

**PERBAIKAN RUTE DISTRIBUSI BARANG
MENGUNAKAN *MULTI-START NEAREST NEIGHBOR*
PADA *ASYMMETRIC TRAVELING SALESMAN PROBLEM***

SKRIPSI

**OLEH
BAROKAH AL BATUL
NIM. 210601110108**



**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PERBAIKAN RUTE DISTRIBUSI BARANG
MENGUNAKAN *MULTI-START NEAREST NEIGHBOR*
PADA *ASYMMETRIC TRAVELING SALESMAN PROBLEM***

SKRIPSI

**Diajukan Kepada
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
untuk Memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)**

**Oleh
Barokah Al Batul
NIM. 210601110108**

**PROGRAM STUDI MATEMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
2026**

**PERBAIKAN RUTE DISTRIBUSI BARANG
MENGUNAKAN *MULTI-START NEAREST NEIGHBOR*
PADA *ASYMMETRIC TRAVELING SALESMAN PROBLEM***

SKRIPSI

**Oleh
Barokah Al Batul
NIM. 210601110108**

Telah Disetujui untuk Diuji

Malang, 29 Mei 2026

Dosen Pembimbing I

Dosen Pembimbing II



Mohammad Nafie Jauhari, M.Si
NIPPPK. 19870218 202321 1 018



Dr. Fachrur Rozi, M.Si
NIP. 19800527 200801 1 012



Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika

Dr. Fachrur Rozi, M.Si
NIP. 19800527 200801 1 012

**PERBAIKAN RUTE DISTRIBUSI BARANG
MENGUNAKAN *MULTI-START NEAREST NEIGHBOR*
PADA *ASYMMETRIC TRAVELING SALESMAN PROBLEM***

SKRIPSI

Oleh
Barokah Al Batul
NIM. 210601110108

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
Dan Dinyatakan Diterima sebagai Salah Satu Persyaratan
untuk Memperoleh Gelar Sarjana Matematika (S.Mat)
Tanggal 15 Juni 2026

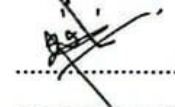
Ketua Penguji : Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si, Ph.D



Anggota Penguji 1 : Muhammad Khudzaifah, M.Si



Anggota Penguji 2 : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si



Anggota Penguji 3 : Dr. Fachrur Rozi, M.Si



Mengetahui,
Ketua Program Studi Matematika



Dr. Fachrur Rozi, M.Si
NIP. 19800527 200801 1 012

PERNYATAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Barokah Al Batul

NIM : 210601110108

Program Studi : Matematika

Fakultas : Sains dan Teknologi

Judul Skripsi : Perbaikan Rute Distribusi Barang Menggunakan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri. Skripsi ini bukan merupakan pengambilalihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber rujukan secara jelas pada daftar pustaka.

Apabila di kemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan bahwa skripsi ini merupakan hasil jiplakan (plagiasi), maka saya bersedia menerima sanksi sesuai ketentuan hukum yang berlaku atas perbuatan tersebut.

Malang, 15 Juni 2026

Yang menyatakan,



Barokah Al batul

NIM. 210601110108

MOTO

Jangan terlalu lama bermimpi, Bangun dan Kerjakan.

~ Mr. Key

PERSEMBAHAN

Kupersembahkan karya sederhana ini untuk Bapak dan Ibu tercinta, yang doa dan perjuangannya menjadi alasan aku terus melangkah. Untuk Mbak Lia, Mas Atok, Mbak Fiki, Mbak Zizi, Mbak Husna, dan seluruh saudaraku, terima kasih atas dukungan, kepercayaan, dan semangat yang selalu menyertai setiap proses perjuanganku. Tanpa kalian, perjalanan ini tidak akan sampai pada titik ini.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Segala puji bagi Allah SWT atas rahmat, taufik serta hidayah-Nya, Sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi yang berjudul “Perbaikan Rute Distribusi Barang Menggunakan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*” sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar sarjana dalam bidang matematika di Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Dalam proses penyusunan skripsi ini, penulis banyak mendapat bimbingan dan arahan dari berbagai pihak. Untuk itu ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya dan penghargaan yang setinggi-tingginya penulis sampaikan terutama kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si, selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Dr. Agus Mulyono, M.Kes, selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Dr. Fachrur Rozi, M.Si., selaku Ketua Program Studi Matematika sekaligus Dosen Pembimbing II yang telah banyak memberikan arahan, bimbingan, serta berbagi ilmu kepada penulis.
4. Mohammad Nafie Jauhari, M.Si., selaku Dosen Pembimbing I, yang telah banyak memberikan arahan, motivasi, dan berbagi pengalaman yang berharga kepada penulis.
5. Prof. Dr. H. Turmudi, M.Si, Ph.D, selaku Ketua Penguji dalam Ujian Skripsi, yang telah memberikan masukan, saran, dan koreksi yang telah diberikan. Kritik dan saran tersebut sangat membantu saya dalam menyempurnakan penelitian ini.
6. Khudzaifah, M.Si selaku Anggota Penguji I dalam Ujian Skripsi, yang telah memberikan masukan, saran, serta koreksi yang telah diberikan selama proses penyusunan skripsi ini.

7. Segenap dosen Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
8. Bapak, Ibu dan seluruh keluarga tercinta yang selalu memberikan doa, semangat serta motivasi kepada penulis sampai saat ini.
9. Kak Khayi, atas kebaikan hati, tenaga, dan waktu yang telah diluangkan untuk membantu serta menemani penulis dalam menghadapi masa-masa sulit pengerjaan skripsi ini.
10. Semua pihak yang tidak dapat disebutkan satu-persatu yang telah membantu penulis dalam menyelesaikan skripsi ini baik moril maupun materil.
11. Seluruh mahasiswa Program Studi Matematika angkatan 2021.

Semoga Allah melimpahkan rahmat dan karunia-Nya kepada kita semua. Akhirnya penulis berharap semoga dengan rahmat dan izin-Nya mudah-mudahan skripsi ini bermanfaat bagi penulis dan pembaca. Aamiin.

Wassalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Malang, 15 Juni 2026

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL	i
HALAMAN PENGAJUAN	ii
HALAMAN PERSETUJUAN	iii
HALAMAN PENGESAHAN	iv
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN	v
MOTO	vi
PERSEMBAHAN	vii
KATA PENGANTAR	viii
DAFTAR ISI	x
DAFTAR TABEL	xii
DAFTAR GAMBAR	xiii
DAFTAR SIMBOL	xiv
DAFTAR LAMPIRAN	xv
ABSTRAK	xvi
ABSTRACT	xvii
مستخلص البحث	xviii
BAB I PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang	1
1.2 Rumusan Masalah	6
1.3 Tujuan Penelitian	6
1.4 Manfaat Penelitian	6
1.5 Batasan Masalah	7
BAB II KAJIAN TEORI	9
2.1 Graf	9
2.1.1 Definisi Graf	9
2.1.2 Jenis-Jenis Graf	10
2.1.3 Rute Terpendek	13
2.1.4 <i>Asymmetric Traveling Salesman Problem</i>	14
2.2 Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>	16
2.3 <i>Multi-Start Optimization</i>	18
2.4 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran dan Hadis	19
2.5 Kajian Topik dengan Teori Pendukung	22
BAB III METODE PENELITIAN	24
3.1 Jenis Penelitian	24
3.2 Data dan Sumber Data	24
3.3 Lokasi Penelitian	28
3.4 Teknik Pengumpulan Data	28
3.5 Teknik Analisis Data	29
3.5.1 Pengumpulan Data Jarak Antar Lokasi	29
3.5.2 Definisi Rute Aktual dan Jarak Tempuh Distribusi	30
3.5.3 Representasi Data dalam Matriks Jarak	31
3.5.4 Penerapan Metode <i>Multi-Start Nearest Neighbor</i>	32
3.5.5 Tahapan Analisis Hasil Perbaikan Rute	36
3.6 <i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	37

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN	39
4.1 Deskripsi Data dan Pemodelan Masalah	39
4.2 Pemodelan Permasalahan <i>ATSP</i>	42
4.2.1 Representasi Graf	42
4.2.2 Titik dan Sisi pada Sistem Distribusi	43
4.2.3 Pembentukan Matriks Jarak	44
4.2.4 Definisi Fungsi Tujuan	45
4.2.5 Kendala Permasalahan.....	46
4.3 Perhitungan Manual Metode <i>NN</i> dan <i>MSNN</i>	47
4.3.1 Perhitungan Manual <i>Nearest Neighbor</i>	47
4.3.2 Perhitungan Manual <i>Multi-Start Nearest Neighbor</i>	55
4.4 Hasil Pengujian Seluruh Titik Awal.....	72
4.5 Analisis dan Pembahasan Hasil.....	74
4.6 Visualisasi Rute Terbaik	78
4.7 Kelebihan dan Keterbatasan Metode.....	81
4.8 Integrasi Nilai-Nilai Islam dalam Perbaikan Rute Distribusi	82
BAB V PENUTUP.....	85
5.1 Kesimpulan.....	85
5.2 Saran.....	86
DAFTAR PUSTAKA.....	87
LAMPIRAN.....	89
Lampiran A. Script Program.....	89
Lampiran B. Output Program	95
Lampiran C. Visualisasi Rute	97
RIWAYAT HIDUP	99

DAFTAR TABEL

Tabel 3.2	Titik Koordinat Lokasi Distribusi.....	26
Tabel 3.3	Tabel Data Jarak Antar Lokasi Kantor Pos (km)	26
Tabel 3.4	Tabel Jarak dari Gudang	35
Tabel 3.5	Tabel Jarak dari Lawang	35
Tabel 4.1	Titik Lokasi Distribusi	39
Tabel 4.2	Matriks Jarak Antar Node	41
Tabel 4.3	Contoh Matriks Jarak	44
Tabel 4.4	Pemilihan Node dari Gudang	48
Tabel 4.5	Pemilihan Node dari Singosari.....	49
Tabel 4.6	Pemilihan Node dari Lawang.....	49
Tabel 4.7	Pemilihan Node dari Karangploso	50
Tabel 4.8	Pemilihan Node dari Sengkaling.....	50
Tabel 4.9	Pemilihan Node dari Junrejo	51
Tabel 4.10	Pemilihan Node dari Batu	51
Tabel 4.11	Pemilihan Node dari Pujon	52
Tabel 4.12	Pemilihan Node dari Ngantang	52
Tabel 4.13	Pemilihan Node dari Kasembon.....	53
Tabel 4.14	Hasil Rute Titik Awal Sengkaling	56
Tabel 4.15	Hasil Rute Titik Awal Batu.....	58
Tabel 4.16	Hasil Rute Titik Awal Pujon	59
Tabel 4.17	Hasil Rute Titik Awal Ngantang.....	61
Tabel 4.18	Hasil Rute Titik Awal Kasembon	63
Tabel 4.19	Hasil Rute Titik Awal Junrejo.....	64
Tabel 4.20	Hasil Rute Titik Awal Karangploso	66
Tabel 4.21	Hasil Rute Titik Awal Singosari	67
Tabel 4.22	Hasil Rute Titik Awal Lawang	69
Tabel 4.23	Hasil Rute Titik Awal Jabung	71
Tabel 4.24	Total Jarak Setiap Titik Awal.....	73
Tabel 4.25	Analisis Hasil Pengujian <i>Multi-Start Nearest Neighbor</i>	75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1	Graf dengan 5 Node.....	9
Gambar 2.2	Graf Sederhana	10
Gambar 2.3	Graf Tak Sederhana	11
Gambar 2.4	Graf Berarah	11
Gambar 2.5	Graf Tak Berarah	12
Gambar 2.6	Graf Berbobot	12
Gambar 3.1	<i>Flowchart</i> Tahapan Penelitian	38
Gambar 4.1	Graf Rute Distribusi Titik Awal Gudang	54
Gambar 4.2	Graf Rute Distribusi Titik Awal Sengkaling.....	57
Gambar 4.3	Graf Rute Distribusi Titik Awal Batu	59
Gambar 4.4	Graf Rute Distribusi Titik Awal Pujon.....	60
Gambar 4.5	Graf Rute Distribusi Titik Awal Ngantang	62
Gambar 4.6	Graf Rute Distribusi Titik Awal Kasembon.....	64
Gambar 4.7	Graf Rute Distribusi Titik Awal Junrejo	65
Gambar 4.8	Graf Rute Distribusi Titik Awal Karangploso.....	67
Gambar 4.9	Graf Rute Distribusi Titik Awal Singosari.....	69
Gambar 4.10	Graf Rute Distribusi Titik Awal Lawang	70
Gambar 4.11	Graf Rute Distribusi Titik Awal Jabung.....	72
Gambar 4.12	Distribusi Rute Aktual	79
Gambar 4.13	Distribusi Ruter Titik Awal Lawang	80

DAFTAR SIMBOL

Simbol-simbol yang muncul dalam pembahasan teori, metode, dan model matematika dapat dituliskan sebagai berikut.

G	: Graf
$V(G)$	: Himpunan titik pada graf
$E(G)$	: Himpunan sisi pada graf
(u, v)	: Titik pada graf
e	: Sisi pada graf
w	: Fungsi bobot pada graf
$w(u, v)$	: Bobot atau jarak dari titik u ke titik v
$d(i, j)$	: Jarak atau biaya perjalanan dari titik i ke titik j
S	: Himpunan titik yang telah dikunjungi
V	: Himpunan seluruh titik pada graf
$v_1, v_2, \dots, v_n$	: Titik-titik dalam graf
v^*	: Titik terpilih dengan bobot minimum
$\arg \min$	: Operator untuk menentukan nilai yang menghasilkan fungsi minimum
C	: Siklus atau rute perjalanan
D	: total bobot (jarak perjalanan)
n	: Banyaknya titik dalam graf
$O(n^2)$	: Kompleksitas waktu Algoritma <i>Nearest Neighbor</i>
A	: Node Gudang (depot distribusi)
v_1	: Kantor Pos Sengkaling
v_2	: Kantor Pos Batu
v_3	: Kantor Pos Pujon
v_4	: Kantor Pos Ngantang
v_5	: Kantor Pos Kasembon
v_6	: Kantor Pos Junrejo
v_7	: Kantor Pos Karangploso
v_8	: Kantor Pos Singosari
v_9	: Kantor Pos Lawang
v_{10}	: Kantor Pos Jabung
W	: Matriks jarak antar lokasi
c_{ij}	: Jarak dari node i menuju node j
D	: Total jarak perjalanan
D_{aktual}	: Total jarak rute distribusi aktual
d_k	: Jarak pada rute ke- k
m	: Banyak rute yang dilalui
(i, j)	: Indeks lokasi atau node
$ATSP$	: <i>Asymmetric Traveling Salesman Problem</i>
NN	: <i>Nearest Neighbor</i>
$MSNN$	: <i>Multi-Start Nearest Neighbor</i>

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A.1 Script Program <i>MSNN</i> Seluruh Titik Awal	89
Lampiran A.2 Script Program Visualisasi Rute Aktual	91
Lampiran A.3 Script Program Visualisasi Rute Terbaik Hasil <i>MSNN</i>	92
Lampiran A.4 Script Program Visualisasi Rute <i>NN</i>	93
Lampiran B.1 Output Rute Pengujian <i>MSNN</i> Seluruh Titik Awal	95
Lampiran B.2 Output Rute Terbaik <i>MSNN</i>	96
Lampiran C.1 Visualisasi Rute Aktual	97
Lampiran C.2 Visualisasi Rute Hasil <i>MSNN</i>	97
Lampiran C.3 Visualisasi Rute Terbaik Hasil <i>MSNN</i>	98
Lampiran C.4 Visualisasi Perbandingan Rute Aktual dan Rute Terbaik	98
Lampiran C.5 Visualisasi Perbandingan Rute <i>NN</i> dan Rute Terbaik	98

ABSTRAK

Al Batul, Barokah. 2026. **Perbaikan Rute Distribusi Barang Menggunakan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem***. Skripsi. Program Studi Matematika, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Pembimbing: (i) M. Nafie Jauhari, M.Si. (ii) Dr. Fachrur Rozi, M.Si.

Kata Kunci: *Asymmetric Traveling Salesman Problem*, *Multi-Start Nearest Neighbor*, *Nearest Neighbor*, Rute Distribusi.

Perencanaan rute distribusi yang baik sangat diperlukan untuk meningkatkan ketepatan proses pengiriman barang. Penentuan rute yang kurang tepat dapat menyebabkan jarak tempuh menjadi lebih panjang sehingga biaya dan waktu distribusi meningkat. Penelitian ini bertujuan untuk memperoleh rute distribusi yang lebih baik menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* pada kasus distribusi Kantor Pos di Cabang Malang. Metode yang digunakan merupakan pengembangan dari algoritma *Nearest Neighbor* dengan melakukan pencarian rute dari beberapa titik awal berbeda untuk mendapatkan hasil rute terbaik. Permasalahan dalam penelitian ini dimodelkan ke dalam bentuk *Asymmetric Traveling Salesman Problem* karena jarak antar lokasi distribusi dapat berbeda untuk setiap arah perjalanan. Data penelitian berupa jarak antar lokasi distribusi yang kemudian diolah untuk menentukan rute dengan total jarak paling kecil. Hasil penelitian menunjukkan bahwa rute aktual memiliki total jarak sebesar 184,5 km, sedangkan metode *Nearest Neighbor* menghasilkan total jarak 192,1 km. Melalui pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* diperoleh rute terbaik dengan total jarak sebesar 182,2 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penggunaan beberapa titik awal mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dibandingkan rute aktual maupun metode *Nearest Neighbor* biasa. Penelitian ini diharapkan dapat menjadi alternatif dalam penentuan rute distribusi sehingga proses pengiriman barang dapat berjalan lebih baik.

ABSTRACT

Al Batul, Barokah. 2026. **Improving Goods Distribution Routes Using the Multi-Start Nearest Neighbor Method for the Asymmetric Traveling Salesman Problem.** Undergraduate Thesis, Mathematics Study Program, Faculty of Science and Technology, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
Advisors: (i) M. Nafie Jauhari, M.Si. (ii) Dr. Fachrur Rozi, M.Si.

Keywords: Asymmetric Traveling Salesman Problem, Multi-Start Nearest Neighbor, Nearest Neighbor, Distribution Route.

Effective distribution route planning plays a crucial role in improving the efficiency of goods delivery processes. Inappropriate route selection may result in longer travel distances, leading to increased transportation costs and delivery time. This study aims to obtain a more efficient distribution route by applying the Multi-Start Nearest Neighbor method to the distribution system of the Malang Branch Post Office. The proposed method is an extension of the conventional Nearest Neighbor algorithm, in which route searches are initiated from multiple starting points to identify the best possible route. The distribution problem is modeled as an Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP) because the distances between distribution locations may differ depending on the direction of travel. The research data consist of distance measurements between distribution locations, which are processed to determine a route with the minimum total travel distance. The results show that the existing distribution route has a total distance of 184.5 km, while the conventional Nearest Neighbor method produces a route with a total distance of 192.1 km. By employing the Multi-Start Nearest Neighbor approach, the best route obtained has a total distance of 182.2 km. These findings indicate that utilizing multiple starting points can generate a more efficient distribution route than both the existing route and the conventional Nearest Neighbor method. Therefore, the Multi-Start Nearest Neighbor method can serve as an alternative approach for optimizing distribution routes and improving the overall effectiveness of goods delivery operations.

مستخلص البحث

الباتول، بركة. ٢٠٢٦ م. تحسين مسارات توزيع البضائع باستخدام خوارزمية الجار الأقرب متعددة البدايات في مسألة البائع المتجول غير المتماثلة. البحث العلمي. قسم الرياضيات، كلية العلوم والتكنولوجيا، جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية بمالانج. المسرف: (i) محمد نافع جوهرى، الماجستير فى العلوم. (ii) الدكتور فخر الرزى، الماجستير فى العلوم.

الكلمات الأساسية: مسألة البائع المتجول غير المتماثلة، خوارزمية الجار الأقرب متعددة البدايات، خوارزمية الجار الأقرب، مسارات التوزيع. عدد التخطيط الجيد لمسارات التوزيع من العوامل الأساسية في رفع كفاءة عمليات نقل البضائع وتسليمها. وقد يؤدي اختيار مسار غير مناسب إلى زيادة مسافة التنقل، مما يترتب عليه ارتفاع تكاليف التوزيع وطول مدة التسليم. هدفنا هذه الدراسة إلى التوصل إلى مسار توزيع أكثر كفاءة من خلال تطبيق خوارزمية الجار الأقرب متعددة البدايات على نظام توزيع البضائع في مكتب البريد فرع مالانج. عذب هذه الخوارزمية تطويرًا لخوارزمية الجار الأقرب التقليدية، إذ تعتمد على بدء البحث من عدة نقاط انطلاق مختلفة للوصول إلى أفضل مسار ممكن. وقد صيغت المشكلة المدروسة في صورة مسألة البائع المتجول غير المتماثلة، وذلك لأن المسافات بين مواقع التوزيع قد تختلف باختلاف اتجاه السير. وتمثلت بيانات الدراسة في المسافات بين مواقع التوزيع المختلفة، ثم جرى تحليلها ومعالجتها لتحديد المسار ذي أقل مسافة كلية. وأظهرت نتائج الدراسة أن إجمالي مسافة مسار التوزيع المعتمد حاليًا بلغ ١٨٤,٥ كيلومترًا، في حين أسفرت خوارزمية الجار الأقرب التقليدية عن مسار بلغت مسافته الإجمالية ١٩٢,١ كيلومترًا. أما عند تطبيق خوارزمية الجار الأقرب متعددة البدايات فقد تم الحصول على أفضل مسار بإجمالي مسافة بلغ ١٨٢,٢ كيلومترًا. دلت هذه النتائج على أن اعتماد عدة نقاط انطلاق يساهم في إيجاد مسار توزيع أكثر كفاءة مقارنةً بالمسار المعتمد حاليًا وبخوارزمية الجار الأقرب التقليدية. ومن المأمول أن تساهم هذه الدراسة في تقديم بديل فعال لتحسين عملية تحديد مسارات التوزيع، بما يعزز كفاءة عمليات توصيل البضائع ويرتقي بمستوى أدائها.

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Matematika merupakan disiplin ilmu yang berperan penting dalam menyederhanakan dan mempermudah pemahaman berbagai permasalahan kompleks (Maro & Purab, 2021). Salah satu cabang matematika yang sangat relevan adalah Teori Graf, yang digunakan untuk merepresentasikan hubungan antar objek atau titik dalam suatu sistem secara visual (Siang, 2009). Dalam penerapannya, teori graf banyak digunakan pada permasalahan optimasi rute, salah satunya pada *Traveling Salesman Problem (TSP)*, yaitu permasalahan pencarian rute minimum dengan mengunjungi setiap titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Salah satu pengembangan dari *TSP* adalah *Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)*, yaitu permasalahan pencarian rute minimum dengan kondisi biaya atau jarak perjalanan dari suatu titik ke titik lain tidak selalu sama untuk arah sebaliknya.

Menurut Wang dkk. (2023), *ATSP* bertujuan untuk menemukan rute dengan bobot minimum pada kondisi ketika bobot perjalanan pulang dan pergi antar dua titik memiliki nilai yang berbeda. Kondisi tersebut sering dijumpai pada sistem distribusi dan transportasi karena dipengaruhi oleh arah jalan, perbedaan jalur, maupun kondisi lalu lintas. Untuk menyelesaikan permasalahan *ATSP*, dapat digunakan berbagai pendekatan optimasi, baik metode eksak maupun *heuristik*. Namun, metode *heuristik* lebih banyak digunakan karena mampu menghasilkan solusi yang cukup baik dengan waktu komputasi yang relatif cepat, terutama pada kasus dengan jumlah titik yang cukup banyak.

Salah satu metode *heuristik* yang banyak digunakan dalam penyelesaian *Asymmetric Traveling Salesman Problem* adalah algoritma *Nearest Neighbor*. Algoritma ini bekerja dengan prinsip memilih titik terdekat yang belum dikunjungi pada setiap langkah hingga seluruh titik dikunjungi dan kembali ke titik awal. *Nearest Neighbor* termasuk pendekatan *greedy* karena pada setiap iterasi algoritma memilih bobot minimum lokal dari titik saat ini menuju titik berikutnya. Jika diberikan graf berbobot $G = (V, E, w)$, maka titik berikutnya dipilih berdasarkan $v^* = \arg \min_{v \in V \setminus S} w(u, v)$ dengan v^* merupakan titik tujuan yang memiliki bobot minimum dari titik u . Karena proses pencarian dilakukan secara bertahap berdasarkan jarak terdekat, algoritma ini relatif sederhana dan mudah diimplementasikan dalam berbagai permasalahan optimasi rute (Munir, 2012).

Algoritma *Nearest Neighbor* memiliki kompleksitas waktu yang dinyatakan menggunakan notasi *Big-O* dituliskan dengan $O(n^2)$, dengan n menyatakan jumlah titik pada graf. Kompleksitas tersebut muncul karena pada setiap langkah dilakukan pencarian titik terdekat dari himpunan titik yang belum dikunjungi. Dibandingkan metode eksak, algoritma ini memiliki proses komputasi yang lebih cepat sehingga cocok digunakan pada permasalahan distribusi dengan jumlah titik yang cukup banyak. Namun demikian, algoritma ini memiliki kelemahan yaitu hasil rute sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal sehingga solusi yang diperoleh belum tentu optimal secara global (Siang, 2009).

