukan:
 Untuk $i = 1$ hingga n , lakukan:
 Untuk $j = 1$ hingga n , lakukan:
 Jika $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$
 Tukar $X[i, j]$ dengan $X[i, k] + X[k, j]$ (1.15)
- c. $X^* = X$

Keterangan:

X : Matriks.

X_0 : Matriks hubung graf mula-mula.

X^* : Hasil matriks setelah perbandingan.

k : Iterasi 1 sampai ke- n .

i : Titik awal pada v_i .

j : Titik awal pada v_j .

Jika pada iterasi ke- k , hasil $X[i, k] + X[k, j]$ lebih sedikit dari $X[i, j]$ maka bobot sisi yang terdapat dalam $X[i, j]$ dapat diganti dengan hasil $X[i, k] + X[k, j]$. Selanjutnya, untuk iterasi ke- $k + 1$ akan digunakan tabel hasil iterasi ke- k yang sudah dihitung sebelumnya.

4. Menentukan Rute Optimal

Dengan menggunakan hasil matriks akhir, ditentukan jalur terpendek untuk setiap perjalanan.

1.6.12 Contoh Kasus Metode *Floyd-Warshall*

Dalam contoh kasus ini, data yang digunakan diambil dari contoh kasus metode *saving matrix*, yang diterapkan dalam penelitian Dinda Permata & Rina Filia tahun 2024 dengan judul *Analysis of optimization waste transportation using saving matrix and floyd warshall methods in Binjai*. Data ini digunakan sebagai dasar untuk membandingkan hasil perhitungan dengan metode *Floyd-Warshall*, guna menentukan rute dan biaya distribusi yang lebih optimal.



Berdasarkan Gambar 2 dan Gambar 3 yang berisi data jarak tempuh, dalam menyelesaikan metode *Floyd-Warshall* adalah:

1. Menentukan jumlah simpul pada peta dan merepresentasikan setiap titik lokasi simpul.



Gambar 4 Peta Lokasi TPS dan TPA Binjai Timur
Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

Pada Gambar 4 menampilkan peta lokasi Tempat Pembuangan Sementara (TPS) dan Tempat Pembuangan Akhir (TPA) di wilayah Binjai Timur yang digunakan dalam proses pengolahan data rute pengangkutan sampah menggunakan algoritma *Floyd-Warshall*. Peta ini memvisualisasikan jaringan rute antar simpul lokasi yang akan dianalisis untuk menentukan jalur terpendek dan efisien dalam distribusi pengangkutan sampah.

Berikut ini data titik yang terhubung dalam jalur (*related simpul*):

Tabel 7 Verteks Terkait

No.	Simpul Terkait	Jarak (Km)
1	v1-v2	3,38
2	v2-v3	1,32
3	v3-v4	0,56
4	v4-v5	0,64
5	v5-v6	1,19
6	v6-v7	0,45
7	v6-v10	1,79
8	v6-v11	0,89
9	v7-v8	1,18
10	v8-v9	2,06
11	v9-v10	0,44
12	v10-v11	2,68
13	v11-v1	3,33
14	v11-v12	4,19
15	v12-v1	2,26

nata & Rina Filia, Tahun 2024.

n tabel matriks awal

n Tabel 7, langkah selanjutnya adalah menyusun tabel matriks



Tabel 8 Matriks Awal Algoritma *Floyd-Warshall*

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	∞	1,32	0	0,56	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v4	∞	∞	0,56	0	0,64	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v5	∞	∞	∞	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v6	∞	∞	∞	∞	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	∞
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	∞	∞	∞	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2024.

Berdasarkan Tabel 8 merupakan matriks awal (X_0) algoritma *Floyd-Warshall* Kemudian dilakukan proses perhitungan dengan algoritma *Floyd-Warshall* untuk mencari bobot terkecil antara semua titik, dimana semakin kecil bobot maka semakin optimal rute tersebut.

Langkah 3 Melakukan iterasi, dimulai dari iterasi ke-1 sampai ke n.

Berikut ini optimalisasi matriks jaringan pengangkutan sampah di Kota Binjai dengan melakukan perhitungan untuk matriks 12×12 .

Iterasi $k = 1$

Untuk setiap sel matriks X_0 dicek apakah $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i, j]$ dengan $X[i, k] + X[k, j]$. Perhitungan :

a. $X[1, 2] = 3,38$ dan pada $X[1, 1] + X[1, 2] = 0 + 3,38 = 3,38$.

Karena $X[1, 2] = X[1, 1] + X[1, 2]$ nilai $X[1, 2]$ tidak diganti.

Dari iterasi 1, maka diperoleh matriks sebagai berikut:

Tabel 9 Matriks Hasil Iterasi 1

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	∞	1,32	0	0,56	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v4	∞	∞	0,56	0	0,64	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v5	∞	∞	∞	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v6	∞	∞	∞	∞	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	∞
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	∞	∞	∞	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Dinda Permata & Rina Filia, Tahun 2025.



Hasil dari iterasi pertama belum merupakan solusi akhir dalam perhitungan algoritma *Floyd-Warshall*. Pada iterasi ini, tidak ada perubahan.

Iterasi k = 2

Untuk setiap sel matriks X_1 dicek apakah $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i, j]$ dengan $X[i, k] + X[k, j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,3] = \infty$ dan pada $X[1,2] + X[2,3] = 3,38 + 1,32 = 4,70$.

Karena $X[1,3] > X[1,2] + X[2,3]$ nilai $X[1,3]$ diganti menjadi 4,70. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v3 melalui v2, dengan total bobot 4,70 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya

- b. $X[11,3] = \infty$ dan pada $X[11,2] + X[2,3] = 2,59 + 1,32 = 3,91$

Karena $X[11,3] > X[11,2] + X[2,3]$ nilai $X[11,3]$ diganti menjadi 3,91. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v3 melalui v2, dengan total bobot 3,91 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya

- c. $X[12,3] = \infty$ dan pada $X[12,2] + X[2,3] = 2,58 + 1,32 = 3,90$

Karena $X[12,3] > X[12,2] + X[2,3]$ nilai $X[12,3]$ diganti menjadi 3,90. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v3 melalui v2, dengan total bobot 3,90 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya

Tabel 10 Matriks Hasil Iterasi 2

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,91	3,90
v4	∞	∞	0,56	0	0,64	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v5	∞	∞	∞	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v6	∞	∞	∞	∞	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	∞
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	3,91	∞	∞	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 2 dapat dilihat terjadi perubahan nilai bobot antara v3 dengan v1, v11 dan v12 dan v7.

