



Penyelesaian *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)* dengan *Nearest Neighbour* (Studi Kasus: *Russian CVRP Instances*)

Ekra Sanggala^{1✉}, Muhammad Ardhya Bisma¹

⁽¹⁾Prodi D4 Logistik Bisnis, Sekolah Vokasi, Universitas Logistik dan Bisnis Internasional, Bandung

DOI: 10.31004/jutin.v8i3.46463

✉ Corresponding author:
[ekrasanggala@mail.ru]

Article Info

Abstrak

Kata kunci:
CVRP;
Nearest Neighbour;
Heuristic;
Optimization;
Instance

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan salah satu varian *VRP* yang paling populer. *Nearest Neighbour (NN)* merupakan *heuristic* yang sangat *simple* dan sangat mudah. Konsep dasar dari *Nearest Neighbour* adalah memilih titik terdekat yang belum pernah dikunjungi. *Russian CVRP Instances* terdiri dari sepuluh *CVRP Instance* yang dibuat oleh penulis berdasarkan sejarah Russia dan tempat-tempat di Russia. Total panjang rute untuk setiap *CVRP Instance* adalah AK-47-CVRP (60857 km), Gagarin-108-CVRP (75920 km), Mendeleev-101-CVRP (116248 km), Petersburg-182-CVRP (2713 km), Popov-250-CVRP (164974 km), Russia-10-Nodes-CVRP (15911 km), Russia-20-Nodes-CVRP (21480 km), Siege-of-Leningrad-872-CVRP (11012 km), World-Cup-Stadium-12-CVRP (10793 km) dan Yashin-270-CVRP (105616 km).

Abstract

Keywords:
CVRP;
Nearest Neighbour;
Heuristic;
Optimization;
Instance

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) is one of the most popular *VRP* variants. *Nearest Neighbour (NN)* is a very simple and very easy *heuristic*. The basic concept of *Nearest Neighbour* is to choose the closest point that has never been visited. *Russian CVRP Instances* created by the author based on Russian history and places in Russia. The total route length for each *CVRP Instance* is AK-47-CVRP (60857 km), Gagarin-108-CVRP (75920 km), Mendeleev-101-CVRP (116248 km), Petersburg-182-CVRP (2713 km), Popov-250-CVRP (164974 km), Russia-10-Nodes-CVRP (15911 km), Russia-20-Nodes-CVRP (21480 km), Siege-of-Leningrad-872-CVRP (11012 km), World-Cup-Stadium-12-CVRP (10793 km) and Yashin-270-CVRP (105616 km).

1. PENDAHULUAN

Pada beberapa dekade terakhir ini pada manajemen pendistribusian produk telah terjadi peningkatan penggunaan metode-metode optimasi yang berdasarkan teknik-teknik *Operations Research* dan *Mathematical Programming*. Pada aplikasi di dunia nyata, di Amerika Utara dan Eropa penggunaan metode-metode optimasi ini telah berhasil menghemat biaya transportasi sebanyak 5% sampai dengan 20%. Salah satu faktor keberhasilan ini adalah karena ditemukannya algoritma-algoritma yang mampu memberikan solusi yang baik dengan lama waktu penghitungan yang wajar (Toth & Vigo, 2002).

Vehicle Routing Problem (VRP) adalah suatu permasalahan yang fokus pada pendistribusian barang antara *depot* dan pelanggan. Beberapa contoh *VRP* pada kehidupan nyata adalah rute pengambilan sampah dari rumah-rumah, rute membersihkan jalan, rute bis sekolah, rute transportasi untuk orang-orang berkebutuhan khusus, rute *sales* dan rute pemeliharaan tower (Abidin et al., 2025). *VRP* mempunyai beberapa varian, antara lain *Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP)*, *Multiple Depot Vehicle Routing Problem (MDVRP)*, *Periodic Vehicle Routing Problem (PVRP)*, *Split Delivery Vehicle Routing Problem (SDVRP)*, *Vehicle Routing Problem with Satellite Facilities (VRP-SF)*, *Heterogeneous Fleet Vehicle Routing Problem (HF-VRP)*, *Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW)*, *Green Vehicle Routing Problem (G-VRP)*, *Generalized Vehicle Routing Problem (GVRP)*, *Stochastic Vehicle Routing Problem (SVRP)*, *Rich Vehicle Routing Problem (RVRP)*, *Open Vehicle Routing Problem (OVRP)*, *Vehicle Routing Problem with Pick-Up and Delivery (VRPPD)* dan *Asymmetric Vehicle Routing Problem (AVRP)* (Sharma et al., 2018).