Ketergantungan algoritma *Nearest Neighbor* terhadap pemilihan titik awal menyebabkan rute yang dihasilkan dapat berbeda pada setiap proses pencarian. Perbedaan tersebut memengaruhi total jarak tempuh sehingga solusi yang

diperoleh belum tentu menjadi solusi terbaik secara global. Kondisi ini menunjukkan bahwa hasil rute dari *Nearest Neighbor* masih memerlukan perbaikan untuk memperoleh jalur distribusi yang lebih efisien. Rute distribusi yang kurang optimal dapat menyebabkan peningkatan waktu pengiriman, biaya operasional, serta penggunaan bahan bakar. Oleh karena itu, diperlukan suatu pendekatan yang mampu menghasilkan rute dengan total jarak tempuh yang lebih minimum pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*.

Salah satu pendekatan yang dapat digunakan untuk melakukan perbaikan rute tersebut adalah *Multi-Start Nearest Neighbor*. Metode ini menjalankan Algoritma *Nearest Neighbor* dari beberapa titik awal yang berbeda untuk menghasilkan beberapa alternatif rute distribusi. Seluruh rute yang diperoleh kemudian dibandingkan berdasarkan total jarak tempuh, dan rute dengan nilai minimum dipilih sebagai solusi terbaik. Dengan demikian, pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* diharapkan mampu meningkatkan kualitas rute distribusi dibandingkan *Nearest Neighbor* (Talbi, 2009)

Berdasarkan studi-studi sebelumnya, algoritma *Nearest Neighbor* telah diimplementasikan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi rute distribusi. Salah satu penelitian yang dilakukan oleh Martono dkk. (2020) menunjukkan bahwa algoritma *Nearest Neighbor* dapat digunakan untuk menentukan rute pengiriman barang secara lebih efisien dengan mengurangi total jarak distribusi. Penelitian lain yang dilakukan oleh Fitriya dkk. (2024) juga menunjukkan bahwa algoritma *Nearest Neighbor* efektif diterapkan pada permasalahan distribusi barang karena mampu membentuk rute distribusi dengan proses komputasi yang relatif cepat dan mudah diimplementasikan.

Berdasarkan beberapa penelitian di atas, terlihat bahwa algoritma *Nearest Neighbor* tidak hanya relevan dalam konteks teoritis, tetapi juga memiliki penerapan nyata dalam bidang logistik dan distribusi barang. Hasil penelitian tersebut menunjukkan bahwa algoritma *Nearest Neighbor* mampu membantu proses optimasi rute distribusi dengan menghasilkan jalur yang lebih efisien dibandingkan rute sebelumnya. Meskipun demikian, penelitian-penelitian tersebut umumnya masih menggunakan pendekatan *Nearest Neighbor* konvensional sehingga hasil rute yang diperoleh sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal. Perbedaan titik awal dapat menghasilkan total jarak tempuh yang berbeda, sehingga masih diperlukan upaya perbaikan rute untuk memperoleh jalur distribusi yang lebih baik. Oleh karena itu, penelitian ini menghadirkan pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem* dengan menjalankan proses pencarian rute dari beberapa titik awal berbeda untuk menghasilkan beberapa alternatif rute. Seluruh rute yang diperoleh kemudian dibandingkan berdasarkan total jarak tempuhnya sehingga dapat dipilih rute terbaik sebagai solusi distribusi barang.

Pendekatan perbaikan rute distribusi dalam penelitian ini sejalan dengan nilai-nilai Islam yang menekankan pentingnya tanggung jawab, ketepatan, dan profesionalisme dalam menjalankan amanah. Dalam proses distribusi barang, pengiriman yang dilakukan secara tepat dan efisien merupakan bentuk tanggung jawab terhadap barang yang dipercayakan kepada pihak distribusi. Hal tersebut sebagaimana firman Allah SWT dalam QS. An-Nisa ayat 58

إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُكُمْ أَنْ تُؤَدُّوا الْأَمَانَ إِلَىٰ أَهْلِهَا وَإِذَا حَكَمْتُمْ بَيْنَ النَّاسِ أَنْ تَحْكُمُوا بِالْعَدْلِ إِنَّ اللَّهَ نِعِمَّا
يَعِظُكُمْ بِهِ إِنَّ اللَّهَ كَانَ سَمِيعًا بَصِيرًا ﴿٥٨﴾

Artinya “Sesungguhnya Allah menyuruh kamu menyampaikan amanah kepada pemiliknya. Apabila kamu menetapkan hukum di antara manusia, hendaklah kamu tetapkan secara adil. Sesungguhnya Allah memberi pengajaran yang paling baik kepadamu. Sesungguhnya Allah Maha Mendengar lagi Maha Melihat.” QS An-Nisa Ayat 58

Dalam konteks penelitian ini, amanah dapat diartikan sebagai tanggung jawab dalam mendistribusikan barang kepada tujuan yang tepat melalui rute yang lebih baik dan efisien. Oleh karena itu, upaya melakukan perbaikan rute distribusi tidak hanya bertujuan meningkatkan ketepatan pengiriman, tetapi juga mencerminkan nilai tanggung jawab dan ketepatan dalam menjalankan pekerjaan.

Berdasarkan uraian latar belakang tersebut, penelitian ini dilakukan untuk mengatasi permasalahan ketidakefisienan rute distribusi barang yang masih dipengaruhi oleh pemilihan titik awal pada algoritma *Nearest Neighbor* konvensional. Perbedaan titik awal dapat menghasilkan total jarak tempuh yang berbeda sehingga diperlukan suatu pendekatan yang mampu memberikan solusi rute yang lebih baik dan lebih minimum. Oleh karena itu, penelitian ini mengangkat judul “Perbaikan Rute Distribusi Barang Menggunakan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*” dengan tujuan memperoleh rute distribusi yang lebih efisien melalui proses pencarian dari beberapa titik awal berbeda. Pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan alternatif rute terbaik berdasarkan total jarak tempuh minimum sehingga dapat membantu meningkatkan ketepatan distribusi barang dari segi waktu, biaya operasional, dan penggunaan bahan bakar.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan pada latar belakang, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana proses perbaikan rute distribusi barang menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem* berdasarkan pemilihan beberapa titik awal?
2. Apakah pendekatan *Multi-Start* pada *Algoritma Nearest Neighbor* mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih baik dibandingkan *Nearest Neighbor Standar* maupun rute aktual?

1.3 Tujuan Penelitian

Berdasarkan rumusan masalah yang telah dikemukakan, maka tujuan dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan *Algoritma Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-Start* untuk perbaikan rute distribusi barang pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*.
2. Membandingkan hasil rute distribusi yang diperoleh menggunakan algoritma *Multi-Start Nearest Neighbor* dengan *Nearest Neighbor Standar* dan rute aktual berdasarkan total jarak tempuh.

1.4 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

1. Secara Teoritis Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan ilmu matematika, khususnya pada bidang *Graph*

Theory dan optimasi kombinatorial dalam penyelesaian *Asymmetric Traveling Salesman Problem* menggunakan pendekatan *Multi-Start Optimization* pada algoritma *Nearest Neighbor Algorithm*. Selain itu, penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi penelitian selanjutnya yang berkaitan dengan optimasi rute distribusi dan metode *heuristik*.

2. Secara Praktis Penelitian ini diharapkan dapat menjadi bahan pertimbangan dalam menentukan rute distribusi barang yang lebih efisien, sehingga dapat membantu mengurangi total jarak tempuh, waktu distribusi, dan biaya operasional pengiriman barang. Selain itu, hasil penelitian ini diharapkan dapat diterapkan pada sistem distribusi barang yang memiliki karakteristik jaringan jalan tidak simetris.
3. Secara Akademis Penelitian ini diharapkan dapat menambah wawasan dan pemahaman penulis maupun pembaca mengenai penerapan teori graf, optimasi rute, dan algoritma *heuristik* dalam penyelesaian permasalahan nyata, khususnya pada distribusi barang dan penyelesaian *Asymmetric Traveling Salesman Problem*, serta sebagai salah satu syarat dalam penyelesaian studi di bidang matematika.

1.5 Batasan Masalah

Agar penelitian ini lebih terarah dan tidak menyimpang dari tujuan yang telah ditetapkan, maka ditentukan batasan masalah sebagai berikut:

1. Graf yang digunakan adalah graf berbobot berarah tanpa looping, di mana setiap bobot pada rute merepresentasikan jarak antar titik distribusi yang diperoleh dari *Google Maps*.

2. Permasalahan distribusi dimodelkan ke dalam *Asymmetric Traveling Salesman Problem* dengan asumsi setiap titik dikunjungi tepat satu kali.
3. Perbaikan rute dalam penelitian ini diukur berdasarkan total jarak tempuh, di mana suatu rute dikatakan lebih baik apabila menghasilkan total jarak yang lebih pendek dibandingkan rute lainnya.
4. Distribusi barang dimulai dari titik awal distribusi dan kembali ke titik awal distribusi.
5. Algoritma yang digunakan dalam penelitian ini adalah *Nearest Neighbor* Algoritma yang dimodifikasi dengan pendekatan *Multi-Start Optimization*.
6. Penelitian ini tidak mempertimbangkan faktor eksternal seperti kondisi lalu lintas, cuaca, kapasitas kendaraan, maupun waktu pelayanan distribusi.

BAB II KAJIAN TEORI

2.1 Graf

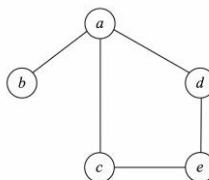
2.1.1 Definisi Graf

Graph Theory merupakan cabang matematika yang mempelajari hubungan antar objek yang direpresentasikan dalam bentuk titik (*vertex*) dan sisi (*edge*). Graf didefinisikan sebagai pasangan dua himpunan terbatas dan tidak kosong, yaitu himpunan titik dan himpunan sisi yang menghubungkan pasangan titik tertentu. Suatu graf dinyatakan dengan:

$$G = (V(G), E(G))$$

dengan $V(G)$ menyatakan himpunan titik dan $E(G)$ menyatakan himpunan sisi pada graf. Sisi yang menghubungkan titik u dan v dituliskan sebagai uv atau vu . Jika terdapat sisi $e = uv$, maka titik u dan v dikatakan saling bertetangga (Chartrand dkk., 2016).

Graf umumnya direpresentasikan dalam bentuk diagram, di mana titik atau lingkaran kecil menyatakan simpul, sedangkan garis penghubung antar titik menyatakan sisi. Sebagai contoh, suatu graf memiliki himpunan titik $V(G) = \{a, b, c, d, e\}$ dan himpunan sisi $E(G) = \{ab, ac, ad, ce, de\}$. Yang ditunjukkan pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Graf dengan 5 Node

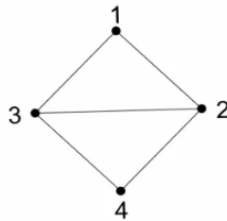
2.1.2 Jenis-Jenis Graf

Graph Theory dapat diklasifikasikan ke dalam berbagai jenis berdasarkan karakteristik tertentu. Klasifikasi graf dapat ditinjau dari ada atau tidak adanya sisi ganda maupun *loop* (gelang), jumlah titik, keberadaan bobot, serta arah orientasi pada sisi graf (Morihito dkk., 2017).

Adapun beberapa jenis graf adalah sebagai berikut:

1. Graf Sederhana (simple graph)

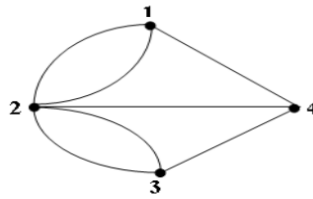
Graf sederhana adalah graf yang tidak memiliki sisi ganda atau sisi gelang. Dalam graf sederhana, sisi-sisi yang ada merupakan pasangan tidak terurut (*unordered pairs*). Jadi, menuliskan sisi (u, v) sama dengan (v, u) . contoh ini dapat dilihat pada gambar 2.2.



Gambar 2.2 Graf Sederhana

2. Graf Tak Sederhana (Unsimple Graph)

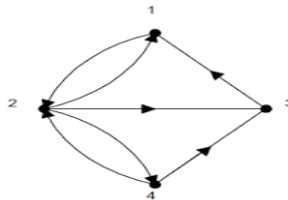
Graf tak sederhana adalah graf yang mengandung sisi ganda atau sisi gelang disebut graf tak sederhana (*unsimple graph*). Terdapat dua jenis graf tak sederhana, yaitu graf ganda (*multigraph*) dan graf semu (*pseudograph*). Graf ganda adalah graf yang memiliki sisi ganda, di mana sisi-sisi tersebut bisa menghubungkan sepasang titik lebih dari dua kali. Sedangkan graf semu adalah graf yang mengandung sisi gelang (*loop*). Contoh gambar graf tak sederhana dapat dilihat pada gambar 2.3.



Gambar 2.3 Graf Tak Sederhana

3. Graf Berarah (*Directed Graph* atau *Digraph*)

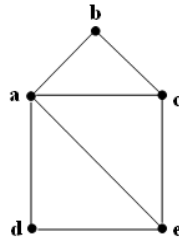
Graf berarah adalah graf yang setiap sisinya memiliki orientasi arah disebut sebagai graf berarah. Dalam graf berarah, sisi berarah lebih sering disebut busur (*arc*). Pada graf berarah, busur (u, v) dan (v, u) dianggap dua busur yang berbeda, sehingga $(u, v) \neq (v, u)$. Untuk busur (u, v) , titik u disebut titik asal (*initial vertex*) dan titik v disebut titik terminal (*terminal vertex*). Dalam graf berarah, gelang diperbolehkan, namun sisi ganda tidak diperbolehkan. Berikut contoh graf berarah dapat dilihat pada gambar 2.4.



Gambar 2.4 Graf Berarah

4. Graf Tak Berarah (*Undirected Graph*)

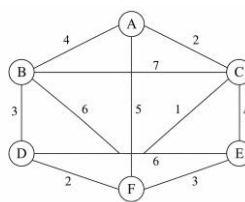
Graf tak berarah adalah graf yang sisinya tidak memiliki orientasi arah disebut graf tak berarah. Dalam graf tak berarah, urutan pasangan titik yang dihubungkan oleh sisi tidak penting. Dengan demikian, sisi (u, v) sama dengan sisi (v, u) . Seperti contoh pada gambar 2.5.



Gambar 2.5 Graf Tak Berarah

5. Graf Berbobot

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi nilai numerik yang disebut bobot. Bobot ini dapat merepresentasikan berbagai ukuran seperti jarak, waktu, atau biaya pada suatu hubungan antar titik. Dalam teori algoritma graf, menurut Cormen dkk. (2022), graf berbobot merupakan graf $G = (V, E)$ di mana setiap sisi $e \in E$ memiliki nilai (*weight*) yang digunakan untuk merepresentasikan biaya atau jarak pada hubungan antar titik seperti pada gambar 2.6. Dengan demikian, setiap sisi memiliki nilai yang dapat dimanfaatkan dalam analisis optimasi, seperti pencarian jarak terpendek atau biaya minimum.



Gambar 2.6 Graf Berbobot

6. Graf Tak Berbobot

Graf tak berbobot (*unweighted graph*) adalah graf yang setiap sisinya tidak memiliki nilai numerik atau bobot, sehingga hubungan antar titik hanya

menyatakan ada atau tidaknya koneksi tanpa mempertimbangkan jarak, biaya, maupun waktu; secara formal graf ini dinyatakan sebagai $G = (V, E)$ dengan V sebagai himpunan titik dan E sebagai himpunan sisi yang bersifat biner (terhubung atau tidak terhubung). Konsep ini banyak digunakan untuk memodelkan struktur hubungan sederhana seperti jaringan sosial atau keterhubungan antar titik.

2.1.3 Rute Terpendek

Rute terpendek adalah subjek dalam teori graf yang berfokus terhadap pencarian rute dengan panjang minimal antar titik dalam suatu graf. Pada graf berbobot, panjang rute diukur melalui jumlah bobot setiap sisi yang dilewati. Salah satu metode yang digunakan dalam penyelesaian permasalahan rute terpendek ialah Algoritma *Nearest Neighbor*. Algoritma ini bekerja dengan memilih titik terdekat yang belum dikunjungi secara berulang hingga seluruh titik selesai dikunjungi. Algoritma *Nearest Neighbor* memiliki proses perhitungan yang sederhana dan waktu komputasi yang cepat sehingga cocok digunakan dalam optimasi rute distribusi barang (Samosir dkk., 2024).

Bobot pada suatu graf umumnya bernilai positif karena merepresentasikan jarak perjalanan. Rute terpendek dari titik awal (s) menuju titik (t) diartikan sebagai rute dengan bobot minimum yang merupakan rute sederhana (*simple route*). Salah satu aplikasi graf berarah dan berbobot adalah dalam penentuan rute distribusi barang untuk memperoleh total jarak perjalanan minimum (Hasugian, 2015).

2.1.4 Asymmetric Traveling Salesman Problem

Asymmetric Traveling Salesman Problem merupakan pengembangan dari *Traveling Salesman Problem* yang digunakan untuk menentukan rute minimum dengan mengunjungi setiap titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal, namun memiliki bobot perjalanan yang tidak simetris. Pada *ATSP*, nilai jarak atau biaya perjalanan dari suatu titik ke titik lain tidak selalu sama untuk arah sebaliknya. Dengan kata lain, apabila terdapat dua titik i dan j , maka berlaku:

$$d(i, j) \neq d(j, i)$$

Kondisi tersebut menyebabkan *ATSP* direpresentasikan menggunakan graf berbobot berarah (*directed weighted graph*), di mana setiap sisi memiliki arah tertentu dengan bobot yang dapat berbeda pada arah yang berlawanan. Model ini lebih sesuai digunakan dalam permasalahan nyata seperti distribusi barang, transportasi, dan logistik karena mempertimbangkan kondisi jalan satu arah, kepadatan lalu lintas, serta perbedaan waktu tempuh antar lokasi (Gutin & Punnen, 2007).

Menurut Sari dan Kurniawan (2022), *ATSP* banyak diterapkan pada permasalahan distribusi barang dan logistik karena mampu merepresentasikan jaringan jalan secara lebih realistis dibandingkan *TSP* simetris. Selain itu, penelitian oleh Saputra dkk. (2023) menunjukkan bahwa penggunaan model *ATSP* pada optimasi rute distribusi dapat membantu menghasilkan jalur distribusi yang lebih efisien.

Misalkan terdapat himpunan titik:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

Dengan V merupakan himpunan titik atau lokasi distribusi, setiap sisi

menyatakan jalur perjalanan antar lokasi, dan $d(i, j)$ menyatakan bobot perjalanan dari titik i ke titik j .

Tujuan utama dalam *Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)* adalah menentukan suatu rute siklik yang mengunjungi setiap titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal dengan total jarak perjalanan minimum. Fungsi tujuan model *ATSP* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\min D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

dengan:

D = Total jarak perjalanan,

c_{ij} = Jarak dari titik i menuju titik j ,

x_{ij} = Variabel keputusan rute,

n = Jumlah seluruh node.

Variabel keputusan x_{ij} didefinisikan sebagai:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika rute } i \rightarrow j \text{ dipilih} \\ 0, & \text{jika rute tidak dipilih} \end{cases}$$

Berbeda dengan *TSP* simetris yang memiliki matriks jarak simetris, matriks pada *ATSP* bersifat tidak simetris. Contoh sederhana matriks *ATSP* ditunjukkan sebagai berikut:

$$D = \begin{bmatrix} 0 & 4 & 7 \\ 6 & 0 & 5 \\ 3 & 8 & 0 \end{bmatrix}$$

Pada matriks tersebut terlihat bahwa $d(1, 2) = 4$ sedangkan $d(2, 1) = 6$

Hal tersebut menunjukkan bahwa bobot perjalanan dari titik 1 ke titik 2 berbeda dengan perjalanan dari titik 2 ke titik 1. Dalam penelitian ini, *ATSP*

digunakan sebagai model matematis untuk merepresentasikan permasalahan distribusi barang karena kondisi jaringan jalan pada proses distribusi tidak selalu bersifat simetris.

2.2 Algoritma *Nearest Neighbor*

Algoritma *Nearest Neighbor* merupakan salah satu metode *heuristik* yang digunakan untuk menyelesaikan permasalahan *Asymmetric Traveling Salesman Problem*, yaitu permasalahan optimasi dalam menentukan rute minimum yang mengunjungi setiap titik tepat satu kali dan kembali ke titik awal (Munir, 2012; Siang, 2009).

Misalkan diberikan graf berbobot:

$$G = (V, E, w)$$

dengan:

$V = v_1, v_2, \dots, v_n$ adalah himpunan titik,

$E \subseteq V \times V$ adalah himpunan sisi,

$w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ adalah fungsi bobot yang menyatakan jarak antar titik.

Pada setiap iterasi, Algoritma *Nearest Neighbor* memilih titik yang belum dikunjungi dengan jarak terdekat dari titik saat ini. Proses tersebut dilakukan secara berulang hingga seluruh titik dikunjungi dan terbentuk suatu rute siklik dengan total jarak perjalanan yang dihitung sebagai berikut:

$$\min D = \sum_{i=1}^n w(v_i, v_{i+1})$$

dengan $v_{\{n+1\}} = v_1$.

Algoritma *Nearest Neighbor* membangun solusi secara iteratif dengan

memilih titik terdekat yang belum dikunjungi. Secara matematis, jika pada langkah ke- k berada di titik u , maka titik berikutnya v^* dipilih dengan:

$$v^* = \arg \min_{v \in V \setminus S} w(u, v)$$

dengan:

V = Himpunan titik pada graf

S = Himpunan titik yang telah dikunjungi

$V \setminus S$ = Himpunan titik yang belum dikunjungi

$w(u, v)$ = bobot atau jarak dari titik u ke titik v ;

v^* = titik tujuan berikutnya yang dipilih.

Adapun langkah-langkah Algoritma *Nearest Neighbor* adalah sebagai berikut:

1. Menentukan titik awal v_1 (gudang).
2. Menetapkan himpunan titik yang telah dikunjungi:

$$S = v_1$$

3. Memilih titik berikutnya berdasarkan:

$$v_{k+1} = \arg \min_{v \in V \setminus S} w(v_k, v)$$

4. Memperbarui himpunan:

$$S = S \cup v_{k+1}$$

5. Mengulangi langkah hingga:

$$|S| = |V|$$

6. Kembali ke titik awal untuk membentuk siklus:

$$C = (v_1, v_2, \dots, v_n, v_1)$$

Total jarak rute yang diperoleh dapat dihitung dengan:

$$D = \sum_{i=1}^{n-1} w(v_i, v_{i+1}) + w(v_n, v_1)$$

Algoritma ini memiliki kompleksitas waktu yang dinyatakan menggunakan notasi *Big-O* dituliskan dengan $O(n^2)$ karena pada setiap langkah dilakukan pencarian titik terdekat dari himpunan titik yang belum dikunjungi. Keunggulan Algoritma *Nearest Neighbor* terletak pada kesederhanaan dan kecepatan komputasinya, sehingga efektif digunakan dalam permasalahan dengan jumlah titik yang relatif besar. Namun demikian, hasil rute sangat bergantung pada titik awal (*starting node*), sehingga pemilihan node awal yang berbeda dapat menghasilkan total jarak yang berbeda secara signifikan.

2.3 *Multi-Start Optimization*

Multi-Start Optimization merupakan salah satu pendekatan optimasi yang dilakukan dengan menjalankan suatu algoritma pencarian solusi dari beberapa titik awal (*starting point*) yang berbeda untuk memperoleh solusi terbaik berdasarkan fungsi objektif tertentu (Rahman & Saputri, 2021). Konsep dasar *Multi-Start* adalah melakukan proses pencarian solusi secara berulang menggunakan initial solution yang berbeda-beda. Setiap proses pencarian akan menghasilkan solusi yang mungkin berbeda, kemudian seluruh solusi dibandingkan untuk memilih solusi terbaik. Strategi ini bertujuan untuk mengurangi kemungkinan algoritma terjebak pada solusi lokal serta mengurangi ketergantungan terhadap satu titik awal tertentu (Pratama & Nugroho, 2022).

Secara umum, langkah-langkah pada pendekatan *Multi-Start* dapat dijelaskan sebagai berikut:

1. Menentukan beberapa titik awal pencarian solusi.
2. Menjalankan algoritma optimasi dari setiap titik awal.
3. Menghitung nilai fungsi objektif dari setiap solusi yang diperoleh.
4. Membandingkan seluruh solusi hasil pencarian.
5. Memilih solusi dengan nilai terbaik sebagai solusi akhir.

Dalam penelitian ini, pendekatan *Multi-Start Optimization* digunakan pada *Nearest Neighbor Algorithm* dengan menjalankan algoritma dari beberapa titik awal yang berbeda sehingga dihasilkan beberapa alternatif rute distribusi. Seluruh rute kemudian dibandingkan berdasarkan total jarak tempuh untuk memperoleh rute terbaik. Pendekatan ini bertujuan untuk mengurangi kelemahan Algoritma *Nearest Neighbor* yang sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal, sehingga peluang memperoleh solusi rute yang lebih optimal menjadi lebih besar dibandingkan penggunaan satu titik awal saja.