Iterasi k = 3

Untuk setiap sel matriks X_2 dicek apakah $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i, j]$ dengan $X[i, k] + X[k, j]$. Perhitungan :



$$\text{ada } X[1,3] + X[3,4] = 4,70 + 0,56 = 5,26$$

$X[1,3] + X[3,4]$ nilai $X[1,4]$ diganti menjadi 5,26. Dapat diartikan i v1 ke v4 melalui v3, dengan total bobot 5,26 yang lebih <an jalur sebelumnya.

$$\text{ada } X[2,3] + X[3,4] = 1,32 + 0,56 = 1,88$$

Karena $X[2,4] > X[2,3] + X[3,4]$ nilai $X[2,4]$ diganti menjadi 1,88. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v4 melalui v3, dengan total bobot 1,88 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- c. $X[11,4] = \infty$ dan pada $X[11,3] + X[3,4] = 3,91 + 0,56 = 4,47$

Karena $X[11,4] > X[11,3] + X[3,4]$ nilai $X[11,4]$ diganti menjadi 4,47. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v4 melalui v3, dengan total bobot 4,47 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- d. $X[12,4] = \infty$ dan pada $X[12,3] + X[3,4] = 3,90 + 0,56 = 4,46$

Karena $X[12,4] > X[12,3] + X[3,4]$ nilai $X[12,4]$ diganti menjadi 4,46. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v4 melalui v3, dengan total bobot 4,46 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 11 Matriks Hasil Iterasi 3

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	∞	∞	∞	∞	∞	∞	3,91	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	∞	∞	∞	∞	∞	4,47	4,46
v5	∞	∞	∞	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	∞	∞
v6	∞	∞	∞	∞	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	∞
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	3,91	4,47	∞	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	∞	∞	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025

Pada iterasi 3, terjadi perubahan jarak yang signifikan antara v4 dengan v1,v2,v11 dan v12 yang menunjukkan bahwa terdapat jalur yang lebih pendek melalui simpul perantara yang dipertimbangkan dalam iterasi ini.

Iterasi k = 4

Untuk setiap sel matriks X_3 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,5] = \infty$ dan pada $X[1,4] + X[4,5] = 5,26 + 0,64 = 5,90$.

Karena $X[1,5] > X[1,4] + X[4,5]$ nilai $X[1,5]$ diganti menjadi 5,90. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v5 melalui v4, dengan total bobot 5,90 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- b. $X[2,5] = \infty$ dan pada $X[2,4] + X[4,5] = 1,88 + 0,64 = 2,52$.

Karena $X[2,5] > X[2,4] + X[4,5]$ nilai $X[2,5]$ diganti menjadi 2,52. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v5 melalui v4, dengan total bobot 2,52 yang lebih <an jalur sebelumnya.



ada $X[3,4] + X[4,5] = 0,56 + 0,64 = 1,20$.

$[3,4] + X[4,5]$ nilai $X[3,5]$ diganti menjadi 1,20. Dapat diartikan i v3 ke v5 melalui v4, dengan total bobot 1,20 yang lebih <an jalur sebelumnya.

pada $X[11,4] + X[4,5] = 4,47 + 0,64 = 5,11$.

Karena $X[11,5] > X[11,4] + X[4,5]$ nilai $X[11,5]$ diganti menjadi 5,11. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v5 melalui v4, dengan total bobot 5,11 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- e. $X[12,5] = \infty$ dan pada $X[12,4] + X[4,5] = 4,46 + 0,64 = 5,10$.

Karena $X[12,5] > X[12,4] + X[4,5]$ nilai $X[12,5]$ diganti menjadi 5,10. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v5 melalui v4, dengan total bobot 5,10 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 12 Matriks Hasil Iterasi 4

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	∞	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	∞	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	∞	∞	∞	∞	∞	3,91	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	∞	∞	∞	∞	∞	4,47	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	5,11	5,10
v6	∞	∞	∞	∞	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	∞
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	3,91	4,47	5,11	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	∞	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 4, terdapat perubahan jarak pada beberapa pasangan simpul, yaitu antara v5 dengan v1,v2,v3,v11 dan v12. Perubahan ini menunjukkan bahwa terdapat jalur yang lebih pendek melalui simpul perantara yang dipertimbangkan pada iterasi ini. Dengan adanya pembaruan ini, matriks jarak semakin mendekati solusi optimal, yaitu menemukan jarak terpendek antara setiap pasangan simpul dalam graf.

Iterasi k = 5

Untuk setiap sel matriks X_4 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,6] = \infty$ dan pada $X[1,5] + X[5,6] = 5,90 + 1,19 = 7,09$

Karena $X[1,6] > X[1,5] + X[5,6]$ nilai $X[1,6]$ diganti menjadi 7,09. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v6 melalui v5, dengan total bobot 7,09 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- b. $X[2,6] = \infty$ dan pada $X[2,5] + X[5,6] = 2,52 + 1,19 = 3,71$

Karena $X[2,6] > X[2,5] + X[5,6]$ nilai $X[2,6]$ diganti menjadi 3,71. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v6 melalui v5, dengan total bobot 3,71 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.



$$\text{ada } X[3,5] + X[5,6] = 1,20 + 1,19 = 2,39$$

$[3,5] + X[5,6]$ nilai $X[3,6]$ diganti menjadi 2,39. Dapat diartikan i v3 ke v6 melalui v5, dengan total bobot 2,39 yang lebih <an jalur sebelumnya.

$$\text{ada } X[4,5] + X[5,6] = 0,64 + 1,19 = 1,83$$

Karena $X[4,6] > X[4,5] + X[5,6]$ nilai $X[4,6]$ diganti menjadi 1,83. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v6 melalui v5, dengan total bobot 1,83 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- e. $X[12,6] = \infty$ dan pada $X[12,5] + X[5,6] = 5,10 + 1,19 = 6,29$

Karena $X[12,6] > X[12,5] + X[5,6]$ nilai $X[12,6]$ diganti menjadi 6,29. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v6 melalui v5, dengan total bobot 6,29 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 13 Matriks Hasil Iterasi 5

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	∞	∞	∞	∞	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	∞	∞	∞	∞	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	∞	∞	∞	∞	3,91	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	∞	∞	∞	∞	4,47	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	∞	∞	∞	∞	5,11	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	6,29
v7	∞	∞	∞	∞	∞	0,45	0	1,18	∞	∞	∞	∞
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	∞	∞	∞	∞	∞	1,79	∞	∞	0,44	0	∞	∞
v11	3,33	2,59	3,91	4,47	5,11	0,89	∞	∞	∞	∞	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	∞	∞	∞	∞	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 5, terjadi perubahan jarak antara v6 dengan v1,v2 v3,v4 dan v12 yang menunjukkan bahwa jalur yang lebih pendek telah ditemukan melalui simpul perantara yang dipertimbangkan dalam iterasi ini.

Iterasi k = 6

Untuk setiap sel matriks X_5 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$.Perhitungan :

- a. $X[1,7] = \infty$ dan pada $X[1,6] + X[6,7] = 7,09 + 0,45 = 7,54$.

Karena $X[1,7] > X[1,6] + X[6,7]$ nilai $X[1,7]$ diganti menjadi 7,54. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 7,54 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- b. $X[2,7] = \infty$ dan pada $X[2,6] + X[6,7] = 3,71 + 0,45 = 4,16$.

Karena $[2,7] > X[2,6] + X[6,7]$ nilai $X[2,7]$ diganti menjadi 4,16. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 4,16 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- c. $X[3,7] = \infty$ dan pada $X[3,6] + X[6,7] = 2,39 + 0,45 = 2,84$.

Karena $X[3,7] > X[3,6] + X[6,7]$ nilai $X[3,7]$ diganti menjadi 2,84. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 2,84 yang andingkan jalur sebelumnya.



pada $X[4,6] + X[6,7] = 1,83 + 0,45 = 2,28$.

$> X[4,6] + X[6,7]$ nilai $X[4,7]$ diganti menjadi 2,28. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 2,28 yang andingkan jalur sebelumnya.

pada $X[5,6] + X[6,7] = 1,19 + 0,45 = 1,64$.

Karena $X[5,7] > X[5,6] + X[6,7]$ nilai $X[5,7]$ diganti menjadi 1,64. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 1,64 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- f. $X[11,7] = \infty$ dan pada $X[11,6] + X[6,7] = 0,89 + 0,45 = 1,34$.
 Karena $X[11,7] > X[11,6] + X[6,7]$ nilai $X[11,7]$ diganti menjadi 1,34. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 1,34 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- g. $X[12,7] = \infty$ dan pada $X[12,6] + X[6,7] = 6,29 + 0,45 = 6,74$.
 Karena $X[12,7] > X[12,6] + X[6,7]$ nilai $X[12,7]$ diganti menjadi 6,74. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v7 melalui v6, dengan total bobot 6,74 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- h. $X[1,10] = \infty$ dan pada $X[1,6] + X[6,10] = 7,09 + 1,79 = 8,88$.
 Karena $X[1,10] > X[1,6] + X[6,10]$ nilai $X[1,10]$ diganti menjadi 8,88. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 8,88 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- i. $X[2,10] = \infty$ dan pada $X[2,6] + X[6,10] = 3,71 + 1,79 = 5,50$.
 Karena $X[2,10] > X[2,6] + X[6,10]$ nilai $X[2,10]$ diganti menjadi 5,50. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 5,50 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- j. $X[3,10] = \infty$ dan pada $X[3,6] + X[6,10] = 2,39 + 1,79 = 4,18$.
 Karena $X[3,10] > X[3,6] + X[6,10]$ nilai $X[3,10]$ diganti menjadi 4,18. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 4,18 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- k. $X[4,10] = \infty$ dan pada $X[4,6] + X[6,10] = 1,83 + 1,79 = 3,62$.
 Karena $X[4,10] > X[4,6] + X[6,10]$ nilai $X[4,10]$ diganti menjadi 3,62. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 3,62 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- l. $X[5,10] = \infty$ dan pada $X[5,6] + X[6,10] = 1,19 + 1,79 = 2,98$.
 Karena $X[5,10] > X[5,6] + X[6,10]$ nilai $X[5,10]$ diganti menjadi 2,98. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 2,98 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- m. $X[7,10] = \infty$ dan pada $X[7,6] + X[6,10] = 0,45 + 1,79 = 2,24$.
 Karena $X[7,10] > X[7,6] + X[6,10]$ nilai $X[7,10]$ diganti menjadi 2,24. Dapat diartikan terdapat jalur dari v7 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 2,24 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- n. $X[11,10] = \infty$ dan pada $X[11,6] + X[6,10] = 0,89 + 1,79 = 2,68$.
 Karena $X[11,10] > X[11,6] + X[6,10]$ nilai $X[11,10]$ diganti menjadi 2,68. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 2,68 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- o. $X[12,10] = \infty$ dan pada $X[12,6] + X[6,10] = 6,29 + 1,79 = 8,08$.
 Karena $X[12,10] > X[12,6] + X[6,10]$ nilai $X[12,10]$ diganti menjadi 8,08. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v10 melalui v6, dengan total bobot 8,08 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.



- p. $X[3,11] = 3,91$ dan pada $X[3,6] + X[6,11] = 2,39 + 0,89 = 3,28$.
 Karena $X[3,11] > X[3,6] + X[6,11]$ nilai $X[3,11]$ diganti menjadi 3,28. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v11 melalui v6, dengan total bobot 3,28 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- q. $X[4,11] = 4,47$ dan pada $X[4,6] + X[6,11] = 1,83 + 0,89 = 2,72$.
 Karena $X[4,11] > X[4,6] + X[6,11]$ nilai $X[4,11]$ diganti menjadi 2,72. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v11 melalui v6, dengan total bobot 2,72 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- r. $X[5,11] = 5,11$ dan pada $X[5,6] + X[6,11] = 1,19 + 0,89 = 2,08$.
 Karena $X[5,11] > X[5,6] + X[6,11]$ nilai $X[5,11]$ diganti menjadi 2,08. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v11 melalui v6, dengan total bobot 2,08 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 14 Matriks Hasil Iterasi 6

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	7,54	∞	∞	8,88	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	4,16	∞	∞	5,50	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	∞	∞	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	∞	∞	3,62	2,72	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	∞	∞	2,98	2,08	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	∞	∞	1,79	0,89	6,29
v7	7,54	4,16	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	∞	2,24	1,34	6,74
v8	∞	∞	∞	∞	∞	∞	1,18	0	2,06	∞	∞	∞
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	8,88	5,50	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	∞	0,44	0	2,68	8,08
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	∞	∞	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	6,74	∞	∞	8,88	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 6, terjadi perubahan jarak antara v7 dengan v1,v2,v3,v4,v5,v11 dan v12; jarak antara v10 dengan v1,v2,v3,v4,v5,v7,v11 dan v12; jarak antara v11 dengan v3,v4 dan v5 yang menunjukkan bahwa jalur yang lebih pendek telah ditemukan melalui simpul perantara yang dipertimbangkan dalam iterasi ini.

Iterasi k = 7

Untuk setiap sel matriks X_6 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,8] = \infty$ dan pada $X[1,7] + X[7,8] = 7,54 + 1,18 = 8,72$
 Karena $X[1,8] > X[1,7] + X[7,8]$ nilai $X[1,8]$ diganti menjadi 8,72. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 8,72 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- b. $X[2,8] = \infty$ dan pada $X[2,7] + X[7,8] = 4,16 + 1,18 = 5,34$