2.4 Kajian Integrasi Topik dengan Al-Quran dan Hadis

Islam merupakan agama yang mengajarkan keseimbangan antara aspek spiritual dan aspek praktis dalam kehidupan manusia. Setiap aktivitas yang dilakukan manusia, termasuk dalam bidang ekonomi, transportasi, dan distribusi barang, tidak hanya dinilai dari hasil yang diperoleh, tetapi juga dari bagaimana aktivitas tersebut dilaksanakan secara bertanggung jawab, efisien, dan sesuai dengan prinsip-prinsip syariat. Dalam konteks distribusi barang, keberhasilan suatu proses pengiriman tidak hanya ditentukan oleh kemampuan mengantarkan

barang dari satu lokasi ke lokasi lain, tetapi juga oleh kemampuan memenuhi amanah, menjaga ketepatan waktu, dan menggunakan sumber daya secara optimal.

Salah satu prinsip penting dalam Islam yang berkaitan dengan aktivitas distribusi adalah amanah. Amanah berarti melaksanakan tanggung jawab yang telah dipercayakan dengan sebaik-baiknya dan memberikan hak kepada pihak yang berhak menerimanya. Allah Swt. berfirman dalam Surah An-Nisā' ayat 58:

﴿إِنَّ اللَّهَ يَأْمُرُكُمْ أَنْ تُؤَدُّوا الْأَمَانَاتِ إِلَىٰ أَهْلِهَا﴾

Artinya: "Sesungguhnya Allah menyuruh kamu menyampaikan amanat kepada yang berhak menerimanya..." (Q.S. An-Nisā' [4]: 58).

Ayat tersebut menjelaskan bahwa setiap amanah harus ditunaikan kepada pihak yang berhak secara benar dan bertanggung jawab. Dalam kegiatan distribusi barang, amanah dapat diwujudkan melalui ketepatan pengiriman, keamanan barang selama perjalanan, serta pemenuhan komitmen yang telah disepakati antara perusahaan dan pelanggan. Barang yang dititipkan untuk didistribusikan merupakan amanah yang harus disampaikan kepada tujuan dengan kondisi yang baik dan dalam waktu yang tepat.

Selain itu, Rasulullah SAW. juga menegaskan pentingnya amanah dalam aktivitas muamalah melalui hadis *"Pedagang yang jujur dan terpercaya akan bersama para nabi, orang-orang yang benar, dan para syuhada pada hari kiamat."* (H.R. Tirmidzi). Hadis tersebut menunjukkan bahwa kejujuran dan tanggung jawab dalam aktivitas perdagangan memiliki kedudukan yang sangat tinggi dalam Islam. Distribusi barang merupakan bagian yang tidak terpisahkan

dari aktivitas perdagangan sehingga pelaksanaannya harus didasarkan pada prinsip kejujuran, profesionalitas, dan tanggung jawab.

Dalam perspektif yang lebih luas, pelaksanaan amanah dalam distribusi tidak hanya berkaitan dengan sikap individu, tetapi juga berkaitan dengan bagaimana suatu sistem dirancang agar mampu mendukung terlaksananya amanah tersebut secara efektif. Salah satu bentuk upaya yang dapat dilakukan adalah melalui perbaikan rute distribusi. Perencanaan rute yang kurang baik dapat menyebabkan keterlambatan pengiriman, pemborosan bahan bakar, peningkatan biaya operasional, serta berpotensi menghambat terpenuhinya hak pelanggan. Sebaliknya, penggunaan rute yang lebih optimal dapat membantu memastikan barang sampai kepada penerima dengan lebih cepat, tepat, dan efisien.

Konsep ketepatan distribusi sendiri sejalan dengan ajaran Islam yang melarang tindakan berlebihan atau pemborosan. Allah Swt. berfirman dalam Surah Al-Isrā' ayat 26–27:

﴿وَلَا تُبْذِرْ تَبْذِيرًا ۚ إِنَّ الْمُبْذِرِينَ كَانُوا إِخْوَانَ الشَّيَاطِينِ﴾

Artinya: "Dan janganlah kamu menghambur-hamburkan (hartamu) secara boros. Sesungguhnya orang-orang yang boros itu adalah saudara-saudara setan." (Q.S. Al-Isrā' [17]: 26–27).

Ayat tersebut memberikan pemahaman bahwa penggunaan sumber daya harus dilakukan secara bijaksana dan tidak berlebihan. Dalam sistem distribusi, pemborosan dapat berupa penggunaan jarak tempuh yang lebih panjang dari yang diperlukan, konsumsi bahan bakar yang berlebihan, serta waktu perjalanan yang tidak efisien. Pencarian rute distribusi yang lebih pendek merupakan salah satu bentuk penerapan prinsip ketepatan yang dianjurkan dalam Islam.

Penelitian ini membahas perbaikan rute distribusi menggunakan pendekatan *ATSP* yang diselesaikan dengan metode *MSNN*. Tujuan utama metode tersebut adalah menemukan rute perjalanan dengan total jarak yang lebih minimum dibandingkan rute aktual yang digunakan perusahaan. Dalam konteks integrasi keislaman, proses optimasi rute dapat dipandang sebagai bentuk ikhtiar untuk meningkatkan kualitas pelaksanaan amanah. Semakin efisien rute yang diperoleh, semakin besar peluang barang dikirim tepat waktu, biaya distribusi dapat ditekan, dan sumber daya perusahaan dapat digunakan secara lebih efektif.

Dengan demikian, keterkaitan antara konsep amanah dan optimasi rute terletak pada tujuan yang sama, yaitu memastikan bahwa hak pelanggan dapat dipenuhi dengan sebaik-baiknya. perbaikan rute bukan hanya berfungsi sebagai alat matematis untuk meminimalkan jarak tempuh, tetapi juga menjadi sarana untuk mendukung pelaksanaan amanah, meningkatkan ketepatan layanan, mengurangi pemborosan sumber daya, serta mewujudkan sistem distribusi yang lebih bertanggung jawab sesuai dengan nilai-nilai Islam. Oleh karena itu dalam penelitian ini tidak hanya memiliki manfaat operasional, tetapi juga selaras dengan prinsip amanah dan ketepatan yang diajarkan dalam Al-Qur'an dan Hadis.

2.5 Kajian Topik dengan Teori Pendukung

Penerapan Algoritma *Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-Start Optimization* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem* bertujuan untuk memperbaiki rute distribusi barang sehingga diperoleh jalur distribusi dengan total jarak minimum. Penerapan metode dilakukan melalui beberapa tahapan. Tahap pertama adalah mendeskripsikan data penelitian berupa titik-titik distribusi

barang. Setiap titik distribusi direpresentasikan sebagai titik (*vertex*) dan dinotasikan menjadi $(v_1, v_2, v_3, \dots, v_n)$. Selanjutnya, setiap jalur antar titik diberikan bobot berdasarkan jarak tempuh antar lokasi distribusi. Data tersebut kemudian disusun ke dalam matriks jarak berbentuk asimetris karena jarak dari titik i ke titik j belum tentu sama dengan jarak dari titik j ke titik i .

Tahap berikutnya adalah menentukan rute distribusi menggunakan Algoritma *Nearest Neighbor*. Proses pencarian rute diawali dengan pembentukan matriks ketetanggaan asimetris berdasarkan data jarak antar titik yang telah disusun sebelumnya, di mana nilai jarak dari titik i ke titik j tidak selalu sama dengan jarak dari titik j ke titik i , sehingga merepresentasikan kondisi rute distribusi yang bersifat satu arah atau memiliki perbedaan biaya perjalanan. Selanjutnya, algoritma *Nearest Neighbor* dijalankan dengan pendekatan *Multi-Start*, yaitu dengan mencoba beberapa titik awal yang berbeda untuk membentuk alternatif rute. Pada setiap iterasi, dilakukan pemilihan titik terdekat yang belum dikunjungi hingga seluruh titik terlntasi dan kembali ke titik awal membentuk siklus tertutup. Hasil dari setiap percobaan kemudian dibandingkan berdasarkan total jarak, dan rute dengan nilai minimum dipilih sebagai solusi terbaik.

Penerapan pendekatan *Multi-Start* pada Algoritma *Nearest Neighbor* bertujuan untuk mengurangi kelemahan algoritma yang sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal. Dengan menggunakan beberapa titik awal, peluang memperoleh solusi rute yang lebih optimal menjadi lebih besar dibandingkan penggunaan satu titik awal saja. Oleh karena itu, pendekatan ini diharapkan mampu menghasilkan perbaikan rute distribusi barang yang lebih efektif dan efisien pada permasalahan *ATSP*.

BAB III METODE PENELITIAN

3.1 Jenis Penelitian

Penelitian ini merupakan penelitian kuantitatif yang berfokus pada analisis data numerik dalam penentuan rute distribusi terpendek menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* pada permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem (ATSP)*. Metode penelitian yang digunakan meliputi studi literatur dan studi lapangan berbasis *Google Maps*. Studi literatur dilakukan dengan mengkaji buku, jurnal, dan penelitian terdahulu yang berkaitan dengan teori graf, *ATSP*, serta metode *Nearest Neighbor* dan *Multi-Start Nearest Neighbor*. Sementara itu, studi lapangan dilakukan melalui pengumpulan data lokasi distribusi dan pengamatan jarak antar lokasi berdasarkan kondisi jalan aktual menggunakan *Google Maps*. Data yang diperoleh kemudian diolah, disajikan, dan dianalisis untuk menghasilkan kesimpulan mengenai rute distribusi dengan total jarak paling minimum.

3.2 Data dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan data sekunder yang diperoleh dari catatan operasional distribusi barang, yang disajikan dalam bentuk tabel meliputi inisial, nama tempat, dan alamat sesuai maps. Data dikumpulkan melalui arsip resmi divisi operasional untuk mengidentifikasi cabang kantor pos serta rute distribusi barang.

Dalam penelitian ini, distribusi kantor pos dimodelkan sebagai graf berbobot $G = (V(G), E(G), w)$, di mana $V(G)$ merupakan himpunan titik yang

merepresentasikan lokasi Gudang, $E(G)$ merupakan himpunan sisi yang menunjukkan hubungan antar lokasi, dan $w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ adalah fungsi bobot yang menyatakan jarak antar lokasi dalam kilometer. Titik-titik pada graf diinisialisasikan sebagai A untuk Gudang dan $v_1, v_2, \dots, v_{10}$ sebagai kantor Pos pada tiap kecamatan yaitu Sengkaling, Batu, Pujon, Ngantang, Kasembon, Junrejo, Karangploso, Singosari, Lawang, dan Jabung sebagai titik tujuan distribusi, sehingga himpunan titik dapat dituliskan $V(G) = A, v_1, v_2, v_3, \dots, v_{10}$.

Berdasarkan data yang diperoleh, terdapat 10 kantor Pos pada tiap kecamatan di Malang dan direpresentasikan dalam graf berbobot tersebut. Distribusi kantor pos dapat dimodelkan sebagai graf berbobot $G = (V(G), E(G), w)$, di mana $V(G)$ adalah himpunan titik, yang merepresentasikan lokasi-lokasi kantor Pos pada tiap kecamatan di Malang. $E(G)$ adalah himpunan sisi (*edges*), yang merepresentasikan hubungan antar lokasi dengan jalur distribusi yang memungkinkan. $w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$ adalah fungsi bobot yang merepresentasikan jarak antar lokasi (dalam kilometer). Titik-titik pada graf berbobot $G = (V(G), E(G), w)$ diinisialisasikan sebagai:

1. Gudang: A .
2. Kantor Pos pada tiap kecamatan: $v_1, v_2, \dots, v_{10}$, yaitu Sengkaling, Batu, Pujon, Ngantang, Kasembon, Junrejo, Karangploso, Singosari, Lawang, dan Jabung sebagai titik tujuan distribusi.
3. Himpunan titik: $V(G) = A, v_1, v_2, v_3, \dots, v_{10}$.

Dengan demikian, hubungan antar titik dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks ketetanggaan berbobot sebagai berikut:

$$W = \begin{bmatrix} 0 & w(A, v_1) & w(A, v_2) & \cdots & w(A, v_{10}) \\ w(v_1, A) & 0 & w(v_1, v_2) & \cdots & w(v_1, v_{10}) \\ w(v_2, A) & w(v_2, v_1) & 0 & \cdots & w(v_2, v_{10}) \\ \vdots & \vdots & \vdots & \ddots & \vdots \\ w(v_{10}, A) & w(v_{10}, v_1) & w(v_{10}, v_2) & \cdots & 0 \end{bmatrix}$$

Di mana $w(u, v)$ menyatakan jarak dari lokasi u ke lokasi v dalam satuan kilometer. Karena jarak dari suatu lokasi ke dirinya sendiri tidak diperhitungkan, maka setiap elemen pada diagonal utama matriks bernilai nol.

Tabel 3.1 Titik Koordinat Lokasi Distribusi

Inisial	Nama Tempat	Titik Koordinat	Alamat
A	Gudang	-7.983662, 112.630229	Jl. Merdeka Selatan No.5, Kauman, Kec. Klojen, Kota Malang, Jawa Timur 65119
v_1	Kantor Pos Sengkaling	-7.911604, 112.583051	3HQM+867, Ruko Lawanda, Sengkaling, Mulyoagung, Malang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65151
v_2	Kantor Pos Batu	-7.867968, 112.516538	Jl. Panglima Sudirman, Pesanggrahan, Kec. Batu, Kota Batu, Jawa Timur 65311
v_3	Kantor Pos Pujon	-7.843995, 112.468762	Jl. Brigjend Abd Manan Wijaya No.66, Gesingan, Pujon Lor, Kec. Pujon, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65391
v_4	Kantor Pos Ngantang	-7.856547, 112.368764	Jl. Durian No.2, Prabon II, Kaumrejo, Kec. Ngantang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65392
v_5	Kantor Pos Kasembon	-7.783976, 112.308765	Jl. Raya Mendalan No.23, Sumbersuko, Sukosari, Kec. Kasembon, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65393
v_6	Kantor Pos Junrejo	-7.910561, 112.559754	Jl. Diponegoro No.33, Junrejo, Kec. Junrejo, Kota Batu, Jawa Timur 65321
v_7	Kantor Pos Karangploso	-7.896498, 112.592623	Jl. Panglima Sudirman No.59, Karangploso, Girimoyo, Kec. Karang Ploso, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65152
v_8	Kantor Pos Singosari	-7.893700, 112.666440	Jl. Raya Singosari, Pangetan, Pagentan, Kec. Singosari, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65153
v_9	Kantor Pos Lawang	-7.836433, 112.697479	Jl. Thamrin No.27, Lawang, Kec. Lawang, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65211
v_{10}	Kantor Pos Jabung	-7.945443, 112.748329	Putuk Rejo, Kemantren, Kec. Jabung, Kabupaten Malang, Jawa Timur 65155

Berdasarkan data pada tabel 3.1 titik lokasi, akan ditentukan jarak antar titik $w(u, v)$ menggunakan *Google Maps*. Setiap pasangan lokasi (u, v) memiliki bobot $w(u, v)$ yang menyatakan jarak dalam satuan kilometer, dengan pemetaan $w: E \rightarrow \mathbb{R}^+$.

Pada tabel 3.2 menunjukkan matriks jarak antar lokasi distribusi kantor pos dalam satuan km yang diperoleh dari *Google Maps*. Setiap nilai pada tabel merepresentasikan jarak antara dua lokasi, di mana baris menunjukkan lokasi asal dan kolom menunjukkan lokasi tujuan. Nilai diagonal bernilai nol karena menunjukkan jarak dari suatu lokasi ke dirinya sendiri. Data ini digunakan sebagai bobot pembentukan graf yang menjadi dasar dalam penerapan algoritma *Nearest Neighbor*.

Tabel 3.2 Tabel Data Jarak Antar Lokasi Kantor Pos (km)

Lokasi	A	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
A	0	12,4	21,5	29,9	49,9	64,2	14,2	14,5	11,8	19,3	18
v_1	11,5	0	12	18,6	38,5	52,8	3,2	3,8	12,7	20,1	21,8
v_2	21,3	9,8	0	8,5	28,4	42,7	7,9	10,9	20,6	28,1	31,6
v_3	29,7	18,2	8,5	0	22,2	34,3	16,3	19,3	29	36,5	40
v_4	50	38,2	28,4	20	0	16,2	36,2	39,3	49	56,4	60,3
v_5	64	52,5	42,7	34,3	16,1	0	50,6	53,6	63,3	70,7	74,2
v_6	14,7	3,2	8,3	16,6	36,6	50,9	0	4,4	14,8	22,2	25
v_7	14,1	3,8	11,3	19,7	39,6	53,9	4,3	0	10,9	18	23,5
v_8	12,2	13,4	22,2	30,6	50,6	64,9	15,6	11,3	0	7,6	14,7
v_9	19	21,9	29	37,4	57,3	71,6	22,3	18,1	8,1	0	21,5
v_{10}	18,2	23,1	34,7	43	63	77,3	26,3	23,7	15,3	18,6	0

Berdasarkan rute distribusi aktual, yaitu Gudang → Sengkaling → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Junrejo → Karangploso → Singosari → Lawang → Jabung → Gudang, total jarak tempuh dihitung dengan menjumlahkan jarak antar lokasi secara berurutan, yaitu

$$\begin{aligned}
 D_{\text{aktual}} &= 12,4 + 12 + 8,5 + 22,2 + 16,2 + 50,6 + 4,4 + 10,9 \\
 &\quad + 7,6 + 21,5 + 18,2 = 184,5 \text{ km}
 \end{aligned}$$

Selanjutnya, nilai total jarak tersebut akan dibandingkan dengan hasil rute yang diperoleh menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*. Perbandingan ini bertujuan untuk mengukur tingkat efektivitas metode dalam mengoptimalkan rute distribusi, khususnya dalam meminimalkan total jarak tempuh. Dengan demikian,

dapat diketahui apakah metode yang diterapkan mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih efisien dibandingkan rute distribusi aktual yang digunakan perusahaan.

3.3 Lokasi Penelitian

Data penelitian dalam tugas akhir ini diperoleh dari hasil kegiatan Praktik Kerja Lapangan (PKL) di PT Pos Indonesia Kantor Cabang Utama Malang yang beralamat di Jalan Merdeka Selatan No.5, Kauman, Kota Malang. Selama kegiatan PKL tersebut, peneliti memperoleh data operasional distribusi barang yang kemudian digunakan sebagai dasar dalam analisis pemodelan graf berbobot untuk penentuan rute distribusi terpendek.

3.4 Teknik Pengumpulan Data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan melalui studi literatur dan pengumpulan data lapangan. Studi literatur digunakan untuk memperoleh landasan teori yang berkaitan dengan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*, metode *Nearest Neighbor*, *Multi-Start Nearest Neighbor*, serta konsep optimasi rute distribusi. Referensi diperoleh dari buku, jurnal ilmiah, dan penelitian terdahulu yang relevan dengan permasalahan penentuan rute distribusi.

Pengumpulan data lapangan dilakukan dengan memperoleh data sekunder dari aktivitas distribusi PT Pos Indonesia Kantor Cabang Utama Malang. Data yang digunakan berupa daftar lokasi distribusi yang meliputi nama titik distribusi dan alamat lokasi pengiriman. Selanjutnya dilakukan pengukuran jarak antar lokasi menggunakan *Google Maps* berdasarkan jarak jalan aktual (*road distance*)

agar hasil perhitungan sesuai dengan kondisi perjalanan sebenarnya.

Data jarak antar lokasi kemudian disusun ke dalam matriks jarak sebagai dasar proses perhitungan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*. Setiap lokasi direpresentasikan sebagai node, sedangkan jarak antar lokasi direpresentasikan sebagai bobot sisi pada graf berbobot. Representasi tersebut digunakan untuk menganalisis dan menentukan rute distribusi dengan total jarak perjalanan paling minimum.

3.5 Teknik Analisis Data

3.5.1 Pengumpulan Data Jarak Antar Lokasi

Data lokasi distribusi pada penelitian ini diperoleh dari Kantor Pos Cabang Utama Malang berupa daftar wilayah tujuan pengiriman yang digunakan sebagai node dalam proses optimasi rute. Sementara itu, Kantor Pos juga menyediakan informasi mengenai urutan rute distribusi yang dilalui (node dan jalur perjalanan) sebagai acuan rute aktual di lapangan. Namun, data tersebut tidak disertai informasi jarak tempuh secara kuantitatif. Oleh karena itu, pengukuran jarak antar lokasi dilakukan menggunakan *Google Maps* berdasarkan jarak jalan (*road distance*) untuk merepresentasikan kondisi perjalanan sebenarnya. Penggunaan *Google Maps* dalam penelitian ini bertujuan untuk memperoleh nilai jarak yang lebih akurat dan terukur pada setiap segmen rute distribusi. Seluruh data jarak yang diperoleh kemudian disusun dalam bentuk matriks jarak sebagai input pada proses perhitungan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*.

3.5.2 Definisi Rute Aktual dan Jarak Tempuh Distribusi

Rute distribusi merupakan urutan perjalanan yang ditempuh kendaraan dalam proses pendistribusian barang dari titik asal menuju seluruh lokasi tujuan dan kembali ke titik asal atau lokasi akhir yang telah ditentukan. Dalam kegiatan logistik, penentuan rute distribusi menjadi salah satu faktor penting karena berpengaruh langsung terhadap ketepatan operasional, waktu pengiriman, penggunaan bahan bakar, serta biaya transportasi. Rute yang dipilih harus mampu menghubungkan seluruh lokasi distribusi dengan jarak perjalanan yang efektif sehingga proses pengiriman dapat dilakukan secara optimal.

Jarak tempuh distribusi adalah total panjang perjalanan yang dilalui kendaraan selama proses distribusi berlangsung. Jarak tempuh diperoleh dari penjumlahan seluruh jarak antar lokasi yang dilewati sesuai urutan rute distribusi. Semakin besar jarak tempuh yang harus dilalui, maka semakin besar pula sumber daya yang dibutuhkan, seperti konsumsi bahan bakar, waktu perjalanan, dan biaya operasional kendaraan. Oleh karena itu, pengukuran jarak tempuh distribusi menjadi salah satu indikator utama dalam mengevaluasi ketepatan suatu rute.

Pada penelitian ini, Kantor Pos telah memiliki rute distribusi yang digunakan dalam kegiatan operasional sehari-hari. Rute tersebut disebut sebagai rute aktual, yaitu rute yang selama ini diterapkan oleh Kantor Pos berdasarkan kebiasaan operasional dan pertimbangan praktis di lapangan. Rute aktual ini menjadi gambaran kondisi distribusi sebelum dilakukan optimasi menggunakan metode yang diusulkan dalam penelitian.

Berdasarkan data yang diperoleh dari Kantor Pos, kendaraan distribusi memulai perjalanan dari Gudang sebagai pusat distribusi. Selanjutnya kendaraan

mengunjungi lokasi-lokasi distribusi secara berurutan, yaitu Sengkaling, Karangploso, Singosari, Lawang, Jabung, Kasembon, Ngantang, Pujon, Batu, Junrejo, kemudian kembali menuju Gudang. Urutan perjalanan tersebut dapat dituliskan sebagai berikut:

*Gudang → Sengkaling → Batu → Pujon
→ Ngantang → Kasembon → Junrejo → Karangploso
→ Singosari → Lawang → Jabung → Gudang*

Jarak antar lokasi pada rute aktual diperoleh berdasarkan data jarak yang telah dikumpulkan melalui *Google Maps* dan kemudian disusun dalam bentuk matriks jarak. Dengan menjumlahkan seluruh jarak antar lokasi yang dilalui sesuai urutan rute aktual, diperoleh total jarak perjalanan distribusi sebesar 184,5 *km*. Nilai tersebut menunjukkan total jarak yang harus ditempuh kendaraan untuk menyelesaikan satu siklus distribusi ke seluruh lokasi tujuan.

Dalam penelitian ini, rute aktual digunakan sebagai baseline atau acuan pembandingan dalam proses evaluasi hasil optimasi. Kinerja metode *Nearest Neighbor* dan *Multi-Start Nearest Neighbor* akan dibandingkan dengan rute aktual untuk mengetahui apakah metode yang diterapkan mampu menghasilkan rute dengan jarak tempuh yang lebih pendek. Dengan adanya perbandingan tersebut, tingkat efektivitas metode yang digunakan dapat dianalisis secara objektif berdasarkan selisih jarak yang dihasilkan terhadap rute distribusi yang selama ini digunakan oleh perusahaan.

3.5.3 Representasi Data dalam Matriks Jarak

Data jarak antar lokasi yang telah diperoleh kemudian direpresentasikan ke dalam bentuk matriks jarak sebagai input pada permasalahan *Asymmetric*

Traveling Salesman Problem (ATSP). Matriks jarak digunakan untuk menunjukkan nilai jarak dari setiap node menuju node lainnya berdasarkan arah perjalanan tertentu. Pada penelitian ini digunakan pendekatan *ATSP* karena jarak perjalanan dari suatu lokasi ke lokasi lain tidak selalu memiliki nilai yang sama untuk arah sebaliknya. Perbedaan tersebut dapat dipengaruhi oleh kondisi jalan, arah lalu lintas, maupun rute kendaraan yang digunakan. Matriks jarak yang telah disusun selanjutnya digunakan sebagai dasar proses perhitungan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* dalam menentukan rute distribusi dengan total jarak minimum.

3.5.4 Penerapan Metode *Multi-Start Nearest Neighbor*

Tahapan penerapan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* pada penelitian ini dijelaskan sebagai berikut:

1. Menentukan Node Distribusi

Tahap pertama dilakukan dengan menentukan seluruh lokasi distribusi yang akan digunakan pada proses pencarian rute. Setiap lokasi direpresentasikan sebagai node dalam graf distribusi.