$X[2,7] + X[7,8]$ nilai $X[2,8]$ diganti menjadi 5,34. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 5,34 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

pada $X[3,7] + X[7,8] = 2,84 + 1,18 = 4,02$

$X[3,7] + X[7,8]$ nilai $X[3,8]$ diganti menjadi 4,02. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 4,02 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- d. $X[4,8] = \infty$ dan pada $X[4,7] + X[7,8] = 2,28 + 1,18 = 3,46$
 Karena $X[4,8] > X[4,7] + X[7,8]$ nilai $X[4,8]$ diganti menjadi 3,46. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 3,46 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- e. $X[5,8] = \infty$ dan pada $X[5,7] + X[7,8] = 1,64 + 1,18 = 2,82$
 Karena $X[5,8] > X[5,7] + X[7,8]$ nilai $X[5,8]$ diganti menjadi 2,82. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 2,82 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- f. $X[6,8] = \infty$ dan pada $X[6,7] + X[7,8] = 0,45 + 1,18 = 1,63$
 Karena $X[6,8] > X[6,7] + X[7,8]$ nilai $X[6,8]$ diganti menjadi 1,63. Dapat diartikan terdapat jalur dari v6 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 1,63 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- g. $X[10,8] = \infty$ dan pada $X[10,7] + X[7,8] = 2,24 + 1,18 = 3,42$
 Karena $X[10,8] > X[10,7] + X[7,8]$ nilai $X[10,8]$ diganti menjadi 3,42. Dapat diartikan terdapat jalur dari v10 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 3,42 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- h. $X[11,8] = \infty$ dan pada $X[11,7] + X[7,8] = 1,34 + 1,18 = 2,52$
 Karena $X[11,8] > X[11,7] + X[7,8]$ nilai $X[11,8]$ diganti menjadi 2,52. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 2,52 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- i. $X[12,8] = \infty$ dan pada $X[12,7] + X[7,8] = 6,74 + 1,18 = 7,92$
 Karena $X[12,8] > X[12,7] + X[7,8]$ nilai $X[12,8]$ diganti menjadi 7,92. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v8 melalui v7, dengan total bobot 7,92 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 15 Matriks Hasil Iterasi 7

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	7,54	8,72	∞	8,88	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	4,16	5,34	∞	5,50	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	∞	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	∞	3,62	2,72	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	∞	2,98	2,08	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	∞	1,79	0,89	6,29
v7	7,54	4,16	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	∞	2,24	1,34	6,74
v8	8,72	5,34	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	3,42	2,52	7,92
v9	∞	∞	∞	∞	∞	∞	∞	2,06	0	0,44	∞	∞
v10	8,88	5,50	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	3,42	0,44	0	2,68	8,08
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	∞	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	6,74	7,92	∞	8,88	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 7 terjadi perubahan jarak antara v8 dengan v1,v2,v3,v4,v5,v6,v10,v11



el matriks X_7 dicek apakah $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$. Jika ya, ngan $X[i, k] + X[k, j]$. Perhitungan :

pada $X[1,8] + X[8,9] = 8,72 + 2,06 = 10,78$

- Karena $X[1,9] > X[1,8] + X[8,9]$ nilai $X[1,9]$ diganti menjadi 10,78. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 10,78 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- b. $X[2,9] = \infty$ dan pada $X[2,8] + X[8,9] = 5,34 + 2,06 = 7,40$
 Karena $X[2,9] > X[2,8] + X[8,9]$ nilai $X[2,9]$ diganti menjadi 7,40. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 7,40 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- c. $X[3,9] = \infty$ dan pada $X[3,8] + X[8,9] = 4,02 + 2,06 = 6,08$
 Karena $X[3,9] > X[3,8] + X[8,9]$ nilai $X[3,9]$ diganti menjadi 6,08. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 6,08 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- d. $X[4,9] = \infty$ dan pada $X[4,8] + X[8,9] = 3,46 + 2,06 = 5,52$
 Karena $X[4,9] > X[4,8] + X[8,9]$ nilai $X[4,9]$ diganti menjadi 5,52. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 5,52 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- e. $X[5,9] = \infty$ dan pada $X[5,8] + X[8,9] = 2,82 + 2,06 = 4,88$
 Karena $X[5,9] > X[5,8] + X[8,9]$ nilai $X[5,9]$ diganti menjadi 4,88. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 4,88, yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- f. $X[6,9] = \infty$ dan pada $X[6,8] + X[8,9] = 1,63 + 2,06 = 3,69$
 Karena $X[6,9] > X[6,8] + X[8,9]$ nilai $X[6,9]$ diganti menjadi 3,69. Dapat diartikan terdapat jalur dari v6 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 3,69 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- g. $X[7,9] = \infty$ dan pada $X[7,8] + X[8,9] = 1,18 + 2,06 = 3,24$
 Karena $X[7,9] > X[7,8] + X[8,9]$ nilai $X[7,9]$ diganti menjadi 3,24. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 3,24 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- h. $X[11,9] = \infty$ dan pada $X[11,8] + X[8,9] = 2,52 + 2,06 = 4,58$
 Karena $X[11,9] > X[11,8] + X[8,9]$ nilai $X[11,9]$ diganti menjadi 4,58. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 4,58 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- i. $X[12,9] = \infty$ dan pada $X[12,8] + X[8,9] = 7,92 + 2,06 = 9,98$
 Karena $X[12,9] > X[12,8] + X[8,9]$ nilai $X[12,9]$ diganti menjadi 9,98. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v9 melalui v8, dengan total bobot 9,98 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.



Tabel 16 Matriks Hasil Iterasi 8

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	7,54	8,72	10,78	8,88	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	4,16	5,34	7,40	5,50	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	6,08	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	5,52	3,62	2,72	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	4,88	2,98	2,08	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	3,69	1,79	0,89	6,29
v7	7,54	4,16	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	3,24	2,24	1,34	6,74
v8	8,72	5,34	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	3,42	2,52	7,92
v9	10,78	7,40	6,08	5,52	4,88	3,69	3,24	2,06	0	0,44	4,58	9,98
v10	8,88	5,50	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	3,42	0,44	0	2,68	8,08
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	4,58	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	6,74	7,92	9,98	8,88	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 8 terjadi perubahan jarak antara v9 dengan v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v11 dan v12.

Iterasi k = 9

Untuk setiap sel matriks X_8 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$.Perhitungan :

- a. $X[8,10] = 3,42$ dan pada $X[8,9] + X[9,10] = 2,06 + 0,44 = 2,50$

Karena $X[8,10] > X[8,9] + X[9,10]$ nilai $X[8,10]$ diganti menjadi 2,50. Dapat diartikan terdapat jalur dari v8 ke v10 melalui v9, dengan total bobot 2,50 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 17 Matriks Hasil Iterasi 9

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	7,54	8,72	10,78	8,88	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	4,16	5,34	7,40	5,50	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	6,08	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	5,52	3,62	2,72	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	4,88	2,98	2,08	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	3,69	1,79	0,89	6,29
v7	7,54	4,16	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	3,24	2,24	1,34	6,74
v8	8,72	5,34	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	3,42	2,52	7,92
v9	10,78	7,40	6,08	5,52	4,88	3,69	3,24	2,06	0	0,44	4,58	9,98
v10	8,88	5,50	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	2,50	0,44	0	2,68	8,08
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	4,58	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	6,74	7,92	9,98	8,88	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 9 terjadi perubahan jarak antara v10 dengan v8.