Misalkan:

depot utama = v_1

titik distribusi = $v_2, v_3, \dots, v_n$

Seluruh node tersebut kemudian disusun dalam bentuk matriks jarak berdasarkan data *Google Maps*.

2. Menentukan Titik Awal (*Start Node*)

Pada metode *Multi-Start Nearest Neighbor*, setiap node memiliki

kesempatan menjadi titik awal pencarian rute.

Sebagai contoh percobaan pertama dimulai dari Gudang, percobaan kedua dimulai dari Lawang, percobaan ketiga dimulai dari Batu, dan seterusnya hingga seluruh node digunakan sebagai titik awal.

Tujuan penggunaan beberapa titik awal adalah untuk mengurangi ketergantungan solusi terhadap satu node tertentu.

3. Mencari Node Terdekat

Setelah titik awal dipilih, algoritma akan mencari node yang memiliki jarak paling kecil dan belum dikunjungi. Secara matematis, proses pencarian node terdekat dapat dinyatakan sebagai:

$$d(v_i, v_j) = \min c_{ij}$$

dengan:

$d(v_i, v_j)$ = jarak minimum,

c_{ij} = jarak dari node i menuju node j .

Node dengan nilai jarak terkecil akan dipilih sebagai tujuan berikutnya.

4. Memperbarui Rute Perjalanan

Node yang telah dipilih kemudian dimasukkan ke dalam rute perjalanan dan ditandai sebagai node yang sudah dikunjungi. Proses pencarian tetangga terdekat kemudian dilanjutkan dari node terakhir yang dipilih. Mengulangi Proses Hingga Seluruh Node Dikunjungi. Proses pemilihan node terdekat dilakukan secara berulang sampai seluruh node distribusi telah dikunjungi, dan tidak ada node tersisa. Setelah seluruh node selesai dikunjungi, kendaraan kembali menuju depot awal sehingga membentuk satu siklus perjalanan.

5. Menghitung Total Jarak

Total jarak perjalanan diperoleh dengan menjumlahkan seluruh bobot jarak yang dilalui kendaraan. Perhitungan total jarak dinyatakan sebagai:

$$\min D = \sum_{i=1}^n w(v_i, v_{i+1})$$

dengan $v_{\{n+1\}} = v_1$.

6. Melakukan Pengulangan untuk Seluruh Titik Awal

7. Membandingkan hasil rute terbaik yang diperoleh dari *Multi-Start Nearest Neighbor* dengan rute aktual yang digunakan sebagai pembandingan.

Langkah-langkah sebelumnya kemudian diulang untuk seluruh node yang digunakan sebagai titik awal. Setiap percobaan menghasilkan rute perjalanan, urutan kunjungan node, dan total jarak berbeda. Seluruh hasil kemudian dibandingkan untuk memperoleh rute terbaik berdasarkan total jarak terkecil.

Pada penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan rute distribusi adalah *Multi-Start Nearest Neighbor (MSNN)*. Metode ini merupakan pengembangan dari algoritma *Nearest Neighbor (NN)* dengan pendekatan beberapa titik awal (*Multi-Start*) untuk memperoleh solusi rute yang lebih baik. Algoritma *Nearest Neighbor* bekerja dengan prinsip memilih titik terdekat yang belum dikunjungi dari posisi kendaraan saat ini. Proses dilakukan secara berulang hingga seluruh titik distribusi selesai dikunjungi dan kendaraan kembali menuju depot awal.

Namun, hasil metode *Nearest Neighbor* sangat dipengaruhi oleh titik awal pencarian. Oleh karena itu, pada penelitian ini digunakan konsep *Multi-Start*, yaitu melakukan proses pencarian rute dari beberapa titik awal berbeda. Seluruh hasil rute kemudian dibandingkan untuk memperoleh total jarak terkecil.

Sebagai contoh, proses pencarian rute dimulai dari node Gudang sebagai titik awal. Misalkan tersedia beberapa node tujuan Lawang, Batu, Dau, Sengkaling, Karangploso. Berdasarkan matriks jarak, algoritma akan memilih node dengan jarak terkecil dari Gudang. Sebagai ilustrasi pada tabel 3.3.

Tabel 3.3 Tabel Jarak dari Gudang

Dari Gudang	Jarak (km)
Lawang	18,2
Batu	25,4
Junrejo	21,7
Sengkaling	19,5

Karena jarak terkecil adalah Lawang, maka node berikutnya yang dipilih yaitu Lawang.

Rute sementara menjadi:

Gudang $\rightarrow$ Lawang

Selanjutnya proses pencarian dilakukan kembali dari node Lawang menuju node lain yang belum dikunjungi. Misalnya diperoleh:

Tabel 3.4 Tabel Jarak dari Lawang

Dari Lawang	Jarak (km)
Batu	14,1
Junrejo	16,8
Sengkaling	15,7

Karena pada tabel 3.4 jarak terkecil adalah Batu, maka node berikutnya yang dipilih yaitu Batu. Rute sementara berubah menjadi:

Gudang $\rightarrow$ Lawang $\rightarrow$ Batu

Proses tersebut dilakukan secara berulang hingga seluruh titik distribusi dikunjungi dan kendaraan kembali menuju depot awal. Setelah seluruh rute perjalanan terbentuk, langkah berikutnya adalah menghitung total jarak perjalanan kendaraan.

Sebagai contoh:

Gudang → Lawang → Batu → Junrejo → Gudang

Misalkan diperoleh jarak:

Gudang → Lawang = 18,2 km

Lawang → Batu = 14,1 km

Batu → Junrejo = 12,5 km

Junrejo → Gudang = 20,3 km

Maka total jarak perjalanan dihitung sebagai:

$$D = 18,2 + 14,1 + 12,5 + 20,3 = 65,1 \text{ km}$$

Perhitungan total jarak dilakukan pada seluruh hasil percobaan titik awal. Nilai total jarak terkecil kemudian dipilih sebagai rute terbaik yang diperoleh menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*.

3.5.5 Tahapan Analisis Hasil Perbaikan Rute

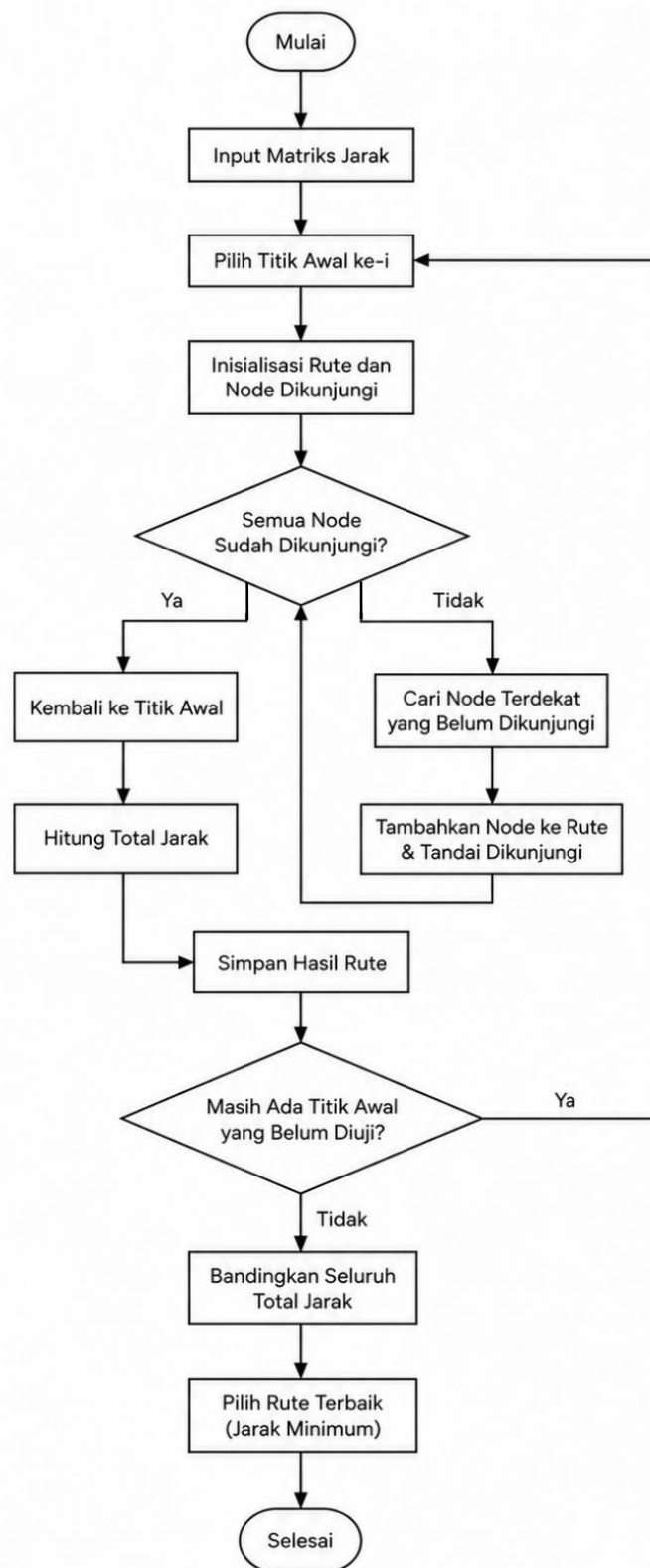
Analisis hasil dilakukan dengan membandingkan seluruh rute yang diperoleh dari proses pengujian *Multi-Start Nearest Neighbor*. Proses analisis difokuskan pada total jarak perjalanan yang dihasilkan pada setiap percobaan untuk mengetahui tingkat perbaikan masing-masing rute distribusi. Selain membandingkan total jarak, analisis juga dilakukan terhadap pola perjalanan yang terbentuk pada setiap rute. Node-node yang memiliki kedekatan geografis cenderung dikunjungi secara berurutan sehingga menghasilkan rute yang lebih baik. Sebaliknya, beberapa percobaan menghasilkan total jarak lebih besar karena terdapat perpindahan antar node yang relatif jauh pada tahap tertentu perjalanan.

Hasil analisis digunakan untuk menentukan rute terbaik berdasarkan nilai total jarak paling minimum. Rute tersebut kemudian dijadikan sebagai solusi

optimasi distribusi pada penelitian ini. Selain itu, hasil optimasi juga dibandingkan dengan rute distribusi aktual untuk mengetahui tingkat perbaikan rute yang diperoleh setelah penerapan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*.

3.6 Flowchart Tahapan Penelitian

Berdasarkan tahapan teknik analisis data yang telah dijelaskan sebelumnya, proses penelitian ini dilakukan secara sistematis mulai dari pengumpulan data jarak antar lokasi hingga analisis hasil optimasi rute menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*. Untuk mempermudah pemahaman alur penelitian, seluruh tahapan proses tersebut kemudian direpresentasikan dalam bentuk flowchart. Flowchart ini menggambarkan urutan proses penelitian mulai dari pengambilan data, penyusunan matriks jarak, penerapan algoritma, pengujian seluruh titik awal, hingga penentuan rute distribusi terbaik.

Gambar 3.1 *Flowchart Tahapan Penelitian*

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Deskripsi Data dan Pemodelan Masalah

Penelitian ini menggunakan beberapa titik lokasi yang merepresentasikan rute distribusi barang Kantor Pos di wilayah Malang. Setiap titik mewakili lokasi penting dalam proses distribusi, yaitu:

Tabel 4.1 Titik Lokasi Distribusi

Inisial	Nama Tempat
A	Gudang
v_1	Kantor Pos Sengkaling
v_2	Kantor Pos Batu
v_3	Kantor Pos Pujon
v_4	Kantor Pos Ngantang
v_5	Kantor Pos Kasembon
v_6	Kantor Pos Junrejo
v_7	Kantor Pos Karangploso
v_8	Kantor Pos Singosari
v_9	Kantor Pos Lawang
v_{10}	Kantor Pos Jabung

Berdasarkan tabel 4.1 data jarak antar lokasi diperoleh dari *Google Maps* dengan metode pengukuran jarak aktual berdasarkan rute jalan (*road distance*), bukan jarak *Euclidean*. Untuk menjaga konsistensi perhitungan, seluruh jarak dinyatakan dalam satuan kilometer dan telah dilakukan validasi secara manual untuk memastikan bahwa rute yang digunakan merupakan rute tercepat. Data dalam penelitian ini memiliki karakteristik sebagai data dunia nyata (*real-world data*) yang diperoleh dari kondisi aktual jaringan jalan di wilayah Malang. Penggunaan jarak tempuh berbasis rute jalan tersebut menyebabkan data bersifat asimetris, di mana jarak dari suatu lokasi ke lokasi lain tidak selalu sama dengan jarak sebaliknya. Ketidaksimetrian ini terjadi akibat adanya perbedaan arah jalan, ketersediaan rute alternatif, serta pengaruh kondisi lalu lintas perkotaan yang

dapat memengaruhi panjang dan waktu tempuh perjalanan antar lokasi. Dengan demikian, hubungan jarak antar node dalam penelitian ini tidak memenuhi sifat simetris, yaitu $d(i, j) \neq d(j, i)$, sehingga permasalahan ini dimodelkan sebagai *Asymmetric Traveling Salesman Problem*.

Permasalahan dalam penelitian ini dimodelkan sebagai *Asymmetric Traveling Salesman Problem*, yaitu variasi dari *Traveling Salesman Problem* di mana jarak dari node i ke node j tidak harus sama dengan jarak dari node j ke node i . Tujuan utama dari *ATSP* adalah mencari rute terpendek yang mengunjungi setiap node tepat satu kali dan kembali lagi ke node awal (*depot*). Secara matematis, tujuan optimasi ini diformulasikan untuk meminimalkan total jarak perjalanan, yaitu $\min \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n d_{ij} x_{ij}$, dengan d_{ij} menyatakan jarak dari node i ke node j , x_{ij} bernilai 1 jika rute tersebut digunakan dan 0 jika tidak, serta n merupakan jumlah seluruh node yang dikunjungi.

Lokasi penelitian terdiri atas satu titik depot utama dan beberapa titik distribusi tujuan. Depot utama berfungsi sebagai titik awal sekaligus titik akhir perjalanan kendaraan distribusi. Dalam penelitian ini, depot direpresentasikan sebagai node pusat yang menjadi tempat kendaraan memulai proses pengiriman barang sebelum mengunjungi seluruh titik distribusi dan kembali kembali ke depot setelah proses distribusi selesai dilakukan. Berdasarkan data *Google Maps*, diperoleh tabel 4.2.

Matriks ini menunjukkan bahwa setiap pasangan node memiliki jarak yang berbeda tergantung arah perjalanan, sehingga bersifat asimetris. Hubungan antar node kemudian disusun ke dalam bentuk matriks jarak (*distance matrix*) yang

digunakan sebagai input utama pada proses pencarian rute menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*. Matriks tersebut berisi nilai jarak dari setiap titik menuju titik lainnya berdasarkan hasil pengukuran dari *Google Maps*.

Tabel 4.2 Matriks Jarak Antar Node

Lokasi	A	v_1	v_2	v_3	v_4	v_5	v_6	v_7	v_8	v_9	v_{10}
A	0	12,4	21,5	29,9	49,9	64,2	14,2	14,5	11,8	19,3	18
v_1	11,5	0	12	18,6	38,5	52,8	3,2	3,8	12,7	20,1	21,8
v_2	21,3	9,8	0	8,5	28,4	42,7	7,9	10,9	20,6	28,1	31,6
v_3	29,7	18,2	8,5	0	22,2	34,3	16,3	19,3	29	36,5	40
v_4	50	38,2	28,4	20	0	16,2	36,2	39,3	49	56,4	60,3
v_5	64	52,5	42,7	34,3	16,1	0	50,6	53,6	63,3	70,7	74,2
v_6	14,7	3,2	8,3	16,6	36,6	50,9	0	4,4	14,8	22,2	25
v_7	14,1	3,8	11,3	19,7	39,6	53,9	4,3	0	10,9	18	23,5
v_8	12,2	13,4	22,2	30,6	50,6	64,9	15,6	11,3	0	7,6	14,7
v_9	19	21,9	29	37,4	57,3	71,6	22,3	18,1	8,1	0	21,5
v_{10}	18,2	23,1	34,7	43	63	77,3	26,3	23,7	15,3	18,6	0

Pada penelitian ini, matriks jarak yang digunakan bersifat asimetris (*asymmetric matrix*). Hal ini berarti bahwa jarak dari suatu titik ke titik lainnya tidak selalu memiliki nilai yang sama pada arah sebaliknya. Sebagai contoh, jarak dari titik A menuju titik B dapat berbeda dengan jarak dari titik B menuju titik A. Kondisi tersebut menyebabkan permasalahan pada penelitian ini termasuk ke dalam kategori *Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)*. Perbedaan nilai jarak antar arah perjalanan dapat dipengaruhi oleh beberapa faktor, antara lain:

1. keberadaan jalan satu arah,
2. perbedaan jalur yang direkomendasikan sistem navigasi,
3. pembatasan akses kendaraan pada ruas jalan tertentu,
4. serta karakteristik jaringan jalan pada masing-masing wilayah distribusi.

Sebagai ilustrasi, kendaraan distribusi dapat melewati jalur tertentu saat menuju lokasi tujuan, namun pada perjalanan kembali kendaraan harus

menggunakan rute berbeda akibat aturan lalu lintas atau arah jalan yang tidak sama. Oleh karena itu, penggunaan model *ATSP* dinilai lebih sesuai untuk merepresentasikan kondisi distribusi nyata dibandingkan model *TSP* simetris.

Data matriks jarak yang telah diperoleh selanjutnya digunakan sebagai dasar dalam proses pencarian rute distribusi dengan tujuan meminimalkan total jarak perjalanan kendaraan. Hasil pengolahan data tersebut kemudian dianalisis untuk menentukan rute terbaik yang diperoleh menggunakan metode *MSNN*.

4.2 Pemodelan Permasalahan *Asymmetric Traveling Salesman Problem*

4.2.1 Representasi Graf

Permasalahan distribusi pada penelitian ini direpresentasikan dalam bentuk graf berarah (*directed graph*) yang dinotasikan sebagai:

$$G = (V, E)$$

dengan:

G = Graf distribusi

V = Himpunan titik (*vertex/node*)

E = Himpunan sisi (*edge*)

Graf yang digunakan merupakan graf berarah karena jarak antar lokasi bersifat asimetris. Hal ini berarti rute dari node i menuju node j belum tentu memiliki nilai jarak yang sama dengan rute dari node j menuju node i . Pada graf tersebut setiap node merepresentasikan lokasi distribusi, setiap edge merepresentasikan hubungan perjalanan antar lokasi, dan bobot edge menunjukkan nilai jarak tempuh kendaraan.

Sebagai contoh node A merepresentasikan depot/gudang utama, node B , C ,

D , dan seterusnya merepresentasikan titik distribusi tujuan. Apabila kendaraan bergerak dari node A menuju node B , maka bobot edge $A \rightarrow B$ menunjukkan jarak perjalanan aktual berdasarkan data *Google Maps*.

4.2.2 Titik dan Sisi pada Sistem Distribusi

Dalam penelitian ini, sistem distribusi terdiri atas satu depot utama dan beberapa lokasi distribusi barang. Seluruh lokasi tersebut direpresentasikan sebagai node dalam graf distribusi.

Didefinisikan $V(G)$ sebagai himpunan titik distribusi, yaitu:

$$V = \{v_1, v_2, v_3, \dots, v_n\}$$

dengan:

v_1 = Depot/gudang utama,

$v_2, v_3, \dots, v_n$ = Titik distribusi.

Hubungan antar node dibentuk menjadi edge berarah:

$$E = \{(v_i, v_j) \mid v_i, v_j \in V, i \neq j\}$$

Setiap edge v_i, v_j memiliki bobot berupa jarak perjalanan dari node v_i menuju node v_j . Karena menggunakan model *ATSP*, maka rute $v_i \rightarrow v_j$ berbeda dengan rute $v_j \rightarrow v_i$, sehingga bobot jaraknya dapat berbeda.

Sebagai ilustrasi jarak Gudang $\rightarrow$ Lawang dapat berbeda dengan Lawang $\rightarrow$ Gudang, akibat faktor jalan satu arah atau kondisi lalu lintas. Dengan demikian, graf distribusi pada penelitian ini termasuk graf berbobot dan berarah (*weighted directed graph*).

4.2.3 Pembentukan Matriks Jarak

Setelah seluruh node dan edge ditentukan, langkah berikutnya adalah membentuk matriks jarak (*distance matrix*). Matriks jarak digunakan untuk menyimpan seluruh informasi jarak antar lokasi distribusi yang diperoleh dari *Google Maps*.

Bentuk umum matriks jarak dapat dituliskan sebagai berikut:

$$C = [c_{ij}]_{n \times n}$$

dengan:

C = Matriks jarak,

c_{ij} = Jarak dari titik i menuju titik j ,

n = jumlah seluruh node.

Nilai diagonal utama matriks bernilai nol karena jarak suatu titik terhadap dirinya sendiri adalah nol. Sebagai contoh sederhana, bentuk matriks jarak dapat direpresentasikan seperti pada tabel 4.3.

Tabel 4.3 Contoh Matriks Jarak

Lokasi	A	v_1	v_2	v_3	v_4
A	0	12,4	21,5	29,9	49,9
v_1	11,5	0	12	18,6	38,5
v_2	21,3	9,8	0	8,5	28,4

Pada tabel 4.3 terlihat bahwa jarak A ke v_1 sebesar 12,4 *km*, sedangkan jarak v_1 ke A sebesar 11,5 *km*. Perbedaan nilai menunjukkan bahwa matriks bersifat asimetris sehingga model yang digunakan termasuk *ATSP*. Matriks jarak ini digunakan sebagai dasar pencarian node terdekat. Berdasarkan data jarak yang telah diperoleh, matriks jarak lengkap dalam penelitian ini dapat direpresentasikan dalam bentuk matriks bobot W .

$$W = \begin{bmatrix} 0 & 12,4 & 21,5 & 29,9 & 49,9 & 64,2 & 14,2 & 14,5 & 11,8 & 19,3 & 18,0 \\ 11,5 & 0 & 12,0 & 18,6 & 38,5 & 52,8 & 3,2 & 3,8 & 12,7 & 20,1 & 21,8 \\ 21,3 & 9,8 & 0 & 8,5 & 28,4 & 42,7 & 7,9 & 10,9 & 20,6 & 28,1 & 31,6 \\ 29,7 & 18,2 & 8,5 & 0 & 22,2 & 34,3 & 16,3 & 19,3 & 29,0 & 36,5 & 40,0 \\ 50,0 & 38,2 & 28,4 & 20,0 & 0 & 16,2 & 36,2 & 39,3 & 49,0 & 56,4 & 60,3 \\ 64,0 & 52,5 & 42,7 & 34,3 & 16,1 & 0 & 50,6 & 53,6 & 63,3 & 70,7 & 74,2 \\ 14,7 & 3,2 & 8,3 & 16,6 & 36,6 & 50,9 & 0 & 4,4 & 14,8 & 22,2 & 25,0 \\ 14,1 & 3,8 & 11,3 & 19,7 & 39,6 & 53,9 & 4,3 & 0 & 10,9 & 18,0 & 23,5 \\ 12,2 & 13,4 & 22,2 & 30,6 & 50,6 & 64,9 & 15,6 & 11,3 & 0 & 7,6 & 14,7 \\ 19,0 & 21,9 & 29,0 & 37,4 & 57,3 & 71,6 & 22,3 & 18,1 & 8,1 & 0 & 21,5 \\ 18,2 & 23,1 & 34,7 & 43,0 & 63,0 & 77,3 & 26,3 & 23,7 & 15,3 & 18,6 & 0 \end{bmatrix}$$

4.2.4 Definisi Fungsi Tujuan

Tujuan utama dari permasalahan *ATSP* pada penelitian ini adalah memperoleh rute distribusi dengan total jarak minimum. Kendaraan distribusi harus:

1. berangkat dari depot,
2. mengunjungi seluruh titik distribusi tepat satu kali,
3. kemudian kembali kembali ke depot awal.

Fungsi tujuan model *ATSP* dapat dinyatakan sebagai berikut:

$$\min D = \sum_{i=1}^n \sum_{j=1}^n c_{ij} x_{ij}$$

dengan:

D = Total jarak perjalanan,

c_{ij} = Jarak dari titik i menuju titik j ,

x_{ij} = Variabel keputusan rute,

n = Jumlah seluruh node.

Variabel keputusan x_{ij} didefinisikan sebagai:

$$x_{ij} = \begin{cases} 1, & \text{jika rute } i \rightarrow j \text{ dipilih} \\ 0, & \text{jika rute tidak dipilih} \end{cases}$$

Artinya:

Nilai 1 menunjukkan bahwa kendaraan melewati rute dari node i menuju node j , sedangkan nilai 0 menunjukkan bahwa rute tersebut tidak digunakan dalam rute perjalanan. Melalui fungsi tujuan tersebut, sistem akan memilih kombinasi rute yang menghasilkan total jarak perjalanan paling minimum.

4.2.5 Kendala Permasalahan

Selain fungsi tujuan, model *ATSP* juga memiliki beberapa kendala (*constraints*) yang harus dipenuhi agar solusi rute valid.

1. Setiap node hanya boleh dikunjungi satu kali

$$\sum_{i \neq j}^n x_{ij} = 1$$

Artinya setiap node hanya memiliki satu jalur keluar menuju node lain.