Iterasi k = 10

Untuk setiap sel matriks X_9 dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$.Perhitungan :



lan pada $X[1,10] + X[10,9] = 8,88 + 0,44 = 9,32$

$X[1,10] + X[10,9]$ nilai $X[1,9]$ diganti menjadi 9,32. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 9,32 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

lan pada $X[2,10] + X[10,9] = 5,50 + 0,44 = 5,94$

Karena $X[2,9] > X[2,10] + X[10,9]$ nilai $X[2,9]$ diganti menjadi 5,94. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 5,94 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- c. $X[3,9] = 6,08$ dan pada $X[3,10] + X[10,9] = 4,18 + 0,44 = 4,62$

Karena $X[3,9] > X[3,10] + X[10,9]$ nilai $X[3,9]$ diganti menjadi 4,62. Dapat diartikan terdapat jalur dari v3 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 4,62 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- d. $X[4,9] = 5,52$ dan pada $X[4,10] + X[10,9] = 3,62 + 0,44 = 4,06$

Karena $X[4,9] > X[4,10] + X[10,9]$ nilai $X[4,9]$ diganti menjadi 4,06. Dapat diartikan terdapat jalur dari v4 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 4,06 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- e. $X[5,9] = 4,88$ dan pada $X[5,10] + X[10,9] = 2,98 + 0,44 = 3,42$

Karena $X[5,9] > X[5,10] + X[10,9]$ nilai $X[5,9]$ diganti menjadi 3,42. Dapat diartikan terdapat jalur dari v5 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 3,42 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- f. $X[6,9] = 3,69$ dan pada $X[6,10] + X[10,9] = 1,79 + 0,44 = 2,23$

Karena $X[6,9] > X[6,10] + X[10,9]$ nilai $X[6,9]$ diganti menjadi 2,23. Dapat diartikan terdapat jalur dari v6 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 2,23 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- g. $X[7,9] = 3,24$ dan pada $X[7,10] + X[10,9] = 2,24 + 0,44 = 2,68$

Karena $X[7,9] > X[7,10] + X[10,9]$ nilai $X[7,9]$ diganti menjadi 2,68. Dapat diartikan terdapat jalur dari v7 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 2,68 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- h. $X[11,9] = 4,58$ dan pada $X[11,10] + X[10,9] = 2,68 + 0,44 = 3,12$

Karena $X[11,9] > X[11,10] + X[10,9]$ nilai $X[11,9]$ diganti menjadi 3,12. Dapat diartikan terdapat jalur dari v11 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 3,12 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- i. $X[12,9] = 9,98$ dan pada $X[12,10] + X[10,9] = 8,08 + 0,44 = 8,52$

Karena $X[12,9] > X[12,10] + X[10,9]$ nilai $X[12,9]$ diganti menjadi 8,52. Dapat diartikan terdapat jalur dari v12 ke v9 melalui v10, dengan total bobot 8,52 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 18 Matriks Hasil Iterasi 10

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,90	7,09	7,54	8,72	9,32	8,88	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,71	4,16	5,34	5,94	5,50	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	4,62	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	4,06	3,62	2,72	4,46
v5	5,90	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	3,42	2,98	2,08	5,10
v6	7,09	3,71	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	2,23	1,79	0,89	6,29
v7	7,54	4,16	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	2,68	2,24	1,34	6,74
v8	8,72	5,34	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	3,42	2,52	7,92
v9	9,32	5,94	4,62	4,06	3,42	2,23	2,68	2,06	0	0,44	3,12	8,52
v10	8,88	5,50	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	2,50	0,44	0	2,68	8,08
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	3,12	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	6,29	6,74	7,92	8,52	8,88	4,19	0



h, Tahun 2025.

Pada iterasi 10 terjadi perubahan jarak antara v9 dengan v1,v2,v3,v4,v5,v6,v7,v11 dan v12.

Iterasi k = 11

Untuk setiap sel matriks X_{10} dicek apakah $X[i,j] > X[i,k] + X[k,j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i,j]$ dengan $X[i,k] + X[k,j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,5] = 5,90$ dan pada $X[1,11] + X[11,5] = 3,33 + 2,08 = 5,41$
 Karena $X[1,5] > X[1,11] + X[11,5]$ nilai $X[1,5]$ diganti menjadi 5,41. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v5 melalui v11, dengan total bobot 5,41 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- b. $X[1,6] = 7,09$ dan pada $X[1,11] + X[11,6] = 3,33 + 0,89 = 4,22$
 Karena $X[1,6] > X[1,11] + X[11,6]$ nilai $X[1,6]$ diganti menjadi 4,22. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v6 melalui v11, dengan total bobot 4,22 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- c. $X[1,7] = 7,54$ dan pada $X[1,11] + X[11,7] = 3,33 + 1,34 = 4,67$
 Karena $X[1,7] > X[1,11] + X[11,7]$ nilai $X[1,7]$ diganti menjadi 4,67. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v7 melalui v11, dengan total bobot 4,67 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- d. $X[1,8] = 8,72$ dan pada $X[1,11] + X[11,8] = 3,33 + 2,52 = 5,85$
 Karena $X[1,8] > X[1,11] + X[11,8]$ nilai $X[1,8]$ diganti menjadi 5,85. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v8 melalui v11, dengan total bobot 5,85 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- e. $X[1,9] = 9,32$ dan pada $X[1,11] + X[11,9] = 3,33 + 3,12 = 6,45$
 Karena $X[1,9] > X[1,11] + X[11,9]$ nilai $X[1,9]$ diganti menjadi 6,45. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v9 melalui v11, dengan total bobot 6,45 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- f. $X[1,10] = 8,88$ dan pada $X[1,11] + X[11,10] = 3,33 + 2,68 = 6,01$
 Karena $X[1,10] > X[1,11] + X[11,10]$ nilai $X[1,10]$ diganti menjadi 6,01. Dapat diartikan terdapat jalur dari v1 ke v10 melalui v11, dengan total bobot 6,01 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- g. $X[2,6] = 3,71$ dan pada $X[2,11] + X[11,6] = 2,59 + 0,89 = 3,48$
 Karena $X[2,6] > X[2,11] + X[11,6]$ nilai $X[2,6]$ diganti menjadi 3,48. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v6 melalui v11, dengan total bobot 3,48 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- h. $X[2,7] = 4,16$ dan pada $X[2,11] + X[11,7] = 2,59 + 1,34 = 3,93$
 Karena $X[2,7] > X[2,11] + X[11,7]$ nilai $X[2,7]$ diganti menjadi 3,93. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v7 melalui v11, dengan total bobot 3,93 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.



dan pada $X[2,11] + X[11,8] = 2,59 + 2,52 = 5,11$
 Karena $X[2,8] > X[2,11] + X[11,8]$ nilai $X[2,8]$ diganti menjadi 5,11. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v8 melalui v11, dengan total bobot 5,11 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

dan pada $X[2,11] + X[11,9] = 2,59 + 3,12 = 5,71$

Karena $X[2,9] > X[2,11] + X[11,9]$ nilai $X[2,9]$ diganti menjadi 5,71. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v9 melalui v11, dengan total bobot 5,71 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