2. Setiap node hanya memiliki satu jalur masuk

$$\sum_{i \neq j}^n x_{ij} = 1$$

Artinya setiap node hanya boleh dikunjungi satu kali oleh kendaraan.

3. Kendaraan harus kembali ke depot awal

Rute perjalanan harus membentuk siklus (*tour cycle*) sehingga kendaraan kembali menuju titik awal setelah seluruh lokasi selesai dikunjungi.

Berdasarkan model yang telah dibentuk, sistem distribusi pada penelitian ini dapat dipahami sebagai proses pencarian kombinasi rute terbaik antar node

distribusi dengan total jarak minimum. Metode *Multi-Start Nearest Neighbor* kemudian digunakan untuk menentukan urutan kunjungan node berdasarkan prinsip pencarian tetangga terdekat (*nearest node*) dari posisi kendaraan saat ini. Proses pencarian dilakukan dari beberapa titik awal berbeda sehingga diperoleh beberapa alternatif rute perjalanan. Seluruh hasil rute yang diperoleh kemudian dibandingkan untuk menentukan solusi terbaik berdasarkan total jarak perjalanan terkecil.

4.3 Perhitungan Manual Metode NN Standart dan MSNN

4.3.1 Perhitungan Manual *Nearest Neighbor* Standar

Pada subbab ini dilakukan perhitungan manual menggunakan metode *Nearest Neighbor* untuk menentukan rute distribusi pada permasalahan *Asymmetric Traveling Salesman Problem (ATSP)*. Metode *Nearest Neighbor* merupakan metode *heuristik* yang bekerja dengan memilih node terdekat yang belum dikunjungi dari node saat ini. Proses tersebut dilakukan secara berulang hingga seluruh node dikunjungi tepat satu kali, kemudian perjalanan diakhiri dengan kembali ke node awal.

Adapun langkah-langkah metode *Nearest Neighbor* Standar adalah sebagai berikut.

1. Menentukan node awal sebagai titik keberangkatan.
2. Mengidentifikasi seluruh node yang belum dikunjungi.
3. Memilih node dengan jarak terkecil dari node saat ini menuju node yang belum dikunjungi.
4. Menambahkan jarak yang dipilih ke dalam total jarak perjalanan.

5. Menjadikan node terpilih sebagai node saat ini.
6. Mengulangi langkah 2 sampai langkah 5 hingga seluruh node telah dikunjungi.
7. Kembali ke node awal untuk membentuk suatu siklus (tour).
8. Menghitung total jarak yang diperoleh sebagai panjang rute akhir.

Berdasarkan matriks jarak yang telah dibentuk pada Subbab 4.2.3, proses perhitungan manual *Nearest Neighbor* dilakukan dengan titik awal Gudang. Pada setiap langkah, dipilih node dengan jarak minimum yang belum dikunjungi sehingga diperoleh rute distribusi beserta total jarak tempuhnya.

Node saat ini: Gudang

Tabel 4.4 Pemilihan Node dari Gudang

Tujuan	Jarak
Sengkaling	12,4
Batu	21,5
Pujon	29,9
Ngantang	49,9
Kasembon	64,2
Junrejo	14,2
Karangploso	14,5
Singosari	11,8
Lawang	19,3
Jabung	18

Jarak minimum : 11,8

Node terpilih : Singosari

Perhitungan total jarak : $0 + 11,8 = 11,8$

Rute sementara :

Gudang → *Singosari*

Node saat ini: Singosari

Tabel 4.5 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Singosari berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.5 Pemilihan Node dari Singosari

Tujuan	Jarak
Sengkaling	13,4
Batu	22,2
Pujon	30,6
Ngantang	50,6
Kasembon	64,9
Junrejo	15,6
Karangploso	11,3
Lawang	7,6
Jabung	14,7

Jarak minimum : 7,6

Node terpilih : Lawang

Perhitungan total jarak : $11,8 + 7,6 = 19,4$

Rute sementara:

Gudang → Singosari → Lawang

Node saat ini: Lawang

Tabel 4.6 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Lawang berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.6 Pemilihan Node dari Lawang

Tujuan	Jarak
Sengkaling	21,9
Batu	29
Pujon	37,4
Ngantang	57,3
Kasembon	71,6
Junrejo	22,3
Karangploso	18,1
Jabung	21,5

Jarak minimum : 18,1

Node terpilih : Karangploso

Perhitungan total jarak : $19,4 + 18,1 = 37,5$

Rute sementara:

Gudang → Singosari → Lawang → Karangploso

Node saat ini: Karangploso

Tabel 4.7 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Karangploso berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.7 Pemilihan Node dari Karangploso

Tujuan	Jarak
Sengkaling	3,8
Batu	11,3
Pujon	19,7
Ngantang	39,6
Kasembon	53,9
Junrejo	4,3
Jabung	23,5

Jarak minimum : 3,8

Node terpilih : Sengkaling

Perhitungan total jarak : $37,5 + 3,8 = 41,3$

Rute sementara :

Gudang → Singosari → Lawang → Karangploso → Sengkaling

Node saat ini: Sengkaling

Tabel 4.8 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Sengkaling berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.8 Pemilihan Node dari Sengkaling

Tujuan	Jarak
Batu	12
Pujon	18,6
Ngantang	38,5
Kasembon	52,8
Junrejo	3,2
Jabung	21,8

Jarak minimum : 3,2

Node terpilih : Junrejo

Perhitungan total jarak : $41,3 + 3,2 = 44,5$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang →
Karangploso → Sengkaling → Junrejo*

Node saat ini: Junrejo

Tabel 4.9 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Junrejo berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.9 Pemilihan Node dari Junrejo

Tujuan	Jarak
Batu	8,3
Pujon	16,6
Ngantang	36,6
Kasembon	50,9
Jabung	25

Jarak minimum : 8,3

Node terpilih : Batu

Perhitungan total jarak : $44,5 + 8,3 = 52,8$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang →
Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu*

Node saat ini: Batu

Tabel 4.10 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Batu berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.10 Pemilihan Node dari Batu

Tujuan	Jarak
Pujon	8,5
Ngantang	28,4
Kasembon	42,7
Jabung	31,6

Jarak minimum : 8,5

Node terpilih : Pujon

Perhitungan total jarak : $52,8 + 8,5 = 61,3$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang → Karangploso →
Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon*

Node saat ini: Pujon

Tabel 4.11 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Pujon berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.11 Pemilihan Node dari Pujon

Tujuan	Jarak
Ngantang	22,2
Kasembon	34,3
Jabung	40

Jarak minimum : 22,2

Node terpilih : Ngantang

Perhitungan total jarak : $61,3 + 22,2 = 83,5$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang →
Karangploso → Sengkaling → Junrejo →
Batu → Pujon → Ngantang*

Node saat ini: Ngantang

Tabel 4.12 Pemilihan Node dari Ngantang

Tujuan	Jarak
Kasembon	16,2
Jabung	60,3

Tabel 4.12 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Ngantang berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Jarak minimum : 16,2

Node terpilih : Kasembon

Perhitungan total jarak : $83,5 + 16,2 = 99,7$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang →
Karangploso → Sengkaling → Junrejo →
Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon*

Node saat ini: Kasembon

Tabel 4.13 menunjukkan proses pemilihan node berikutnya dari node Kasembon berdasarkan jarak minimum yang belum dikunjungi.

Tabel 4.13 Pemilihan Node dari Kasembon

Tujuan	Jarak
Jabung	74,2

Jarak minimum : 74,2

Node terpilih : Jabung

Perhitungan total jarak : $99,7 + 74,2 = 173,9$

Rute sementara :

*Gudang → Singosari → Lawang → Karangploso →
Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon →
Ngantang → Kasembon → Jabung*

Langkah berikutnya kembali ke node awal untuk membentuk suatu siklus (*tour*).

Dari Jabung kembali ke Gudang : 18,2

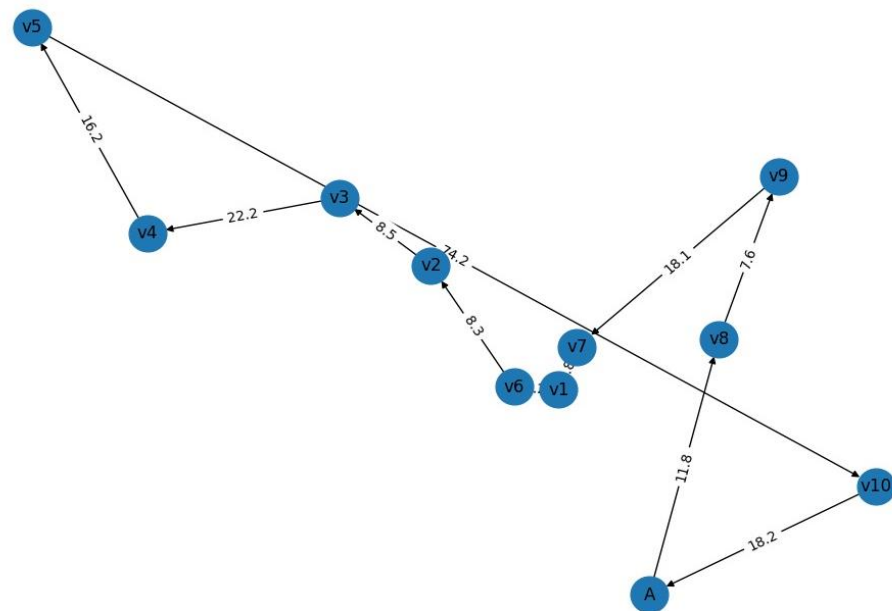
Perhitungan total akhir : $173,9 + 18,2 = 192,1$

Rute akhir yang diperoleh :

Gudang → Singosari → Lawang → Karangploso →
Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang →
Kasembon → Jabung → Gudang

Total jarak : 192,1 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Sengkaling divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.1.



Gambar 4.1 Graf Rute Distribusi Titik Awal Gudang

Berdasarkan graf pada Gambar 4.1, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Gudang kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perpindahan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak perjalanan sebesar 192,1 km sehingga termasuk salah satu rute dengan jarak yang cukup besar dibandingkan

beberapa percobaan lainnya.

4.3.2 Perhitungan Manual *Multi-Start Nearest Neighbor*

Pada subbab ini dilakukan perhitungan manual menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* untuk menentukan rute distribusi yang lebih optimal. Metode ini merupakan pengembangan dari algoritma *Nearest Neighbor* dengan melakukan proses pencarian rute dari beberapa titik awal (*starting node*) yang berbeda. Setiap titik awal akan menghasilkan rute dan total jarak yang mungkin berbeda karena metode *Nearest Neighbor* sangat dipengaruhi oleh pemilihan node awal.

Proses perhitungan dilakukan dengan menerapkan langkah-langkah *Nearest Neighbor* pada setiap node yang tersedia dalam sistem distribusi. Untuk setiap percobaan, node yang dipilih sebagai titik awal akan menjadi lokasi keberangkatan, kemudian dipilih node terdekat yang belum dikunjungi hingga seluruh node dikunjungi tepat satu kali dan perjalanan kembali ke titik awal. Selanjutnya, total jarak dari setiap rute dibandingkan untuk memperoleh rute dengan jarak minimum.

Pada penelitian ini, percobaan dilakukan pada seluruh node yang terlibat dalam sistem distribusi, yaitu Sengkaling, Batu, Pujon, Ngantang, Kasembon, Junrejo, Karangploso, Singosari, Lawang, dan Jabung. Hasil dari setiap percobaan kemudian dianalisis untuk menentukan rute distribusi terbaik yang dihasilkan oleh metode *Multi-Start Nearest Neighbor*. Pada Subbab 4.3.1 telah diperoleh hasil rute menggunakan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Gudang. Selanjutnya, pada metode *Multi-Start Nearest Neighbor*, proses pencarian rute dilakukan kembali dengan menggunakan titik awal yang berbeda untuk

mengetahui pengaruh pemilihan node awal terhadap total jarak yang dihasilkan.

1. Titik Awal Sengkaling

Pada percobaan pertama, proses pencarian rute dimulai dari node Sengkaling sebagai titik awal. Pada setiap iterasi, metode *Nearest Neighbor* memilih node terdekat yang belum dikunjungi hingga seluruh lokasi berhasil dilalui satu kali dan kembali menuju titik awal.

Tabel 4.14 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Sengkaling.

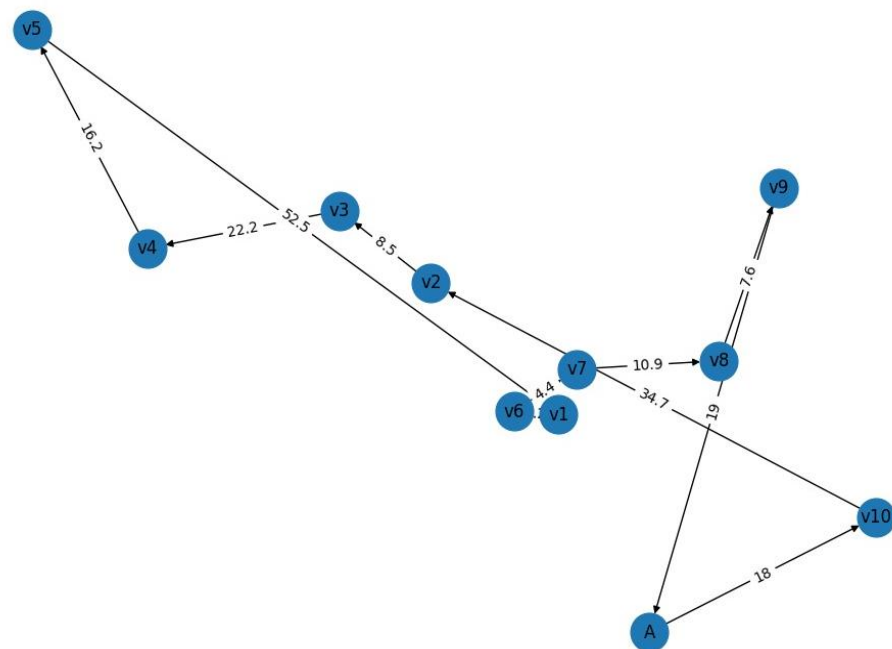
Tabel 4.14 Hasil Rute Titik Awal Sengkaling

No	Rute	Jarak (km)
1	Sengkaling → Junrejo	3,2
2	Junrejo → Karangploso	4,4
3	Karangploso → Singosari	10,9
4	Singosari → Lawang	7,6
5	Lawang → Gudang	19
6	Gudang → Jabung	18
7	Jabung → Batu	34,7
8	Batu → Pujon	8,5
9	Pujon → Ngantang	22,2
10	Ngantang → Kasembon	16,2
11	Kasembon → Sengkaling	52,5
	Total Jarak	197,2 km

Hasil perhitungan menunjukkan rute yang diperoleh yaitu Sengkaling → Junrejo → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Sengkaling dengan total jarak tempuh sebesar 197,2 km. Nilai tersebut menunjukkan bahwa pemilihan titik awal Sengkaling menghasilkan rute yang relatif lebih panjang dibandingkan beberapa percobaan lainnya.

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Sengkaling divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.2.

Berdasarkan graf pada Gambar 4.2, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Sengkaling kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perpindahan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak perjalanan sebesar 197,2 km sehingga termasuk salah satu rute dengan jarak yang cukup besar dibandingkan beberapa percobaan lainnya.



Gambar 4.2 Graf Rute Distribusi Titik Awal Sengkaling

2. Titik Awal Batu

Pada percobaan kedua, node Batu digunakan sebagai titik awal dalam proses pencarian rute distribusi. Metode *Nearest Neighbor* kemudian menentukan node tujuan berdasarkan jarak minimum dari node saat ini secara bertahap

hingga seluruh node dikunjungi. Tabel 4.15 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Batu.

Berdasarkan hasil perhitungan diperoleh rute Batu → Junrejo → Sengkaling → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Pujon → Ngantang → Kasembon → Batu dengan total jarak sebesar 194,5 km. Hasil ini menunjukkan bahwa titik awal Batu menghasilkan rute yang cukup baik namun belum menjadi rute terbaik dari seluruh percobaan.

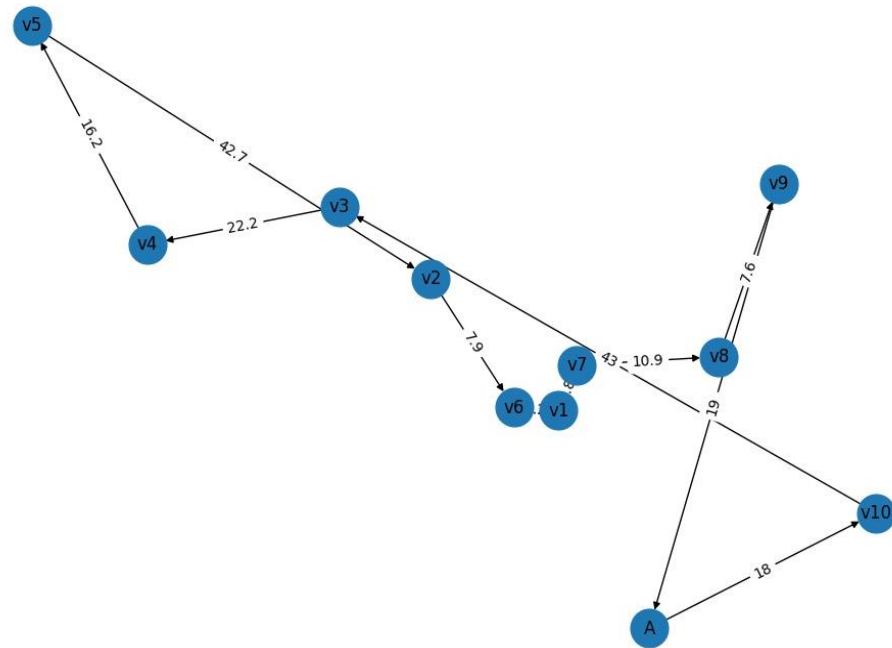
Tabel 4.15 Hasil Rute Titik Awal Batu

No	Rute	Jarak (km)
1	Batu → Junrejo	7,9
2	Junrejo → Sengkaling	3,2
3	Sengkaling → Karangploso	3,8
4	Karangploso → Singosari	10,9
5	Singosari → Lawang	7,6
6	Lawang → Gudang	19
7	Gudang → Jabung	18
8	Jabung → Pujon	43
9	Pujon → Ngantang	22,2
10	Ngantang → Kasembon	16,2
11	Kasembon → Batu	42,7
	Total Jarak	194,5 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Batu divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.3.

Berdasarkan graf pada Gambar 4.3, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Batu kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kendaraan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan alur perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak perjalanan sebesar 194,5 km sehingga termasuk rute yang cukup efisien meskipun belum menghasilkan

jarak minimum dari seluruh percobaan yang dilakukan.



Gambar 4.3 Graf Rute Distribusi Titik Awal Batu

3. Titik Awal Pujon

Pada percobaan ketiga, pencarian rute dimulai dari node Pujon. Proses iterasi dilakukan dengan memilih node yang memiliki jarak terdekat dan belum pernah dikunjungi sebelumnya sampai seluruh lokasi terhubung dalam satu siklus perjalanan.

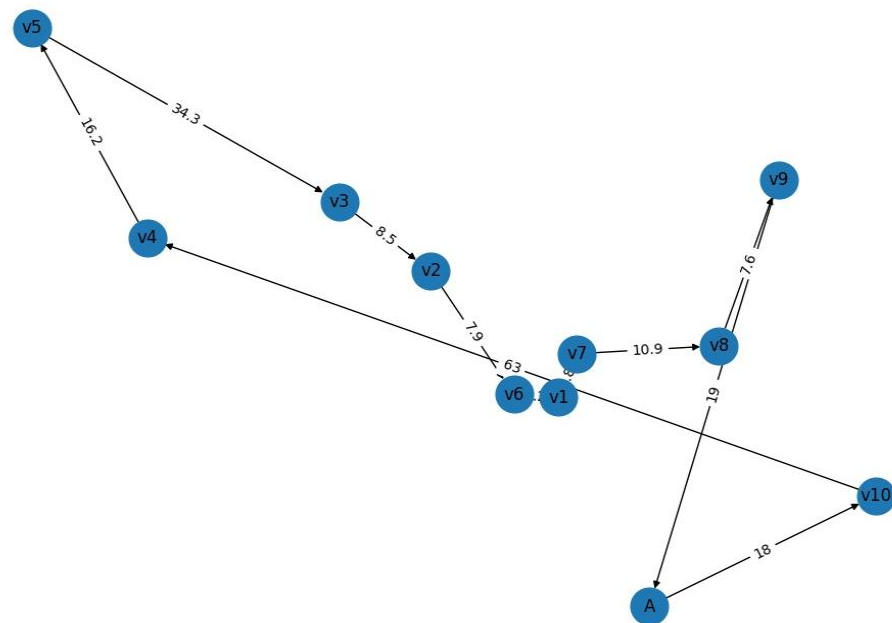
Hasil pengujian menghasilkan rute Pujon → Batu → Junrejo → Sengkaling → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Ngantang → Kasembon → Pujon dengan total jarak sebesar 192,4 km. Total jarak tersebut menunjukkan hasil yang lebih efisien dibandingkan beberapa titik awal sebelumnya.

Tabel 4.16 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Pujon.

Tabel 4.16 Hasil Rute Titik Awal Pujon

No	Rute	Jarak (km)
1	Pujon → Batu	8,5
2	Batu → Junrejo	7,9
3	Junrejo → Sengkaling	3,2
4	Sengkaling → Karangploso	3,8
5	Karangploso → Singosari	10,9
6	Singosari → Lawang	7,6
7	Lawang → Gudang	19
8	Gudang → Jabung	18
9	Jabung → Ngantang	63
10	Ngantang → Kasembon	16,2
11	Kasembon → Pujon	34,3
	Total Jarak	192,4 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Pujon divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.4.



Gambar 4.4 Graf Rute Distribusi Titik Awal Pujon

Berdasarkan graf pada Gambar 4.4, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Pujon kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi

berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 192,4 km sehingga menunjukkan hasil yang lebih efisien dibandingkan beberapa percobaan sebelumnya.

4. Titik Awal Ngantang

Pada percobaan keempat, node Ngantang dipilih sebagai titik awal pencarian rute. Metode *Nearest Neighbor* digunakan untuk menentukan rute berdasarkan node terdekat pada setiap langkah hingga semua node berhasil dikunjungi. Tabel 4.17 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Ngantang.

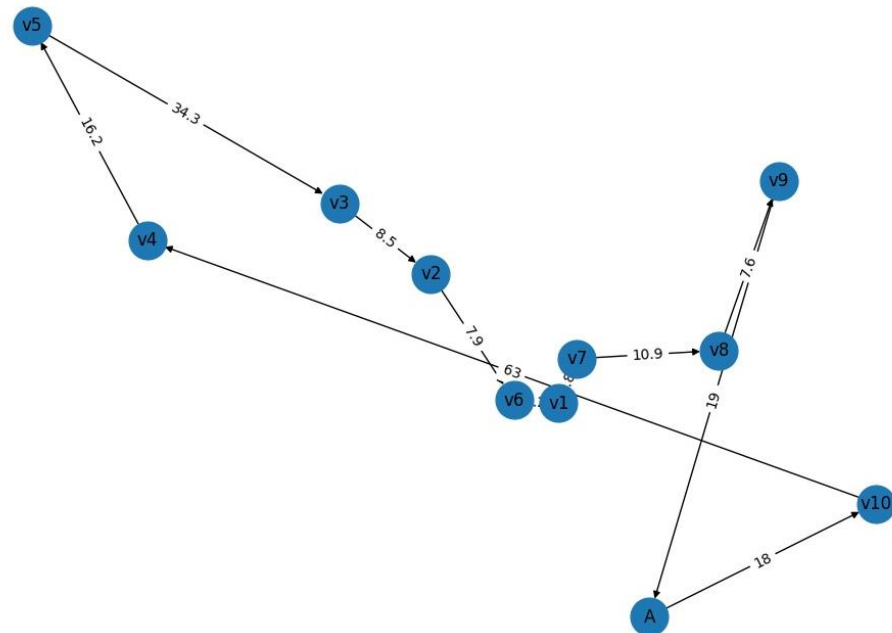
Tabel 4.17 Hasil Rute Titik Awal Ngantang

No	Rute	Jarak (km)
1	Ngantang → Kasembon	16,2
2	Kasembon → Pujon	34,3
3	Pujon → Batu	8,5
4	Batu → Junrejo	7,9
5	Junrejo → Sengkaling	3,2
6	Sengkaling → Karangploso	3,8
7	Karangploso → Singosari	10,9
8	Singosari → Lawang	7,6
9	Lawang → Gudang	19
10	Gudang → Jabung	18
11	Jabung → Ngantang	63
	Total Jarak	192,4 km

Dari hasil perhitungan diperoleh rute Ngantang → Kasembon → Pujon → Batu → Junrejo → Sengkaling → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Ngantang dengan total jarak sebesar 192,4 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa titik awal Ngantang memberikan total jarak yang sama dengan percobaan menggunakan titik awal Pujon.

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan,

jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Ngantang divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.5.



Gambar 4.5 Graf Rute Distribusi Titik Awal Ngantang

Berdasarkan graf pada Gambar 4.5, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Ngantang kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 192,4 km menunjukkan hasil yang sama dengan percobaan menggunakan titik awal Pujon.

5. Titik Awal Kasembon

Pada percobaan kelima, proses pencarian dimulai dari node Kasembon. Setiap node berikutnya dipilih berdasarkan jarak minimum dari node saat ini dengan mempertimbangkan node yang belum dikunjungi. Tabel 4.18

menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Kasembon.

Hasil yang diperoleh adalah rute Kasembon → Ngantang → Pujon → Batu → Junrejo → Sengkaling → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Kasembon dengan total jarak sebesar 192,3 km.

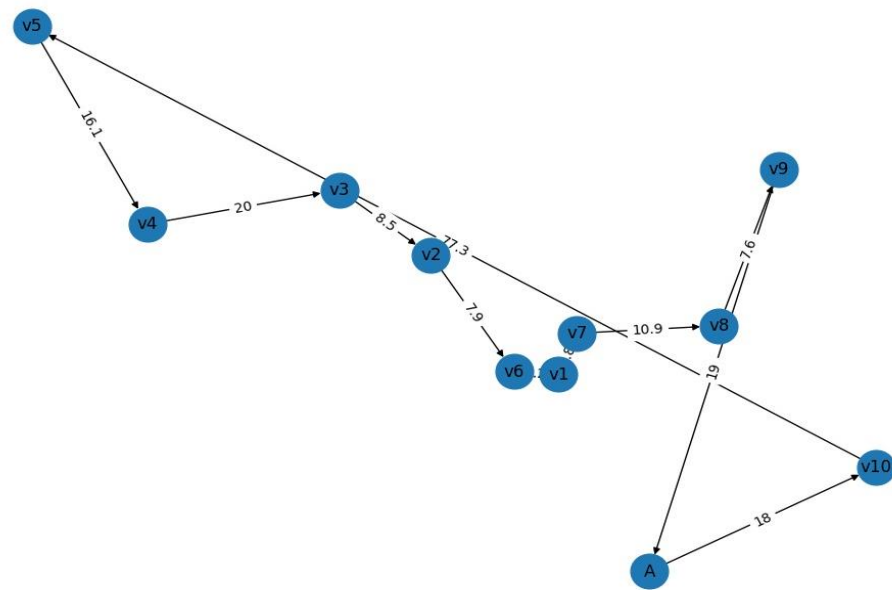
Total jarak tersebut sedikit lebih kecil dibandingkan percobaan sebelumnya sehingga menunjukkan peningkatan perbaikan rute.

Tabel 4.18 Hasil Rute Titik Awal Kasembon

No	Rute	Jarak (km)
1	Kasembon → Ngantang	16,1
2	Ngantang → Pujon	20
3	Pujon → Batu	8,5
4	Batu → Junrejo	7,9
5	Junrejo → Sengkaling	3,2
6	Sengkaling → Karangploso	3,8
7	Karangploso → Singosari	10,9
8	Singosari → Lawang	7,6
9	Lawang → Gudang	19
10	Gudang → Jabung	18
11	Jabung → Kasembon	77,3
	Total Jarak	192,3 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Kasembon divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.6.

Berdasarkan graf pada Gambar 4.6, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Kasembon kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 192,3 km sehingga menunjukkan hasil yang sedikit lebih efisien dibandingkan beberapa percobaan sebelumnya.



Gambar 4.6 Graf Rute Distribusi Titik Awal Kasembon

6. Titik Awal Junrejo

Pada percobaan keenam, node Junrejo digunakan sebagai titik awal dalam pembentukan rute distribusi. Algoritma bekerja dengan memilih node terdekat secara berturut-turut hingga seluruh node selesai dikunjungi. Tabel 4.19 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Junrejo.

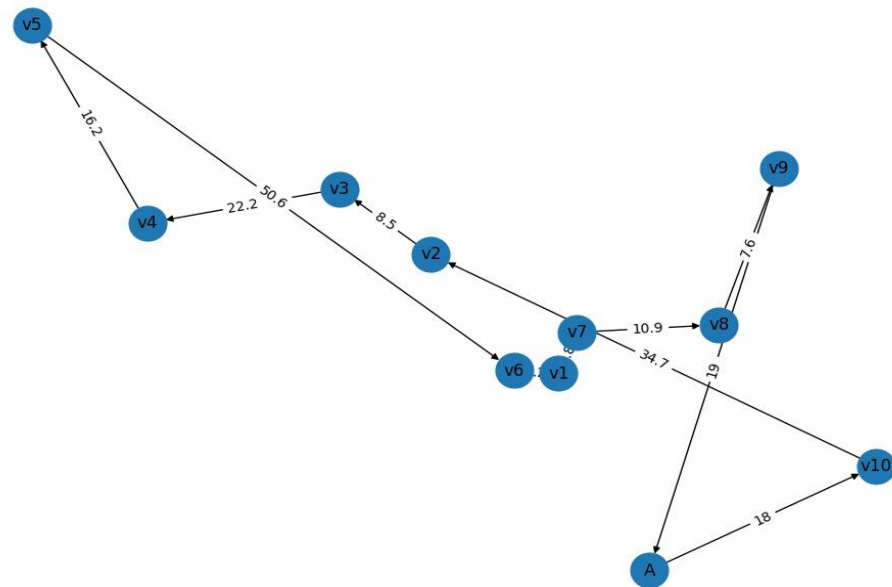
Berdasarkan hasil pengujian diperoleh rute Junrejo → Sengkaling → Karangploso → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Junrejo dengan total jarak sebesar 194,7 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan titik awal Junrejo belum menghasilkan rute yang optimal.

Tabel 4.19 Hasil Rute Titik Awal Junrejo

No	Rute	Jarak (km)
1	Junrejo → Sengkaling	3,2
2	Sengkaling → Karangploso	3,8
3	Karangploso → Singosari	10,9
4	Singosari → Lawang	7,6

5	Lawang → Gudang	19
6	Gudang → Jabung	18
7	Jabung → Batu	34,7
8	Batu → Pujon	8,5
9	Pujon → Ngantang	22,2
10	Ngantang → Kasembon	16,2
11	Kasembon → Junrejo	50,6
	Total Jarak	194,7 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Junrejo divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.7.



Gambar 4.7 Graf Rute Distribusi Titik Awal Junrejo

Berdasarkan graf pada Gambar 4.7, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Junrejo kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 194,7 km sehingga menunjukkan bahwa titik awal Junrejo belum mampu menghasilkan rute

distribusi yang optimal dibandingkan percobaan lainnya.

7. Titik Awal Karangploso

Pada percobaan ketujuh, pencarian rute dimulai dari node Karangploso. Metode *Nearest Neighbor* kemudian melakukan pemilihan node tujuan berdasarkan jarak terpendek dari node aktif pada setiap iterasi. Tabel 4.20 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Karangploso.

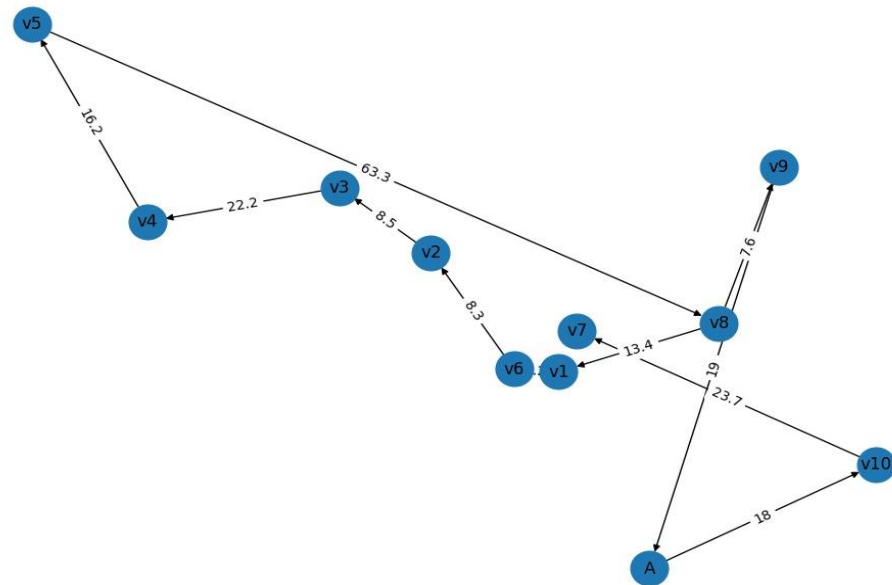
Tabel 4.20 Hasil Rute Titik Awal Karangploso

No	Rute	Jarak (km)
1	Karangploso → Sengkaling	3,8
2	Sengkaling → Junrejo	3,2
3	Junrejo → Batu	8,3
4	Batu → Pujon	8,5
5	Pujon → Ngantang	22,2
6	Ngantang → Kasembon	16,2
7	Kasembon → Singosari	63,3
8	Singosari → Lawang	7,6
9	Lawang → Gudang	19
10	Gudang → Jabung	18
11	Jabung → Karangploso	23,7
	Total Jarak	193,8 km

Hasil perhitungan menghasilkan rute Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Singosari → Lawang → Gudang → Jabung → Karangploso dengan total jarak sebesar 193,8 km. Total jarak menunjukkan bahwa titik awal Karangploso menghasilkan rute yang cukup efisien meskipun belum menjadi solusi terbaik.

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Karangploso divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.8. Berdasarkan graf pada Gambar 4.8, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Karangploso kemudian mengunjungi node terdekat secara

bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 193,8 km sehingga termasuk rute yang cukup efisien.



Gambar 4.8 Graf Rute Distribusi Titik Awal Karangploso

8. Titik Awal Singosari

Pada percobaan kedelapan, node Singosari dipilih sebagai titik awal pencarian rute distribusi. Proses iterasi dilakukan hingga seluruh node berhasil dikunjungi satu kali dan kembali menuju titik awal. Tabel 4.21 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Singosari.

Dari hasil pengujian diperoleh rute Singosari → Lawang → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang → Jabung → Singosari dengan total jarak sebesar 185,2 km.

Hasil tersebut menunjukkan penurunan total jarak yang cukup signifikan

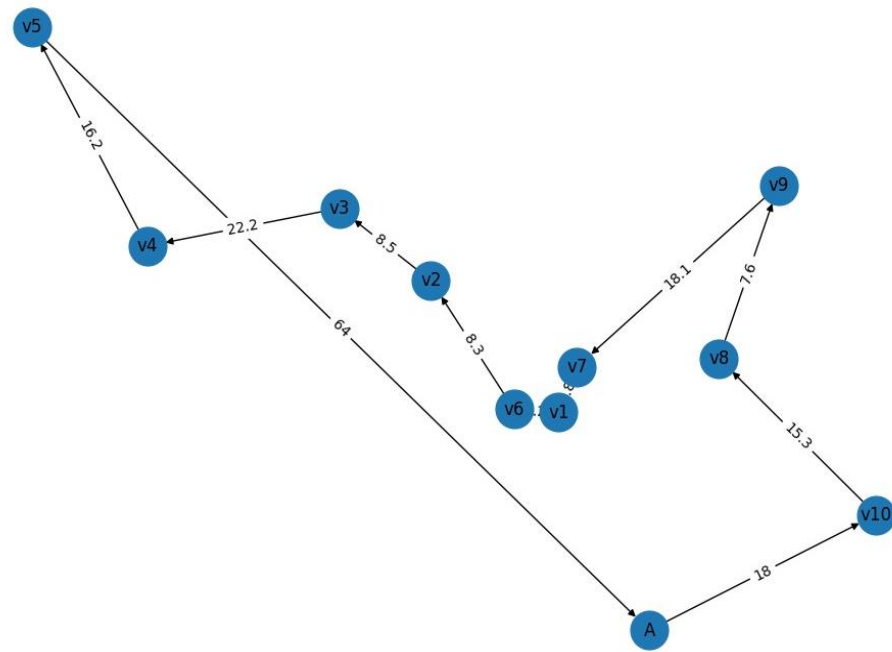
dibandingkan sebagian besar percobaan sebelumnya.

Tabel 4.21 Hasil Rute Titik Awal Singosari

No	Rute	Jarak (km)
1	Singosari → Lawang	7,6
2	Lawang → Karangploso	18,1
3	Karangploso → Sengkaling	3,8
4	Sengkaling → Junrejo	3,2
5	Junrejo → Batu	8,3
6	Batu → Pujon	8,5
7	Pujon → Ngantang	22,2
8	Ngantang → Kasembon	16,2
9	Kasembon → Gudang	64
10	Gudang → Jabung	18
11	Jabung → Singosari	15,3
	Total Jarak	185,2 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Singosari divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.9.

Berdasarkan graf pada Gambar 4.9, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Singosari kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 185,2 km sehingga menunjukkan hasil yang lebih efisien dibandingkan sebagian besar percobaan sebelumnya.



Gambar 4.9 Graf Rute Distribusi Titik Awal Singosari

9. Titik Awal Lawang

Pada percobaan kesembilan, node Lawang digunakan sebagai titik awal pencarian rute. Metode *Nearest Neighbor* secara bertahap memilih node dengan jarak terdekat hingga seluruh lokasi berhasil dikunjungi dan kembali ke titik awal. Tabel 4.22 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Lawang.

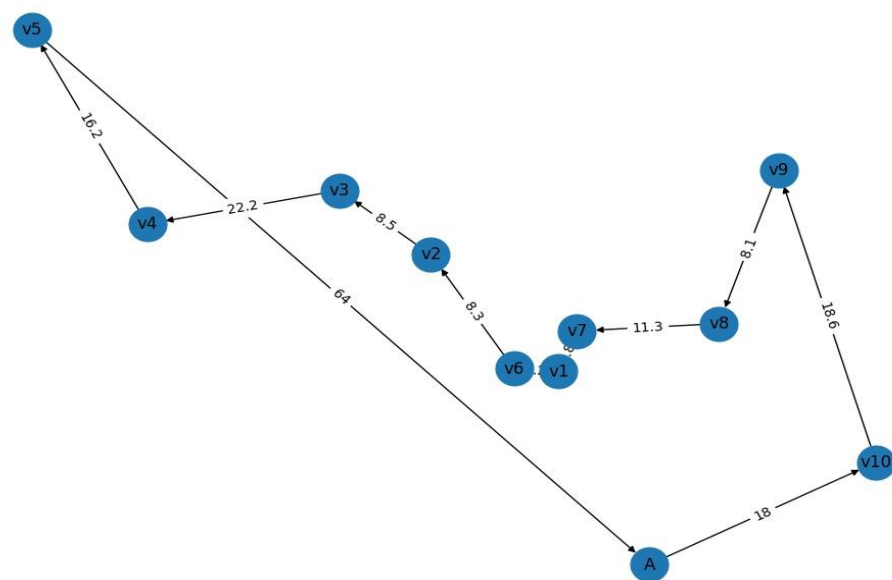
Hasil perhitungan menunjukkan rute Lawang → Singosari → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang → Jabung → Lawang dengan total jarak sebesar 182,2 km. Berdasarkan seluruh percobaan yang dilakukan, hasil ini merupakan rute terbaik karena menghasilkan total jarak paling minimum.

Tabel 4.22 Hasil Rute Titik Awal Lawang

No	Rute	Jarak (km)
----	------	------------

1	Lawang → Singosari	8,1
2	Singosari → Karangploso	11,3
3	Karangploso → Sengkaling	3,8
4	Sengkaling → Junrejo	3,2
5	Junrejo → Batu	8,3
6	Batu → Pujon	8,5
7	Pujon → Ngantang	22,2
8	Ngantang → Kasembon	16,2
9	Kasembon → Gudang	64
10	Gudang → Jabung	18
11	Jabung → Lawang	18,6
	Total Jarak	182,2 km

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan, jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Lawang divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.10.



Gambar 4.10 Graf Rute Distribusi Titik Awal Lawang

Berdasarkan graf pada Gambar 4.10, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Lawang kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi.

Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 182,2 km dan menjadi rute terbaik dari seluruh percobaan karena menghasilkan total jarak paling minimum.

10. Titik Awal Jabung

Pada percobaan kesepuluh, node Jabung dijadikan sebagai titik awal dalam proses pencarian rute distribusi. Algoritma *Nearest Neighbor* kemudian menentukan rute dengan memilih node terdekat yang belum dikunjungi pada setiap langkah. Tabel 4.23 menunjukkan hasil rute yang diperoleh dengan titik awal Jabung.

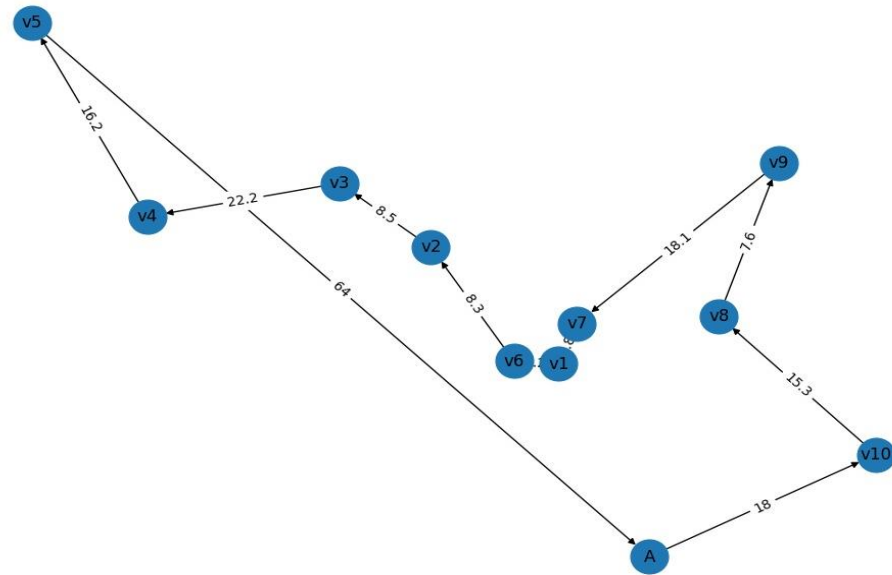
Tabel 4.23 Hasil Rute Titik Awal Jabung

No	Rute	Jarak (km)
1	Jabung → Singosari	15,3
2	Singosari → Lawang	7,6
3	Lawang → Karangploso	18,1
4	Karangploso → Sengkaling	3,8
5	Sengkaling → Junrejo	3,2
6	Junrejo → Batu	8,3
7	Batu → Pujon	8,5
8	Pujon → Ngantang	22,2
9	Ngantang → Kasembon	16,2
10	Kasembon → Gudang	64
11	Gudang → Jabung	18
	Total Jarak	185,2 km

Hasil pengujian menghasilkan rute Jabung → Singosari → Lawang → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang → Jabung dengan total jarak sebesar 185,2 km. Nilai tersebut menunjukkan bahwa titik awal Jabung mampu menghasilkan rute yang cukup baik dan memiliki total jarak yang sama dengan percobaan menggunakan titik awal Singosari.

Untuk memperjelas urutan perjalanan kendaraan pada rute yang dihasilkan,

jalur distribusi hasil perhitungan metode *Nearest Neighbor* dengan titik awal Jabung divisualisasikan dalam bentuk graf berarah pada Gambar 4.11.



Gambar 4.11 Graf Rute Distribusi Titik Awal Jabung

Berdasarkan graf pada Gambar 4.11, terlihat bahwa kendaraan memulai perjalanan dari Jabung kemudian mengunjungi node terdekat secara bertahap sesuai prinsip metode *Nearest Neighbor* hingga seluruh titik distribusi berhasil dikunjungi dan kembali menuju titik awal. Arah panah pada graf menunjukkan urutan perjalanan kendaraan antar lokasi distribusi. Rute yang dihasilkan memiliki total jarak sebesar 185,2 km sehingga menunjukkan hasil yang cukup efisien dan sama dengan percobaan menggunakan titik awal Singosari.

4.4 Hasil Pengujian Seluruh Titik Awal

Berdasarkan perhitungan manual *Multi-Start Nearest Neighbor* yang telah dilakukan pada Subbab 4.3.2, diperoleh beberapa alternatif rute distribusi dengan total jarak yang berbeda untuk setiap titik awal. Perbedaan tersebut menunjukkan

bahwa pemilihan node awal memengaruhi urutan kunjungan dan total jarak rute yang dihasilkan oleh metode *Nearest Neighbor*.

Pada penelitian ini, seluruh node distribusi digunakan sebagai titik awal pencarian rute, yaitu Gudang, Sengkaling, Batu, Pujon, Ngantang, Kasembon, Junrejo, Karangploso, Singosari, Lawang, dan Jabung. Setiap percobaan menghasilkan rute distribusi dan total jarak tempuh yang selanjutnya dibandingkan untuk menentukan solusi terbaik.

Rekapitulasi hasil pengujian untuk seluruh titik awal disajikan pada Tabel 4.24. Tabel tersebut menunjukkan rute yang dihasilkan beserta total jarak tempuh pada masing-masing titik awal sehingga dapat diketahui titik awal yang menghasilkan rute distribusi paling optimal.

Tabel 4.24 Total Jarak Setiap Titik Awal

No	Titik Awal	Total Jarak (km)	Keterangan
1	Gudang	192,1	-
2	Sengkaling	197,2	-
3	Batu	194,5	-
4	Pujon	192,4	-
5	Ngantang	192,4	-
6	Kasembon	192,3	-
7	Junrejo	194,7	-
8	Karangploso	193,8	-
9	Singosari	185,2	Salah satu rute terbaik
10	Lawang	182,2	Rute terbaik
11	Jabung	185,2	Salah satu rute terbaik

Berdasarkan hasil pengujian diperoleh bahwa setiap titik awal menghasilkan total jarak yang berbeda. Hal tersebut menunjukkan bahwa metode *Nearest Neighbor* sangat dipengaruhi oleh pemilihan titik awal karena algoritma bekerja secara *greedy* dengan memilih node terdekat pada setiap langkah tanpa mempertimbangkan kondisi global keseluruhan rute. Dari seluruh percobaan yang dilakukan, titik awal Lawang menghasilkan total jarak paling minimum yaitu

sebesar 182,2 *km* sehingga dipilih sebagai rute terbaik pada penelitian ini. Selain itu, titik awal Singosari dan Jabung juga menghasilkan total jarak yang relatif kecil yaitu sebesar 185,2 *km*. Sementara itu, titik awal Sengkaling menghasilkan total jarak terbesar yaitu 197,2 *km*. Dengan demikian, berdasarkan dataset penelitian ini, pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* menghasilkan rute terbaik dengan total jarak yang lebih pendek dibandingkan algoritma *Nearest Neighbor* dengan titik awal Gudang.

Perbedaan total jarak pada setiap percobaan terjadi karena metode *Nearest Neighbor* bekerja secara *greedy*, yaitu selalu memilih node terdekat pada setiap langkah perjalanan. Akibatnya, urutan kunjungan node dapat berbeda tergantung titik awal yang digunakan. Melalui pendekatan *Multi-Start*, penelitian ini dapat menghasilkan beberapa alternatif rute distribusi sehingga solusi yang diperoleh menjadi lebih baik dibandingkan penggunaan satu titik awal saja. Namun demikian, hasil dengan total jarak terkecil pada penelitian ini merupakan solusi terbaik berdasarkan pengujian metode *Multi-Start Nearest Neighbor* dan tidak secara langsung menjamin sebagai solusi optimal global.

4.5 Analisis dan Pembahasan Hasil

Berdasarkan hasil pengujian yang telah dilakukan menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*, diperoleh variasi total jarak pada setiap titik awal pencarian. Perbedaan hasil tersebut menunjukkan bahwa pemilihan node awal memberikan pengaruh terhadap kualitas rute yang dihasilkan oleh algoritma. Selain itu, dilakukan analisis juga dilakukan terhadap pola perjalanan yang terbentuk pada setiap percobaan untuk mengetahui faktor-faktor yang

menyebabkan suatu rute menghasilkan total jarak lebih besar maupun lebih kecil.

Hasil analisis tersebut disajikan pada Tabel 4.25 berikut.

Tabel 4.25 Analisis Hasil Pengujian *Multi-Start Nearest Neighbor*

No	Titik Awal	Selisih terhadap Rute Terbaik (km)	Analisis
1	Gudang	9,9	Menghasilkan rute yang cukup baik, namun pada tahap akhir perjalanan terjadi perpindahan jarak yang relatif jauh menuju Jabung sehingga total jarak meningkat.
2	Sengkaling	15,0	Merupakan hasil dengan total jarak terbesar. Pemilihan node pada tahap awal menyebabkan rute akhir menjadi kurang efisien dan menghasilkan perjalanan lebih panjang.
3	Batu	12,3	Rute yang dihasilkan cukup teratur, tetapi terdapat perpindahan node yang menyebabkan jarak distribusi menjadi lebih besar dibandingkan rute terbaik.
4	Pujon	10,2	Menghasilkan rute yang relatif efisien karena pola perjalanan mengikuti kedekatan wilayah bagian barat sebelum menuju node lainnya.
5	Ngantang	10,2	Memiliki pola perjalanan yang hampir sama dengan titik awal Pujon sehingga menghasilkan total jarak yang identik.
6	Kasembon	10,1	Memberikan hasil yang cukup baik karena node wilayah barat dikunjungi secara berurutan sebelum menuju wilayah tengah dan timur.
7	Junrejo	12,5	Pada tahap akhir perjalanan terdapat rute cukup panjang menuju Kasembon sehingga total jarak meningkat.
8	Karangploso	11,6	Algoritma mampu membentuk jalur berdasarkan kedekatan lokasi, namun perpindahan menuju wilayah timur masih menghasilkan tambahan jarak cukup besar.
9	Singosari	3,0	Menghasilkan salah satu rute terbaik karena posisi Singosari berada pada area strategis yang dekat dengan beberapa node lain.
10	Lawang	0,0	Merupakan rute terbaik dengan pola perjalanan paling efisien. Perjalanan mengikuti urutan node yang berdekatan sehingga meminimalkan perpindahan jarak jauh.
11	Jabung	3,0	Memberikan hasil yang cukup optimal karena jalur perjalanan terbentuk secara teratur menuju node-node yang berdekatan.