- k. $X[2,10] = 5,50$ dan pada $X[2,11] + X[11,10] = 2,59 + 2,68 = 5,27$
 Karena $X[2,10] > X[2,11] + X[11,10]$ nilai $X[2,10]$ diganti menjadi 5,27. Dapat diartikan terdapat jalur dari v2 ke v10 melalui v11, dengan total bobot 5,27 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- l. $X[6,12] = 6,29$ dan pada $X[6,11] + X[11,12] = 0,89 + 4,19 = 5,08$
 Karena $X[6,12] > X[6,11] + X[11,12]$ nilai $X[6,12]$ diganti menjadi 5,08. Dapat diartikan terdapat jalur dari v6 ke v12 melalui v11, dengan total bobot 5,08 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- m. $X[7,12] = 6,74$ dan pada $X[7,11] + X[11,12] = 1,34 + 4,19 = 5,53$
 Karena $X[7,12] > X[7,11] + X[11,12]$ nilai $X[7,12]$ diganti menjadi 5,53. Dapat diartikan terdapat jalur dari v7 ke v12 melalui v11, dengan total bobot 5,53 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- n. $X[8,12] = 7,92$ dan pada $X[8,11] + X[11,12] = 2,52 + 4,19 = 6,71$
 Karena $X[8,12] > X[8,11] + X[11,12]$ nilai $X[8,12]$ diganti menjadi 6,71. Dapat diartikan terdapat jalur dari v8 ke v12 melalui v11, dengan total bobot 6,71 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- o. $X[9,12] = 8,52$ dan pada $X[9,11] + X[11,12] = 3,12 + 4,19 = 7,31$
 Karena $X[9,12] > X[9,11] + X[11,12]$ nilai $X[9,12]$ diganti menjadi 7,31. Dapat diartikan terdapat jalur dari v9 ke v12 melalui v11, dengan total bobot 7,31 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.
- p. $X[10,12] = 8,08$ dan pada $X[10,11] + X[11,12] = 2,68 + 4,19 = 6,87$
 Karena $X[10,12] > X[10,11] + X[11,12]$ nilai $X[10,12]$ diganti menjadi 6,87. Dapat diartikan terdapat jalur dari v10 ke v12 melalui v11, dengan total bobot 6,87 yang lebih optimal dibandingkan jalur sebelumnya.

Tabel 19 Matriks Hasil Iterasi 11

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,41	4,22	4,67	5,85	6,45	6,01	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,48	3,93	5,11	5,71	5,27	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	4,62	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	4,06	3,62	2,72	4,46
v5	5,41	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	3,42	2,98	2,08	5,10
v6	4,22	3,48	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	2,23	1,79	0,89	5,08
v7	4,67	3,93	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	2,68	2,24	1,34	5,53
v8	5,85	5,11	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	2,50	2,52	6,71
v9	6,45	5,71	4,62	4,06	3,42	2,23	2,68	2,06	0	0,44	3,12	7,31
v10	6,01	5,27	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	2,50	0,44	0	2,68	6,87
			3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	3,12	2,68	0	4,19
			3,90	4,46	5,10	5,08	5,53	6,71	7,31	6,87	4,19	0



h, Tahun 2025.

di perubahan jarak antara v1 dengan v5,v6,v7,v8,v9 dan v10; an v6, v7, v8, v9 dan v10; serta jarak antara v12 dengan v6,

Iterasi k = 12

Untuk setiap sel matriks X_{11} dicek apakah $X[i, j] > X[i, k] + X[k, j]$. Jika ya, maka Tukar $X[i, j]$ dengan $X[i, k] + X[k, j]$. Perhitungan :

- a. $X[1,5] = 5,41$ dan pada $X[1,12] + X[12,5] = 2,26 + 5,10 = 7,36$
Karena $X[1,5] < X[1,12] + X[12,5]$ nilai $X[1,5]$ tidak diganti. Dapat diartikan tidak ada jalur lebih pendek melalui v12, jadi jalur langsung v1 ke v5 sudah lebih pendek dibandingkan jalur alternatif.

Tabel 20 Matriks Hasil Iterasi 12

	v1	v2	v3	v4	v5	v6	v7	v8	v9	v10	v11	v12
v1	0	3,38	4,70	5,26	5,41	4,22	4,67	5,85	6,45	6,01	3,33	2,26
v2	3,38	0	1,32	1,88	2,52	3,48	3,93	5,11	5,71	5,27	2,59	2,58
v3	4,70	1,32	0	0,56	1,20	2,39	2,84	4,02	4,62	4,18	3,28	3,90
v4	5,26	1,88	0,56	0	0,64	1,83	2,28	3,46	4,06	3,62	2,72	4,46
v5	5,41	2,52	1,20	0,64	0	1,19	1,64	2,82	3,42	2,98	2,08	5,10
v6	4,22	3,48	2,39	1,83	1,19	0	0,45	1,63	2,23	1,79	0,89	5,08
v7	4,67	3,93	2,84	2,28	1,64	0,45	0	1,18	2,68	2,24	1,34	5,53
v8	5,85	5,11	4,02	3,46	2,82	1,63	1,18	0	2,06	2,50	2,52	6,71
v9	6,45	5,71	4,62	4,06	3,42	2,23	2,68	2,06	0	0,44	3,12	7,31
v10	6,01	5,27	4,18	3,62	2,98	1,79	2,24	2,50	0,44	0	2,68	6,87
v11	3,33	2,59	3,28	2,72	2,08	0,89	1,34	2,52	3,12	2,68	0	4,19
v12	2,26	2,58	3,90	4,46	5,10	5,08	5,53	6,71	7,31	6,87	4,19	0

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Pada iterasi 12 tidak terjadi perubahan

Langkah 4 Menentukan Rute Optimal

Dalam penyelesaian iterasi terakhir, yaitu pada $k = 12$, berdasarkan perhitungan algoritma *Floyd-Warshall* diperoleh hasil matriks rute terpendek diperoleh rute yaitu $v1 - v11 - v8 - v9 - v10 - v6 - v4 - v5 - v3 - v2 - v12 - v1$ dengan total jarak 23,55 km. Hasil ini menunjukkan bahwa setelah mempertimbangkan semua simpul sebagai perantara dalam algoritma *Floyd-Warshall*, jalur tersebut merupakan rute dengan jarak minimum dibandingkan dengan jalur lainnya. Dengan demikian, jalur ini dipilih sebagai jalur distribusi optimal untuk rute yang dianalisis.

Hasil perhitungan menunjukkan bahwa optimasi jalur dengan algoritma ini dapat mengurangi total jarak tempuh, yang pada akhirnya berkontribusi pada efisiensi penghematan biaya operasional.

Biaya distribusi setelah menggunakan *Saving Matrix* dapat diperoleh yaitu:

$$B = 23,55 \times \frac{1}{10} \times \text{Rp}6.800,00 = \text{Rp}16.014,00$$



na setiap 10 km membutuhkan 1 liter solar dan harga solar
erta diketahui bahwa jumlah rute atau jumlah perjalanan dump
/aitu 30 kali(hari). Maka diperoleh biaya bahan bakar sebesar:

$$\text{Rp}16.014,00 \times 30 = \text{Rp}480.420,00 \text{ per bulan}$$

hasil perhitungan dengan metode *Floyd-Warshall*, diperoleh
sebesar Rp480.420,00 per bulan.

Berikut tabel perbandingan total jarak dan total biaya distribusi sebelum dan sesudah penerapan metode *Floyd-Warshall*:

Tabel 21 Perbandingan Total Jarak Rute Awal dan Rute Metode *Floyd-Warshall*

Perbandingan jarak dan biaya distribusi		
Rute	Jarak (Km)	Biaya distribusi (Rp)
Awal	29,46	Rp600.984,00
<i>Floyd-Warshall</i>	23,55	Rp480.420,00
Penghematan	5,91	Rp120.564,00
Persentase	20,06%	20,06%

Sumber : Data Diolah, Tahun 2025.

Berdasarkan penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa penerapan Algoritma *Floyd-Warshall* dalam optimasi rute distribusi memberikan pengaruh positif terhadap efisiensi perjalanan. Setelah melakukan perhitungan manual, diperoleh bahwa metode ini mampu mengoptimalkan rute dan meminimalkan biaya distribusi. Setelah menggunakan metode *Floyd-Warshall*, terjadi pengurangan jarak tempuh sebesar 23,55 km, dengan biaya distribusi Rp480.420,00 per bulan. Hasil ini menunjukkan bahwa algoritma *Floyd-Warshall* dapat membantu meningkatkan efisiensi distribusi dengan mengurangi jarak perjalanan dan mempercepat waktu pengiriman, sehingga berpotensi menghemat biaya operasional.



BAB II

METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Lokasi Penelitian

Lokasi penelitian ini dilakukan di Holding Wahdah Water dengan sistem distribusi yang dikelola oleh Amanah Logistik Indonesia yang berfokus pada distribusi produk Wahdah Water yang berlokasi di Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar. Penelitian ini mencakup analisis rute dari gudang menuju berbagai titik tujuan distribusi, dengan mempertimbangkan jalur transportasi yang digunakan untuk mengoptimalkan efisiensi jarak dan biaya pengiriman.

2.2 Jenis dan Sumber Data

1. Jenis Data

Jenis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data kuantitatif yang diperoleh melalui perhitungan dan analisis numerik untuk menentukan rute distribusi optimal. Data ini mencakup informasi terkait jarak, biaya operasional serta rute yang digunakan dalam distribusi Wahdah Water.

2. Sumber Data

Sumber data dalam penelitian ini terdiri dari data primer dan data sekunder sebagai berikut:

a. Data Primer

Data primer diperoleh melalui observasi langsung terhadap sistem distribusi Wahdah Water, wawancara dengan pihak Amanah Logistik Indonesia mengenai rute yang digunakan serta pengambilan data lokasi, jarak dan biaya operasional distribusi menggunakan *Google Maps*.

b. Data Sekunder

Data sekunder mencakup dokumen historis pengiriman Wahdah Water seperti jumlah permintaan, lokasi tujuan dan biaya transportasi serta informasi terkait harga bahan bakar dan biaya operasional kendaraan. Selain itu, penelitian juga mengacu pada studi literatur mengenai metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall* dalam optimasi rute distribusi.

2.3 Prosedur Penelitian

Prosedur penelitian ini terdiri dari beberapa tahapan sistematis untuk mengoptimalkan rute dan biaya distribusi Wahdah Water menggunakan metode *Saving Matrix* dan *Floyd-Warshall*. Berikut ini prosedur penelitian :



Data

Indonesia adalah perusahaan manufaktur yang memproduksi kemasan (AMDK) dengan merek Wahdah Water yang berdiri mengalami kesulitan hingga kolaps pada awal pandemi Covid-19. Perusahaan ini kembali didirikan pada 10 November 2020 dan mulai beroperasi kembali sejak 18 Januari 2021.

Dalam kegiatan pendistribusian produk Wahdah Water, Amanah Logistik Indonesia bertanggung jawab atas pengelolaan dan pengiriman produk ke pelanggan. Pendistribusian dilakukan menggunakan tiga kendaraan mobil boks yang masing-masing memiliki kapasitas maksimal sebesar 130 unit. Namun, Distribusi yang berjalan saat ini dinilai belum efisien dalam hal jarak tempuh dan biaya operasional, sehingga diperlukan optimalisasi rute pengiriman.

Objek penelitian ini adalah kegiatan distribusi produk Wahdah Water oleh Amanah Logistik Indonesia. Gudang distribusi terletak di Tallasa City blok F2, Kelurahan Bira, Kecamatan Tamalanrea, Kota Makassar, Sulawesi Selatan. Penelitian ini berfokus pada rute pengiriman Kecamatan Biringkanaya. Data dikumpulkan melalui observasi langsung dan pencatatan permintaan pelanggan. Berikut ini merupakan data rute awal dan biaya distribusi perusahaan tersebut.

a. Data Rute, Jarak dan Permintaan Perusahaan

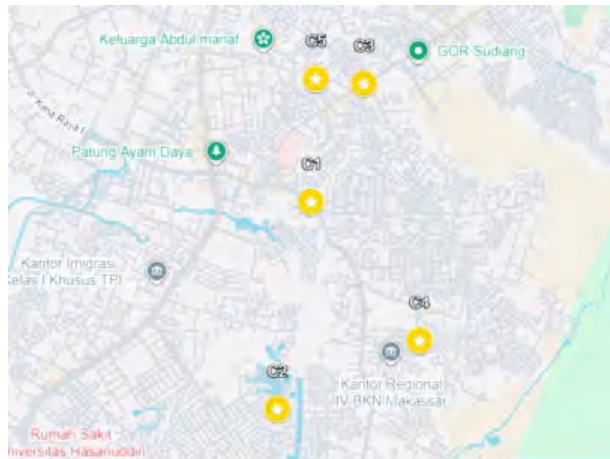
Tabel 22 Data Pendistribusian Kecamatan Biringkanaya

No	Nama Pelanggan	Alamat Pelanggan	Kode	Rata-Rata Permintaan (Unit)
1	Toko H.Gani	Jl. Pacerakkang No.101, Pacerakkang, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90241	C1	80
2	Catering Warda	BTP, Blk. AC No.73-74, Pacerakkang, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90245	C2	50
3	Toko Berkah	Jl. Pajjaiang, Sudiang Raya, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90241	C3	34
4	Toko Baru Tiga	Jl. Poros Mangga Tiga, Pacerakkang, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90562	C4	15
5	Marewo Bakery	BTN Dewi Kumalsari Blk. AF 1 No.25, Sudiang Raya, Kec. Biringkanaya, Kota Makassar, Sulawesi Selatan 90242	C5	9

Sumber : Amanah Logistik Indonesia, Januari Tahun 2025.

Berdasarkan Tabel 22, diperoleh peta distribusi berikut.





Gambar 5 Peta Lokasi Penelitian

Sumber : Google Maps, Tahun 2025.

Tabel 23 Data Rute Awal Perusahaan, Total Jarak dan Total Permintaan

No	Rute Awal	Total Jarak (Km)	Total Permintaan (Unit)
1.	G-C1-C4-G	20,6	95
2.	G-C2-G	16,2	50
3.	G-C5-C3-G	13,6	43
TOTAL		50,4	188

Sumber : Amanah Logistik Indonesia, Januari 2025

Berdasarkan Tabel 23 diketahui bahwa rute awal pelanggan dengan jarak tempuh pada rute awal dihitung berdasarkan data jarak pelanggan dengan asumsi Jarak tempuh $C_i - C_j$ sama dengan jarak tempuh $C_j - C_i$ (jarak berangkat sama dengan jarak kembali).

b. Data Biaya Distribusi Perusahaan

Tabel 24 Jenis Biaya

No	Jenis Biaya	Biaya
1	Biaya Bahan Bakar	Rp10.000,00/Liter
2	Retribusi	Rp150.000,00/Bulan

Sumber : Amanah Logistik Indonesia, Tahun 2025.