Dapat diketahui bahwa metode *Multi-Start Nearest Neighbor* menghasilkan variasi total jarak pada setiap titik awal pencarian. Variasi tersebut terjadi karena metode *Nearest Neighbor* menggunakan pendekatan *greedy*, yaitu memilih node terdekat pada setiap langkah tanpa mempertimbangkan keseluruhan struktur rute

secara global. Akibatnya, keputusan lokal yang terlihat optimal pada tahap awal belum tentu menghasilkan total jarak minimum pada akhir perjalanan.

Hasil terbaik diperoleh pada titik awal Lawang dengan total jarak sebesar 182,2 *km*. Hal ini menunjukkan bahwa posisi Lawang cukup strategis karena memiliki kedekatan jarak dengan beberapa node lain seperti Singosari dan Karangploso sehingga algoritma dapat membentuk jalur distribusi yang lebih teratur dan efisien. Selain itu, pola perjalanan yang dihasilkan juga mampu meminimalkan perpindahan jarak jauh antar wilayah.

Berdasarkan hasil pengujian, rute aktual memiliki total jarak sebesar 184,5 *km*, sedangkan metode *Nearest Neighbor (NN)* biasa menghasilkan total jarak sebesar 192,1 *km*, dan *Multi-Start Nearest Neighbor* menghasilkan rute terbaik sebesar 182,2 *km*. Secara matematis, tingkat perbaikan rute masing-masing metode dapat dibandingkan terhadap rute aktual sebagai acuan.

Jika rute aktual dijadikan acuan pembandingan, maka tingkat perbaikan *Multi-Start Nearest Neighbor* dapat dihitung sebagai:

$$\frac{184,5 - 182,2}{184,5} \times 100\% \approx 1,25\%$$

Artinya, metode *Multi-Start Nearest Neighbor* mampu memberikan solusi yang lebih baik dengan penghematan jarak sekitar 1,25% dibandingkan rute aktual.

Sebaliknya, metode *NN* biasa menghasilkan jarak yang lebih besar dari rute aktual, sehingga terjadi penurunan sebesar:

$$\frac{192,1-184,5}{184,5} \times 100\% \approx 4,12\%$$

Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa *Multi-Start Nearest Neighbor* memberikan kinerja terbaik dalam penelitian ini karena menghasilkan total jarak paling minimum dibandingkan *NN* standar maupun rute aktual. Hal ini menunjukkan bahwa *Multi-Start Nearest Neighbor* merupakan metode yang paling efektif dalam penelitian ini karena mampu menghasilkan rute yang lebih pendek dibandingkan rute aktual maupun *NN* standar, dengan selisih jarak paling minimum terhadap solusi terbaik. Berdasarkan seluruh hasil pengujian, dapat dilihat bahwa node-node yang berada pada wilayah tengah seperti Lawang, Singosari, dan Jabung cenderung menghasilkan rute yang lebih baik dibandingkan node lainnya. Hal tersebut disebabkan lokasi node tersebut memiliki keterhubungan yang relatif dekat dengan sebagian besar titik distribusi sehingga perjalanan dapat dilakukan secara lebih efisien.

Penggunaan pendekatan *Multi-Start* pada penelitian ini terbukti mampu meningkatkan kualitas solusi dibandingkan penggunaan satu titik awal saja. Dengan melakukan pencarian dari seluruh node awal, peluang menemukan rute dengan total jarak minimum menjadi lebih besar. Oleh karena itu, pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* dapat digunakan sebagai metode alternatif yang efektif dalam menyelesaikan permasalahan penentuan rute distribusi barang karena memiliki proses perhitungan yang sederhana, cepat, dan mampu menghasilkan solusi yang cukup baik.

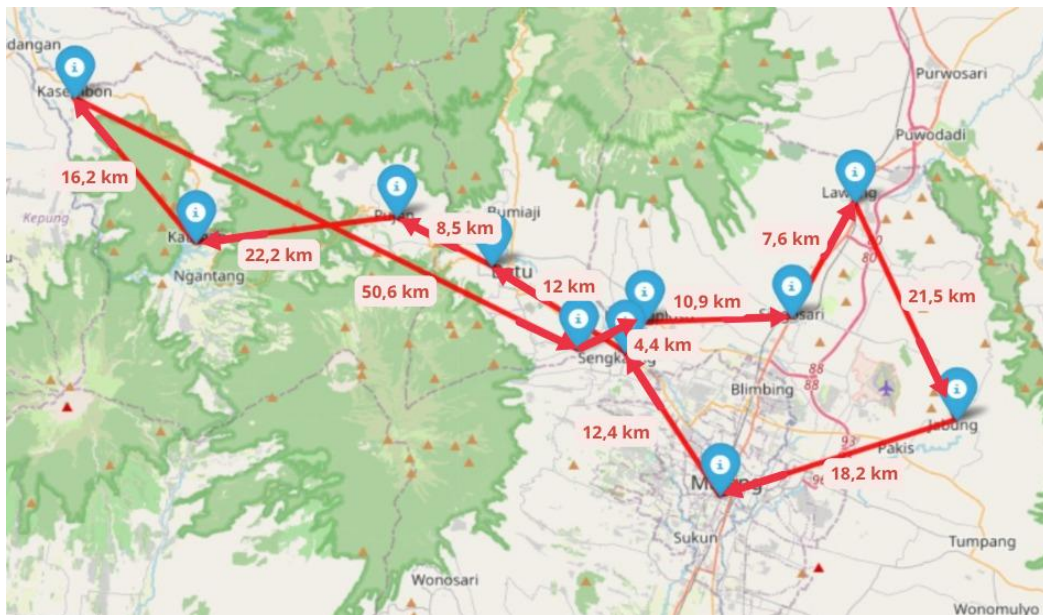
Walaupun hasil terbaik diperoleh pada percobaan dengan titik awal Lawang, dalam implementasi distribusi rute tetap disesuaikan dengan kondisi operasional sebenarnya, yaitu kendaraan berangkat dan berakhir di Gudang sebagai depot utama distribusi. Oleh karena itu, rute hasil algoritma dapat direpresentasikan ulang dengan memulai perjalanan dari Gudang tanpa mengubah urutan siklus rute yang telah diperoleh. Dengan demikian, rute Lawang → Singosari → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang → Jabung → Lawang dapat dituliskan kembali menjadi Gudang → Jabung → Lawang → Singosari → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang. Perubahan tersebut tidak memengaruhi total jarak perjalanan karena pada dasarnya rute Traveling Salesman Problem berbentuk siklus tertutup (*cycle*), sehingga titik awal perjalanan dapat dipindahkan ke node mana pun dalam siklus yang sama.”

Dalam permasalahan *Traveling Salesman Problem (TSP)*, rute yang dihasilkan bersifat *circular route* atau rute siklik. Oleh karena itu, pemilihan node awal hanya digunakan untuk proses pencarian solusi pada algoritma, sedangkan implementasi rute distribusi dapat disesuaikan dengan depot operasional, yaitu Gudang.

4.6 Visualisasi Rute Terbaik

Berdasarkan hasil observasi, rute aktual distribusi yang digunakan sebelumnya masih disusun secara manual berdasarkan kebiasaan perjalanan dan urutan pengiriman tanpa menggunakan metode optimasi rute. Kondisi tersebut menyebabkan jalur distribusi belum mempertimbangkan jarak terpendek secara

keseluruhan sehingga masih terdapat kemungkinan perpindahan antar lokasi yang kurang efektif. Selain itu, urutan kunjungan pada rute aktual belum sepenuhnya memperhatikan kedekatan geografis antar wilayah distribusi, sehingga total jarak perjalanan menjadi lebih besar. Oleh karena itu, diperlukan proses optimasi menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* untuk memperoleh rute distribusi yang lebih efisien dengan total jarak tempuh yang lebih minimum.

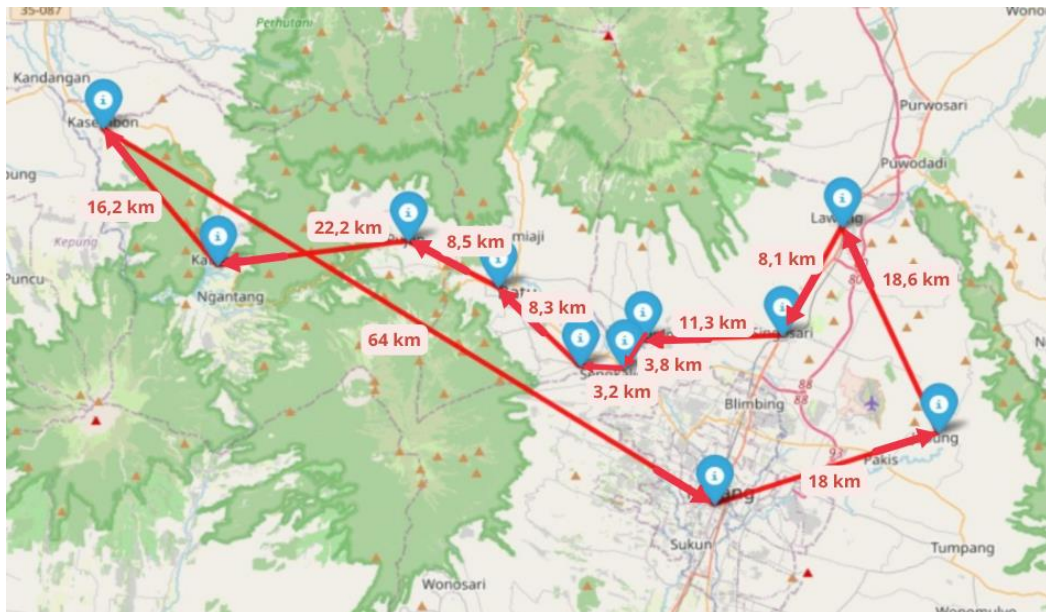


Gambar 4.12 Distribusi Rute Aktual

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, penerapan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* menunjukkan adanya peningkatan perbaikan rute distribusi dibandingkan rute aktual yang digunakan sebelumnya. Rute aktual distribusi umumnya ditentukan berdasarkan kebiasaan perjalanan kurir atau urutan pengiriman secara manual tanpa menggunakan pendekatan optimasi matematis. Kondisi tersebut menyebabkan rute distribusi belum tentu memiliki total jarak minimum sehingga perjalanan menjadi kurang efisien. Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*, diperoleh rute distribusi yang lebih terstruktur berdasarkan kedekatan jarak antar lokasi sehingga total

perjalanan dapat diminimalkan.

Hasil optimasi menunjukkan bahwa rute terbaik diperoleh pada percobaan dengan titik awal Lawang dengan total jarak sebesar 182,2 km. Jika dibandingkan dengan beberapa hasil percobaan lain, rute tersebut memiliki total jarak paling kecil sehingga dipilih sebagai solusi terbaik pada penelitian ini. Selain itu, apabila dibandingkan dengan rute aktual distribusi, hasil optimasi menunjukkan pola perjalanan yang lebih sistematis karena perpindahan antar node dilakukan berdasarkan kedekatan geografis. Hal tersebut membuat kendaraan distribusi tidak melakukan perpindahan jarak jauh secara berulang yang dapat meningkatkan total perjalanan.



Gambar 4.13 Distribusi Rute Titik Awal Lawang

Sebelum dilakukan optimasi, proses distribusi cenderung belum mempertimbangkan perbaikan rute secara keseluruhan sehingga memungkinkan terjadinya pengulangan jalur atau perpindahan node yang kurang efektif. Setelah dilakukan optimasi menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor*, rute distribusi berhasil disusun menjadi lebih efisien dengan pola perjalanan yang lebih

terarah. Node-node yang berada pada wilayah berdekatan seperti Lawang, Singosari, Karangploso, dan Sengkaling dikunjungi secara berurutan sehingga mampu mengurangi jarak tempuh kendaraan.

Selain menghasilkan pengurangan total jarak, optimasi rute juga memberikan dampak terhadap ketepatan operasional distribusi. Semakin kecil total jarak perjalanan, maka waktu distribusi, konsumsi bahan bakar, dan biaya operasional kendaraan juga dapat ditekan. Dengan demikian, penerapan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* tidak hanya membantu menentukan rute distribusi yang lebih baik, tetapi juga dapat meningkatkan efektivitas dan efisiensi proses distribusi barang secara keseluruhan.

Berdasarkan perbandingan tersebut, dapat disimpulkan bahwa penggunaan metode optimasi rute memberikan hasil yang lebih baik dibandingkan metode distribusi aktual. Pendekatan *Multi-Start Nearest Neighbor* terbukti mampu menghasilkan rute distribusi dengan total jarak yang lebih minimum melalui proses pencarian dari berbagai titik awal sehingga peluang memperoleh solusi terbaik menjadi lebih besar.

4.7 Kelebihan dan Keterbatasan Metode

Metode *Multi-Start Nearest Neighbor* yang digunakan pada penelitian ini memiliki beberapa kelebihan dalam penyelesaian permasalahan *Asymmetric Traveling Salesman Problem* untuk optimasi rute distribusi. Salah satu kelebihan utama metode ini adalah proses perhitungan yang relatif cepat karena algoritma bekerja dengan memilih node terdekat pada setiap langkah tanpa memerlukan proses pencarian seluruh kemungkinan rute. Selain itu, metode ini memiliki

konsep yang sederhana sehingga mudah dipahami dan diterapkan pada permasalahan distribusi nyata. Implementasi algoritma juga tidak memerlukan sumber daya komputasi yang besar sehingga cocok digunakan untuk proses optimasi rute dengan jumlah node menengah. Penggunaan pendekatan *Multi-Start* turut meningkatkan kualitas solusi karena pencarian dilakukan dari berbagai titik awal, sehingga peluang memperoleh rute dengan total jarak lebih minimum menjadi lebih besar dibandingkan metode *Nearest Neighbor* tunggal.

Meskipun demikian, metode *Multi-Start Nearest Neighbor* juga memiliki beberapa keterbatasan. Metode ini sangat sensitif terhadap pemilihan titik awal karena setiap node awal dapat menghasilkan rute dan total jarak yang berbeda. Selain itu, algoritma *Nearest Neighbor* menggunakan pendekatan *greedy* yang hanya berfokus pada solusi lokal terbaik pada setiap langkah, sehingga tidak dapat menjamin diperolehnya solusi optimum global. Pada beberapa kondisi, pemilihan node terdekat pada tahap awal justru dapat menyebabkan rute yang kurang efisien pada tahap akhir perjalanan. Hasil optimasi juga sangat bergantung pada kualitas dan akurasi data jarak yang digunakan. Jika data jarak berubah akibat kondisi jalan, kemacetan, atau perubahan rute lalu lintas, maka hasil rute optimasi yang diperoleh juga dapat berbeda. Oleh karena itu, meskipun metode ini efektif digunakan untuk optimasi rute distribusi, hasil yang diperoleh tetap perlu disesuaikan dengan kondisi operasional di lapangan.

4.8 Integrasi Nilai-Nilai Islam dalam Perbaikan Rute Distribusi

Distribusi barang pada penelitian ini difokuskan pada perbaikan rute perjalanan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-*

Start pada permasalahan *Asymmetric Travelling Salesman Problem*. Metode ini digunakan untuk menghasilkan rute distribusi yang lebih optimal dengan tujuan meminimalkan total jarak tempuh dari gudang ke seluruh titik distribusi. Dengan demikian, hasil perhitungan diharapkan dapat memberikan jalur perjalanan yang lebih efisien dibandingkan rute awal. Upaya perbaikan rute ini juga mencerminkan pentingnya pengelolaan perjalanan secara tepat dan bertanggung jawab dalam pelaksanaan distribusi.

QS. An-Nisa ayat 58 yang menegaskan bahwa amanah harus disampaikan kepada yang berhak dan setiap keputusan harus dilakukan secara adil. Dalam konteks distribusi, hal ini berarti setiap barang harus dikirim dengan tepat, tidak terjadi keterlambatan, serta dilakukan dengan penuh tanggung jawab kepada seluruh titik distribusi. Proses distribusi barang dilakukan melalui beberapa tahapan analisis data untuk perbaikan rute distribusi sebagai berikut:

1. Pembuatan graf berarah berbobot berdasarkan matriks jarak antar lokasi.
2. Penerapan algoritma *Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-Start*.
3. Melakukan iterasi dari beberapa titik awal berbeda untuk memperoleh beberapa alternatif rute.
4. Pemilihan rute dengan total jarak paling minimum sebagai hasil perbaikan rute distribusi.
5. Visualisasi rute distribusi dalam bentuk graf dan peta lokasi.

Menurut hasil perhitungan menggunakan algoritma *Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-Start*, diperoleh rute perbaikan distribusi sebagai berikut:

$$A \rightarrow v_{10} \rightarrow v_9 \rightarrow v_8 \rightarrow v_7 \rightarrow v_1 \rightarrow v_6 \rightarrow v_2 \rightarrow v_3 \rightarrow v_4 \rightarrow v_5 \rightarrow A$$

Dengan total jarak 182.2 km yang lebih baik dibandingkan rute aktual distribusi dengan total jarak 184.5 km maupun rute hasil algoritma *Nearest Neighbor* biasa. Perbaikan ini menunjukkan adanya pengurangan jarak tempuh sehingga waktu perjalanan dan biaya operasional dapat ditekan.

Hadis Rasulullah SAW juga menegaskan pentingnya kemudahan dalam urusan sesama manusia. Dengan sistem yang lebih baik, perusahaan dapat menekan biaya operasional sekaligus meningkatkan kualitas pelayanan kepada pelanggan. Dengan demikian, penerapan algoritma *Nearest Neighbor* dengan pendekatan *Multi-Start* dalam penelitian ini tidak hanya mencerminkan upaya perbaikan sistem distribusi secara matematis, tetapi juga memiliki nilai moral dan ajaran Islam yang kuat, yaitu amanah, ketepatan, dan tanggung jawab dalam menjalankan proses distribusi barang.

BAB V PENUTUP

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses perbaikan rute distribusi barang menggunakan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem* dilakukan dengan menjalankan algoritma *Nearest Neighbor* dari beberapa titik awal yang berbeda. Setiap titik awal menghasilkan rute dan total jarak yang berbeda karena algoritma menggunakan pendekatan *greedy* dalam memilih lokasi terdekat pada setiap langkah perjalanan. Dari 11 percobaan yang dilakukan, diperoleh rute terbaik dengan titik awal Lawang dan total jarak sebesar 182,2 km, yaitu Gudang → Jabung → Lawang → Singosari → Karangploso → Sengkaling → Junrejo → Batu → Pujon → Ngantang → Kasembon → Gudang. Rute tersebut dipilih karena memiliki total jarak paling minimum dibandingkan rute hasil percobaan lainnya.
2. Pendekatan *Multi-Start* pada algoritma *Nearest Neighbor* mampu menghasilkan rute distribusi yang lebih baik dibandingkan *Nearest Neighbor* standar maupun rute aktual perusahaan. Rute terbaik yang diperoleh memiliki total jarak sebesar 182,2 km, lebih pendek dibandingkan hasil *Nearest Neighbor* standar dengan total jarak sebesar 192,1 km dan total jarak rute aktual sebesar 184,5 km. Hasil tersebut menunjukkan bahwa *Multi-Start Nearest Neighbor* mampu memperbaiki hasil rute aktual dengan menghasilkan tingkat perbaikan sebesar 1,25%. Selain itu, metode

ini memiliki proses perhitungan yang sederhana, mudah diterapkan, dan waktu komputasi yang relatif cepat, meskipun belum dapat menjamin diperolehnya solusi optimum global.

5.2 Saran

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, terdapat beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya.

1. Penelitian selanjutnya dapat menggunakan metode optimasi lain seperti *Genetic Algorithm*, *Ant Colony Optimization*, *Simulated Annealing*, atau algoritma *hybrid* untuk dibandingkan dengan metode *Multi-Start Nearest Neighbor* sehingga dapat diperoleh hasil optimasi yang lebih baik.
2. Data jarak pada penelitian selanjutnya dapat dikembangkan menggunakan data real-time seperti kondisi kemacetan, waktu tempuh, atau kepadatan lalu lintas sehingga hasil bisa menjadi lebih sesuai dengan kondisi lapangan.
3. Penelitian berikutnya dapat menambahkan faktor lain dalam proses optimasi, seperti kapasitas kendaraan, waktu pengiriman, biaya operasional, maupun jumlah permintaan pada setiap lokasi distribusi.
4. Sistem optimasi rute dapat dikembangkan dalam bentuk aplikasi berbasis web atau mobile agar proses pencarian rute distribusi dapat dilakukan secara otomatis dan lebih mudah digunakan oleh pihak operasional distribusi.
5. Penelitian ini masih menggunakan pendekatan heuristic sehingga solusi yang diperoleh belum tentu merupakan solusi optimum global. Oleh karena itu, diperlukan pengembangan metode atau kombinasi algoritma lain untuk meningkatkan kualitas solusi optimasi rute distribusi.

DAFTAR PUSTAKA

- Chartrand, G., Lesniak, L., & Zhang, P. (2016). *Graphs & Digraphs* (6th ed.). *CRC Press*.
- Cormen, T. H., Leiserson, C. E., Rivest, R. L., & Stein, C. (2022). *Introduction to algorithms* (4th ed.). *The MIT Press*.
- Departemen Agama Republik Indonesia. *Al-Qur'an dan Terjemahannya*. *Jakarta: Departemen Agama RI*.
- Fitriya, N., dkk. (2024). Penerapan algoritma *Nearest Neighbor* pada penyelesaian traveling salesman problem. *Jurnal Komputasi*, 12(1), 15–25.
- Gutin, G., & Punnen, A. P. (2007). *The traveling salesman problem and its variations*. *Springer*.
- Hasugian, M. (2015). Penerapan teori graf dalam optimasi rute distribusi barang.
- Maro, D., & Purab, M. (2021). Peran matematika dalam pemecahan masalah kompleks. *Jurnal Pendidikan Matematika*, 5(1), 1–10.
- Martono, S., dkk. (2020). Optimasi rute distribusi menggunakan algoritma *Nearest Neighbor*. *Jurnal Informatika Terapan*, 8(2), 55–63.
- Morihito, T., dkk. (2017). *Graph theory and its applications in network analysis*.
- Munir, R. (2012). *Matematika diskrit* (Edisi revisi). *Informatika*.
- Muslim bin al-Hajjaj. *Shahih Muslim*. *Beirut: Dar Ihya' at-Turats al-'Arabi*.
- Nurdianti, R. (2020). Penerapan teori graf dalam pencarian lintasan terpendek. *Jurnal Matematika*, 4(1), 23–30.
- Pratama, B., & Nugroho, R. (2022). Strategi peningkatan kualitas solusi pada metode *heuristik* melalui *Multi-Start* approach.
- Rahman, A., & Saputri, D. (2021). *Multi-Start* optimization approach for

combinatorial problems.

Samosir, J., dkk. (2024). Efektivitas algoritma *Nearest Neighbor* dalam optimasi rute distribusi. *Jurnal Sistem Cerdas*, 9(1), 33–42.

Saputra, R., dkk. (2023). Optimasi rute distribusi menggunakan model asymmetric traveling salesman problem.

Sari, D., & Kurniawan, A. (2022). Penerapan *Asymmetric Traveling Salesman Problem* dalam optimasi rute distribusi barang.

Siang, J. J. (2009). Matematika diskrit dan aplikasinya pada ilmu komputer. *Andi*.

Talbi, E. G. (2009). Metaheuristics: From Design to Implementation. *John Wiley & Sons*.

Wang, X., Zhang, Y., & Liu, H. (2023). Discrete mayfly algorithm for spherical asymmetric traveling salesman problem. *Expert Systems with Applications*, 223, 119878.