Keterangan Tabel 24 : 1 liter bensin pertalite dapat menempuh ± 12 km

Pada Tabel 24 merupakan data yang menggambarkan pengeluaran dalam ulai dari biaya bahan bakar dan biaya retribusi. Sales dengan engirimkan produknya 4 kali dalam 1 bulan di masing-masing untuk perhitungan total biaya bahan bakar juga disesuaikan an 4 kali perjalanan.



Tabel 23 merupakan data jarak setiap rute di Kecamatan gan menggunakan rumus 1.14 diperoleh biaya distribusi:

$$\text{Rute 1 :B} = 20,6 \times \frac{1}{12} \times \text{Rp}10.000,00 = \text{Rp}17.166,00$$

$$\text{Rute 2 :B} = 16,2 \times \frac{1}{12} \times \text{Rp}10.000,00 = \text{Rp}13.500,00$$

$$\text{Rute 3 :B} = 13,6 \times \frac{1}{12} \times \text{Rp}10.000,00 = \text{Rp}11.333,00$$

Total biaya bahan bakar = Rp41.999,00

Untuk 1 bulan didapatkan biaya bahan bakar sebesar:

$$= \text{Rp}41.999,00 \times 4 \text{ perjalanan}$$

$$= \text{Rp}167.996,00/\text{bulan}$$

$$T = \text{Rp}167.996,00 + \text{Rp}150.000,00$$

$$= \text{Rp}317.996,00 \text{ per bulan}$$

Jadi, diperoleh biaya distribusi yang dibutuhkan selama satu bulan adalah sebesar Rp317.996,00.

2. Implementasi Metode Optimasi

Pada tahap implementasi metode optimasi, digunakan dua pendekatan utama, yaitu Metode *Saving Matrix* dan Metode *Floyd-Warshall*. Metode *Saving Matrix* diterapkan untuk mengelompokkan rute distribusi berdasarkan nilai penghematan (*saving*) terbesar, sehingga dapat mengurangi total jarak tempuh dan biaya operasional. Sementara itu, Metode *Floyd-Warshall* digunakan untuk menentukan jalur terpendek antar titik distribusi dengan menganalisis semua kemungkinan rute yang tersedia, sehingga menghasilkan rute yang lebih efisien dalam hal waktu dan biaya pengiriman.

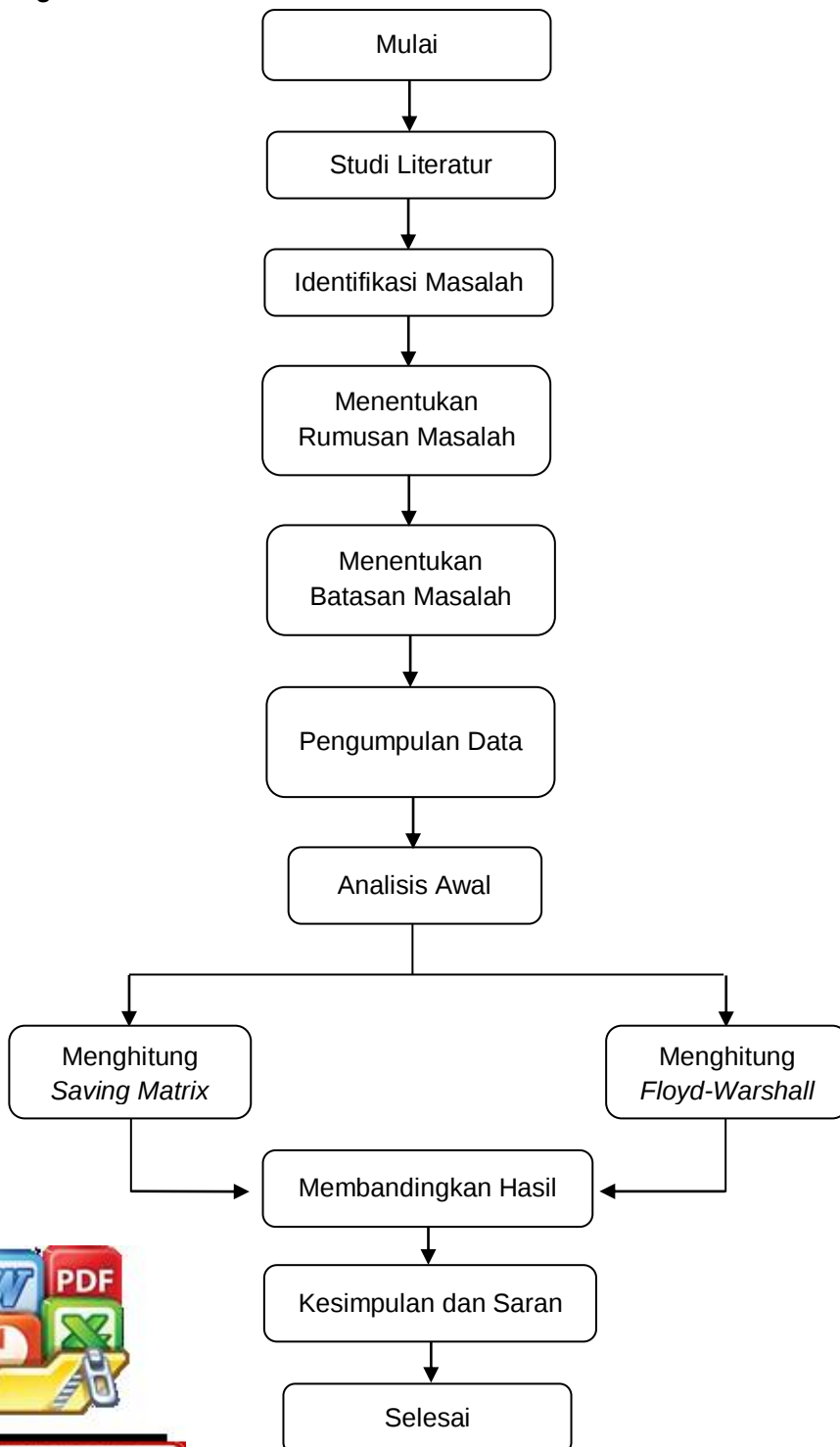
3. Simulasi dan Evaluasi

- Mensimulasikan rute sebelum dan sesudah optimasi .
- Membandingkan total jarak dan biaya distribusi setelah optimasi.
- Menentukan metode terbaik berdasarkan efisiensi yang dihasilkan.
- Memberikan rekomendasi strategi distribusi optimal bagi Amanah Logistik Indonesia.

4. Kesimpulan



2.4 Diagram Alur Penelitian



Gambar 6 Diagram Alur Penelitian