LAMPIRAN

Lampiran A. Script Program

Lampiran A.1 Script Program MSNN Seluruh Titik Awal

```
import numpy as np

# =====
# DATA MATRIX
# =====
dist = np.array([
    [0,12.4,21.5,29.9,49.9,64.2,14.2,14.5,11.8,19.3,18],
    [11.5,0,12,18.6,38.5,52.8,3.2,3.8,12.7,20.1,21.8],
    [21.3,9.8,0,8.5,28.4,42.7,7.9,10.9,20.6,28.1,31.6],
    [29.7,18.2,8.5,0,22.2,34.3,16.3,19.3,29,36.5,40],
    [50,38.2,28.4,20,0,16.2,36.2,39.3,49,56.4,60.3],
    [64,52.5,42.7,34.3,16.1,0,50.6,53.6,63.3,70.7,74.2],
    [14.7,3.2,8.3,16.6,36.6,50.9,0,4.4,14.8,22.2,25],
    [14.1,3.8,11.3,19.7,39.6,53.9,4.3,0,10.9,18,23.5],
    [12.2,13.4,22.2,30.6,50.6,64.9,15.6,11.3,0,7.6,14.7],
    [19,21.9,29,37.4,57.3,71.6,22.3,18.1,8.1,0,21.5],
    [18.2,23.1,34.7,43,63,77.3,26.3,23.7,15.3,18.6,0]
])

# =====
# NAMA NODE
# =====
nodes = [
    "Gudang",
    "Sengkaling",
    "Batu",
    "Pujon",
    "Ngantang",
    "Kasembon",
    "Junrejo",
    "Karangploso",
    "Singosari",
    "Lawang",
    "Jabung"
]

n = len(dist)

# =====
# NEAREST NEIGHBOR
# =====
def nearest_neighbor(start):
    visited = [False] * n
    route = [start]
    visited[start] = True

    for _ in range(n - 1):
        last = route[-1]
        next_city = None
```

```

min_dist = float('inf')

for j in range(n):

    if not visited[j] and dist[last][j] < min_dist:
        min_dist = dist[last][j]
        next_city = j

    route.append(next_city)
    visited[next_city] = True

# kembali ke titik awal
route.append(start)

return route

# =====
# TOTAL JARAK
# =====
def total_distance(route):

    total = 0

    for i in range(len(route)-1):
        total += dist[route[i]][route[i+1]]

    return total

# =====
# MULTI-START NN
# =====
results = []

for start in range(n):

    route = nearest_neighbor(start)
    total = total_distance(route)

    results.append({
        "start": nodes[start],
        "route": route,
        "distance": total
    })

# =====
# OUTPUT HASIL
# =====
print("\n=== HASIL MULTI-START NEAREST NEIGHBOR ===\n")

for i, result in enumerate(results):

    route_names = " -> ".join(nodes[x] for x in result["route"])

    print(f"Percobaan {i+1}")
    print(f"Titik awal   : {result['start']}")
    print(f"Rute           : {route_names}")
    print(f"Total jarak    : {round(result['distance'],2)} km")
    print("-"60)

```

```

# =====
# CARI HASIL TERBAIK
# =====
best = min(results, key=lambda x: x["distance"])

best_route = " -> ".join(nodes[x] for x in best["route"])

print("\n=== RUTE TERBAIK ===")
print(f"Titik awal : {best['start']}")
print(f"Rute : {best_route}")
print(f"Total jarak : {round(best['distance'],2)} km")

```

Lampiran A.2 Script Program Visualisasi Rute Aktual

```

import folium
from IPython.display import display

# =====
# DATA (NAMA + KOORDINAT)
# =====
locations = {
    "A": ("Gudang", -7.983662, 112.630229),
    "V1": ("Sengkaling", -7.911604, 112.583051),
    "V2": ("Batu", -7.867968, 112.516538),
    "V3": ("Pujon", -7.843995, 112.468762),
    "V4": ("Ngantang", -7.856547, 112.368764),
    "V5": ("Kasembon", -7.783976, 112.308765),
    "V6": ("Junrejo", -7.910561, 112.559754),
    "V7": ("Karangploso", -7.896498, 112.592623),
    "V8": ("Singosari", -7.893700, 112.666440),
    "V9": ("Lawang", -7.836433, 112.697479),
    "V10": ("Jabung", -7.945443, 112.748329),
}

# =====
# RUTE (INI YANG PENTING)
# =====
route =
["A", "V1", "V2", "V3", "V4", "V5", "V6", "V7", "V8", "V9", "V10", "A"]

# =====
# BUAT PETA
# =====
m = folium.Map(location=[-7.9, 112.55], zoom_start=11)

# =====
# MARKER
# =====
for key, (name, lat, lon) in locations.items():
    folium.Marker(
        location=[lat, lon],
        popup=key,
        icon=folium.Icon(color="blue")
    ).add_to(m)

# =====
# GARIS RUTE SESUAI URUTAN
# =====

```

```

route_coords = [
    [locations[n][1], locations[n][2]] for n in route
]

folium.PolyLine(
    route_coords,
    color="red",
    weight=4,
    opacity=0.9
).add_to(m)

# =====
# TAMPILKAN
# =====
display(m)

```

Lampiran A.3 Script Program Visualisasi Rute Terbaik Hasil MSNN

```

import folium
from IPython.display import display

# =====
# DATA (NAMA + KOORDINAT)
# =====
locations = {
    "A": ("Gudang", -7.983662, 112.630229),
    "V1": ("Sengkaling", -7.911604, 112.583051),
    "V2": ("Batu", -7.867968, 112.516538),
    "V3": ("Pujon", -7.843995, 112.468762),
    "V4": ("Ngantang", -7.856547, 112.368764),
    "V5": ("Kasembon", -7.783976, 112.308765),
    "V6": ("Junrejo", -7.910561, 112.559754),
    "V7": ("Karangploso", -7.896498, 112.592623),
    "V8": ("Singosari", -7.893700, 112.666440),
    "V9": ("Lawang", -7.836433, 112.697479),
    "V10": ("Jabung", -7.945443, 112.748329),
}

# =====
# RUTE (INI YANG PENTING)
# =====
route =
["A", "V10", "V9", "V8", "V7", "V1", "V6", "V2", "V3", "V4", "V5", "A"]

# =====
# BUAT PETA
# =====
m = folium.Map(location=[-7.9, 112.55], zoom_start=11)

# =====
# MARKER
# =====
for key, (name, lat, lon) in locations.items():
    folium.Marker(
        location=[lat, lon],
        popup=key,
        icon=folium.Icon(color="blue")
    ).add_to(m)

```

```

# =====
# GARIS RUTE SESUAI URUTAN
# =====
route_coords = [
    [locations[n][1], locations[n][2]] for n in route
]

folium.PolyLine(
    route_coords,
    color="red",
    weight=4,
    opacity=0.9
).add_to(m)

# =====
# TAMPILKAN
# =====
display(m)

```

Lampiran A.4 Script Program Visualisasi Rute NN

```

import networkx as nx
import matplotlib.pyplot as plt

# =====
# NODE
# =====
nodes = {
    "A": "Gudang",
    "V1": "Sengkaling",
    "V2": "Batu",
    "V3": "Pujon",
    "V4": "Ngantang",
    "V5": "Kasembon",
    "V6": "Junrejo",
    "V7": "Karangploso",
    "V8": "Singosari",
    "V9": "Lawang",
    "V10": "Jabung",
}

# =====
# MATRIX JARAK (PAKAI INI)
# =====
dist = [
    [0, 12.4, 21.5, 29.9, 49.9, 64.2, 14.2, 14.5, 11.8, 19.3, 18],
    [11.5, 0, 12, 18.6, 38.5, 52.8, 3.2, 3.8, 12.7, 20.1, 21.8],
    [21.3, 9.8, 0, 8.5, 28.4, 42.7, 7.9, 10.9, 20.6, 28.1, 31.6],
    [29.7, 18.2, 8.5, 0, 22.2, 34.3, 16.3, 19.3, 29, 36.5, 40],
    [50, 38.2, 28.4, 20, 0, 16.2, 36.2, 39.3, 49, 56.4, 60.3],
    [64, 52.5, 42.7, 34.3, 16.1, 0, 50.6, 53.6, 63.3, 70.7, 74.2],
    [14.7, 3.2, 8.3, 16.6, 36.6, 50.9, 0, 4.4, 14.8, 22.2, 25],
    [14.1, 3.8, 11.3, 19.7, 39.6, 53.9, 4.3, 0, 10.9, 18, 23.5],
    [12.2, 13.4, 22.2, 30.6, 50.6, 64.9, 15.6, 11.3, 0, 7.6, 14.7],
    [19, 21.9, 29, 37.4, 57.3, 71.6, 22.3, 18.1, 8.1, 0, 21.5],
    [18.2, 23.1, 34.7, 43, 63, 77.3, 26.3, 23.7, 15.3, 18.6, 0],
]

```

```

idx = list(nodes.keys())

# =====
# ROUTE
# =====
route =
["A", "V8", "V9", "V7", "V1", "V6", "V2", "V3", "V4", "V5", "V10", "A"]

G = nx.DiGraph()

total = 0

for i in range(len(route)-1):
    a = route[i]
    b = route[i+1]

    ia = idx.index(a)
    ib = idx.index(b)

    w = dist[ia][ib]
    total += w

    G.add_edge(a, b, weight=round(w,2))

# =====
# LAYOUT (pakai GPS biar masuk akal)
# =====
pos = {
    "A": (112.630229, -7.983662),
    "V1": (112.583051, -7.911604),
    "V2": (112.516538, -7.867968),
    "V3": (112.468762, -7.843995),
    "V4": (112.368764, -7.856547),
    "V5": (112.308765, -7.783976),
    "V6": (112.559754, -7.910561),
    "V7": (112.592623, -7.896498),
    "V8": (112.666440, -7.893700),
    "V9": (112.697479, -7.836433),
    "V10": (112.748329, -7.945443),
}

# =====
# DRAW
# =====
plt.figure(figsize=(10,7))

nx.draw(
    G,
    pos,
    with_labels=True,
    node_size=700,
    arrows=True
)

edge_labels = nx.get_edge_attributes(G, "weight")
nx.draw_networkx_edge_labels(G, pos, edge_labels=edge_labels)

plt.title("Graf Berarah & Berbobot (PAKAI MATRIX ASLI)")

```



```
plt.axis("off")
plt.show()

print("Total jarak:", round(total,2))
```

Lampiran B. Output Program

Lampiran B.1 Output Rute Pengujian MSNN Seluruh Titik Awal

=== HASIL MULTI-START NEAREST NEIGHBOR ===

```
Percobaan 1
Titik awal   : Gudang
Rute         : Gudang -> Singosari -> Lawang -> Karangploso ->
Sengkaling -> Junrejo -> Batu -> Pujon -> Ngantang -> Kasembon ->
Jabung -> Gudang
Total jarak : 192.1 km
-----

Percobaan 2
Titik awal   : Sengkaling
Rute         : Sengkaling -> Junrejo -> Karangploso -> Singosari ->
Lawang -> Gudang -> Jabung -> Batu -> Pujon -> Ngantang ->
Kasembon -> Sengkaling
Total jarak : 197.2 km
-----

Percobaan 3
Titik awal   : Batu
Rute         : Batu -> Junrejo -> Sengkaling -> Karangploso ->
Singosari -> Lawang -> Gudang -> Jabung -> Pujon -> Ngantang ->
Kasembon -> Batu
Total jarak : 194.5 km
-----

Percobaan 4
Titik awal   : Pujon
Rute         : Pujon -> Batu -> Junrejo -> Sengkaling ->
Karangploso -> Singosari -> Lawang -> Gudang -> Jabung -> Ngantang
-> Kasembon -> Pujon
Total jarak : 192.4 km
-----

Percobaan 5
Titik awal   : Ngantang
Rute         : Ngantang -> Kasembon -> Pujon -> Batu -> Junrejo ->
Sengkaling -> Karangploso -> Singosari -> Lawang -> Gudang ->
Jabung -> Ngantang
Total jarak : 192.4 km
-----

Percobaan 6
Titik awal   : Kasembon
Rute         : Kasembon -> Ngantang -> Pujon -> Batu -> Junrejo ->
Sengkaling -> Karangploso -> Singosari -> Lawang -> Gudang ->
Jabung -> Kasembon
Total jarak : 192.3 km
-----

Percobaan 7
Titik awal   : Junrejo
```

```

Rute      : Junrejo -> Sengkaling -> Karangploso -> Singosari ->
Lawang -> Gudang -> Jabung -> Batu -> Pujon -> Ngantang ->
Kasembon -> Junrejo
Total jarak : 194.7 km
-----

```

```

Percobaan 8
Titik awal : Karangploso
Rute      : Karangploso -> Sengkaling -> Junrejo -> Batu ->
Pujon -> Ngantang -> Kasembon -> Singosari -> Lawang -> Gudang ->
Jabung -> Karangploso
Total jarak : 193.8 km
-----

```

```

Percobaan 9
Titik awal : Singosari
Rute      : Singosari -> Lawang -> Karangploso -> Sengkaling ->
Junrejo -> Batu -> Pujon -> Ngantang -> Kasembon -> Gudang ->
Jabung -> Singosari
Total jarak : 185.2 km
-----

```

```

Percobaan 10
Titik awal : Lawang
Rute      : Lawang -> Singosari -> Karangploso -> Sengkaling ->
Junrejo -> Batu -> Pujon -> Ngantang -> Kasembon -> Gudang ->
Jabung -> Lawang
Total jarak : 182.2 km
-----

```

```

Percobaan 11
Titik awal : Jabung
Rute      : Jabung -> Singosari -> Lawang -> Karangploso ->
Sengkaling -> Junrejo -> Batu -> Pujon -> Ngantang -> Kasembon ->
Gudang -> Jabung
Total jarak : 185.2 km
-----

```

Lampiran B.2 Output Rute Terbaik *MSNN*

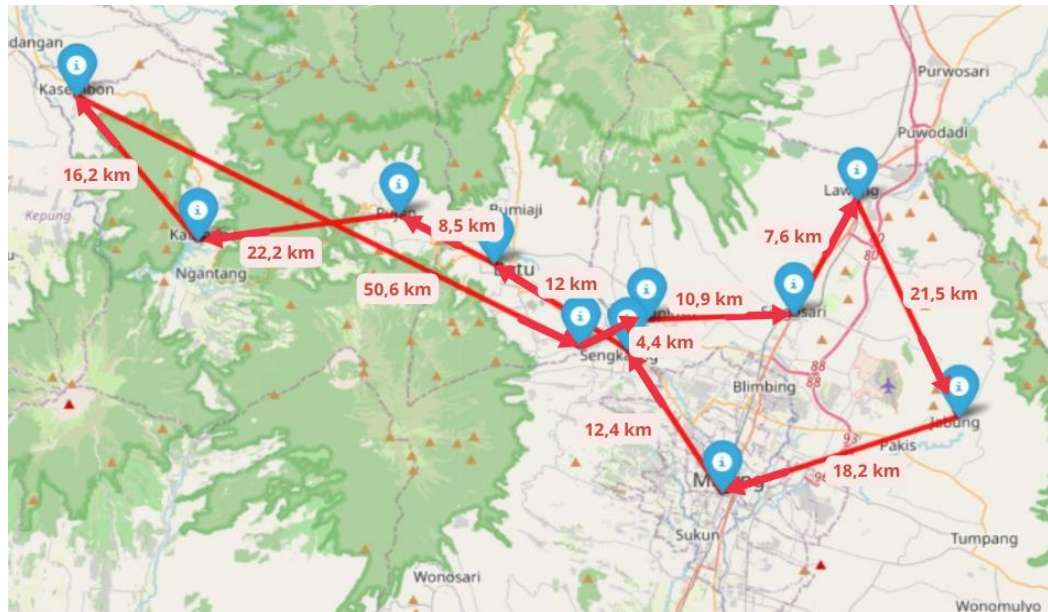
```

=== RUTE TERBAIK ===
Titik awal : Lawang
Rute      : Lawang -> Singosari -> Karangploso -> Sengkaling ->
Junrejo -> Batu -> Pujon -> Ngantang -> Kasembon -> Gudang ->
Jabung -> Lawang
Total jarak : 182.2 km

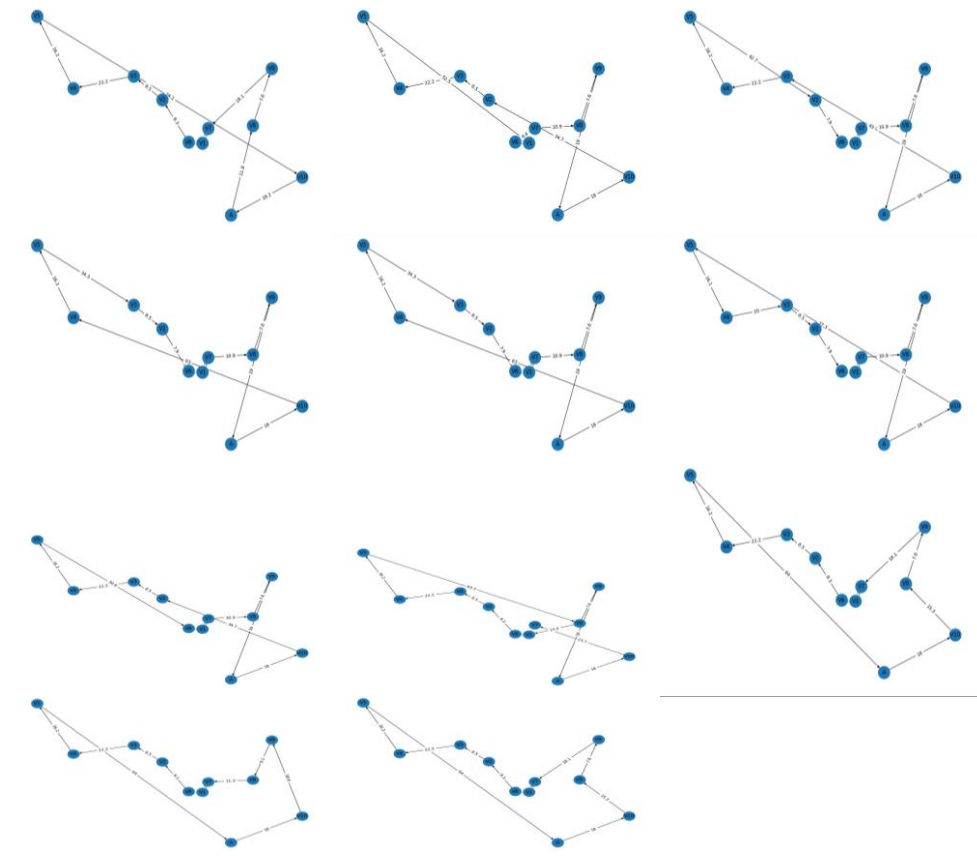
```

Lampiran C. Visualisasi Rute

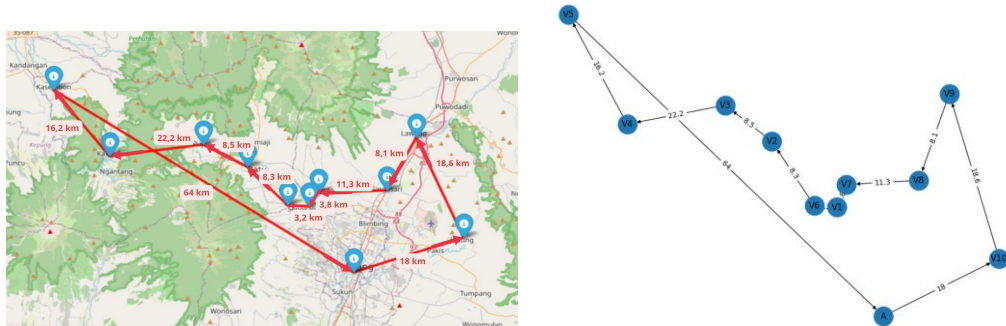
Lampiran C.1 Visualisasi Rute Aktual



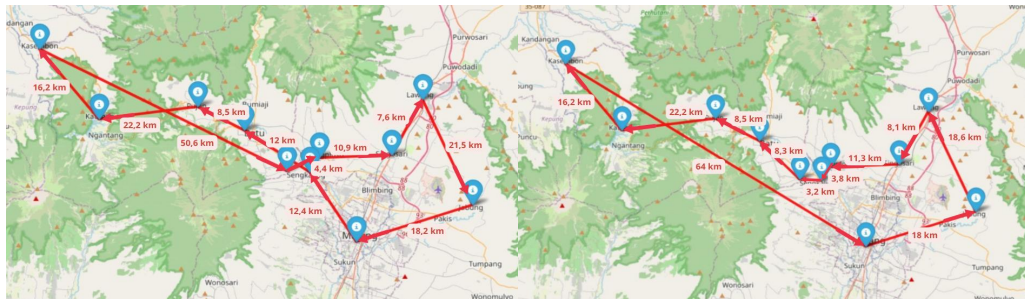
Lampiran C.2 Visualisasi Rute Hasil MSNN



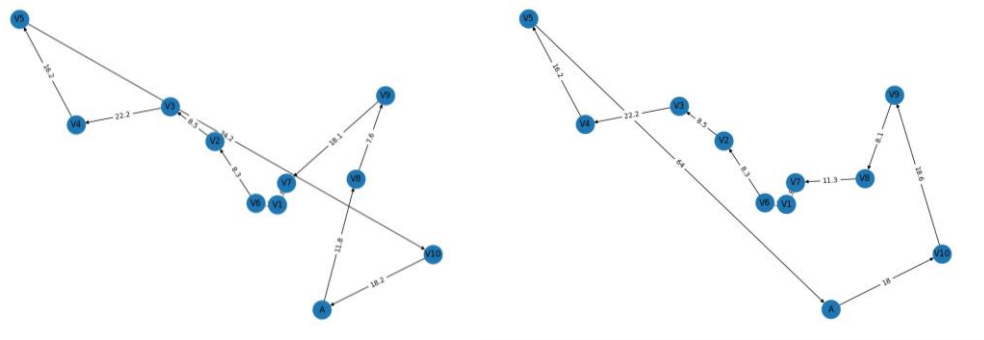
Lampiran C.3 Visualisasi Rute Terbaik Hasil MSNN



Lampiran C.4 Visualisasi Perbandingan Rute Aktual dan Rute Terbaik



Lampiran C.5 Visualisasi Perbandingan Rute NN dan Rute Terbaik



RIWAYAT HIDUP



Barokah Al Batul lahir di Banyuwangi Maret 2003 dan merupakan anak keenam dari enam bersaudara yang berasal dari Kecamatan Glenmore, Kabupaten Banyuwangi, Jawa Timur. Penulis menempuh pendidikan dasar di Kalimantan, melanjutkan pendidikan menengah di lingkungan pondok pesantren di Banyuwangi dan SMA Islam Sabilurrosyad, kemudian melanjutkan studi pada Program Studi Matematika dengan berdomisili di Pondok Pesantren Sabilurrosyad, Malang.

Bagi penulis, pendidikan bukan sekadar proses memperoleh ilmu pengetahuan, melainkan perjalanan yang mengajarkan arti perjuangan, kesabaran, dan keteguhan hati dalam menghadapi berbagai tantangan. Penulis meyakini bahwa setiap impian dapat diraih melalui doa yang tulus, usaha yang sungguh-sungguh, serta keyakinan untuk terus melangkah. Dengan dukungan keluarga dan orang-orang terdekat yang senantiasa memberikan semangat, penulis dapat menyelesaikan skripsi ini sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana.

Di balik perjalanan panjang ini, terdapat seseorang yang selalu hadir dalam setiap proses, menjadi tempat berbagi cerita, keluh kesah, doa, dan harapan. Dukungan, kesabaran, dan kepercayaannya menjadi salah satu alasan yang menguatkan penulis untuk terus melangkah. Kehadirannya memberikan semangat dan keyakinan bahwa setiap perjuangan yang dijalani dengan sungguh-sungguh akan menemukan hasil terbaik pada waktunya.

Penulis berharap ilmu yang telah diperoleh dapat memberikan manfaat bagi banyak orang dan menjadi bekal untuk terus belajar, berkembang, serta memberikan kontribusi yang baik bagi masyarakat. Hidup adalah tentang terus berjuang, bertumbuh, dan memperbaiki diri. Sebab tidak ada hasil yang mengkhianati doa dan usaha, dan setiap langkah yang ditempuh dengan kesungguhan akan menemukan waktunya untuk berbuah menjadi keberhasilan dan keberkahan.



KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

BUKTI KONSULTASI SKRIPSI

Nama : Barokah Al Batul
NIM : 210601110108
Fakultas / Jurusan : Sains dan Teknologi / Matematika
Judul Skripsi : Perbaikan Rute Distribusi Barang Menggunakan *Multi-Start Nearest Neighbor* pada *Asymmetric Traveling Salesman Problem*
Pembimbing I : Mohammad Nafie Jauhari, M.Si
Pembimbing II : Dr. Fachrur Rozi, M.Si

No	Tanggal	Hal	Tanda Tangan
1.	26 Februari 2025	Konsultasi Topik	1.
2.	15 April 2026	Konsultasi Bab I, II, dan III	2.
3.	17 April 2026	Konsultasi Bab I, II, dan III	3.
4.	19 April 2026	ACC Bab I, II, dan III	4.
5.	20 April 2026	Konsultasi Kajian Agama Bab I dan II	5.
6.	22 April 2026	ACC Kajian Agama Bab I dan II	6.
7.	23 April 2026	ACC Seminar Proposal	7.
8.	04 Mei 2026	Konsultasi Revisi Seminar Proposal	8.
9.	08 Mei 2026	Konsultasi Bab IV dan V	9.
10.	14 Mei 2026	Konsultasi Bab IV dan V	10.
11.	16 Mei 2026	ACC Bab IV dan V	11.
12.	17 Mei 2026	Konsultasi Kajian Agama Bab IV	12.
13.	19 Mei 2026	ACC Kajian Agama Bab IV	13.
14.	20 Mei 2026	ACC Seminar Hasil	14.



**KEMENTERIAN AGAMA RI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI
MAULANA MALIK IBRAHIM MALANG
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI**

Jl. Gajayana No.50 Dinoyo Malang Telp. / Fax. (0341)558933

15.	03 Juni 2026	Konsultasi Revisi Seminar Hasil	15.
16.	15 Juni 2026	ACC Sidang Skripsi	16.
17.	15 Juni 2026	ACC Keseluruhan	17.

Malang, 15 Juni 2026

Mengetahui,

Ketua Program Studi Matematika



Dr. Fachrud Rozi, M.Si

NIP. 19800527 200801 1 012