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan salah satu varian *VRP* yang paling populer. Pada *CVRP* ini, benda-benda yang akan diangkut hanya dipertimbangkan massanya saja, biasanya benda-benda tersebut dianggap sebagai benda-benda yang sejenis. Pada *CVRP*, kebutuhan setiap pelanggan diekspresikan dengan sebuah bilangan bulat positif yang mewakili jumlah massa atau volume dari benda yang dibutuhkan. Pada kasus ini, pengujian kelayakan sebuah solusi hanya berdasarkan total kebutuhan dari sejumlah pelanggan yang dialokasikan pada kendaraan pengangkut, tidak melebihi kapasitas maksimal daya angkutnya (Hameed et al., 2025).

CVRP termasuk kedalam *NP-Hard Problem* (Kalatzantonakis et al., 2020). *NP-Hard Problem* merupakan permasalahan yang jika diselesaikan dengan *Exact Method* memerlukan waktu yang sangat lama, sehingga tidak wajar untuk ditunggu (Garey, 1979). Oleh karena itu agar penyelesaian *CVRP* dapat diselesaikan dalam waktu yang wajar untuk ditunggu, maka dapat digunakan *Heuristic* (Buyukozdemir et al., 2021). *Heuristic* merupakan sebuah kata dari bahasa Yunani yang berarti "menemukan" atau "mengeksplorasi". *Heuristic* disebut sebagai *approximate techniques*. Tujuan utama dari *heuristic* adalah untuk membangun sebuah model optimasi yang mudah dipahami dan mampu memberikan solusi yang baik dalam waktu perhitungan yang wajar (Kumar et al., 2019).

Beberapa *Heuristic* yang populer digunakan untuk menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* antara lain *Nearest Neighbour (NN)*, *Nearest Insertion (NI)*, *Savings Algorithm (SA)*, dan *Sweep Algorithm* (Liu et al., 2023).

Nearest Neighbour (NN) merupakan *heuristic* yang sangat *simple* dan sangat mudah. Konsep dasar dari *Nearest Neighbour* adalah memilih titik terdekat yang belum pernah dikunjungi (Nilsson, 2003).

Untuk menguji kehandalan *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan *CVRP* maka diperlukan *CVRP Instances* yang akan diselesaikan oleh *Nearest Neighbour*. *Russian CVRP Instances* terdiri dari sepuluh *CVRP Instance* yang dibuat oleh penulis berdasarkan sejarah Russia dan tempat-tempat di Russia. Penulis berharap *CVRP Instance* ini dapat menjadi "kasus" yang digunakan oleh para peneliti untuk menguji kehandalan algoritma yang dikembangkannya.

Data koordinat dan jumlah penduduk untuk membuat *Russian CVRP Instances* bersumber dari <https://www.geonames.org> (Gmbh, n.d.). Pada *Russian CVRP Instances*, jarak antar titik dihitung dengan menggunakan *Haversine Formula*, dimana hasil perhitungannya dibulatkan ke atas sampai nilai satuan terdekat. Para pembaca yang memerlukan file dari *Russian CVRP Instances* bisa langsung mengontak penulis melalui surat elektronik.

Untuk membantu menyelesaikan seluruh perhitungan digunakan perangkat lunak *GNU Octave*. *GNU Octave* merupakan alat multifungsi untuk melakukan analisis numerik. Berbagai alat bantu yang tersedia di dalam *GNU Octave* adalah sebagai berikut ini (Quarteroni et al., 2006): 1) Sekumpulan *function* untuk menyelesaikan berbagai masalah. 2) Bahasa pemrograman yang dapat digunakan untuk mengembangkan kemampuan *GNU Octave*. 3) Berbagai fasilitas untuk melakukan *plotting*.

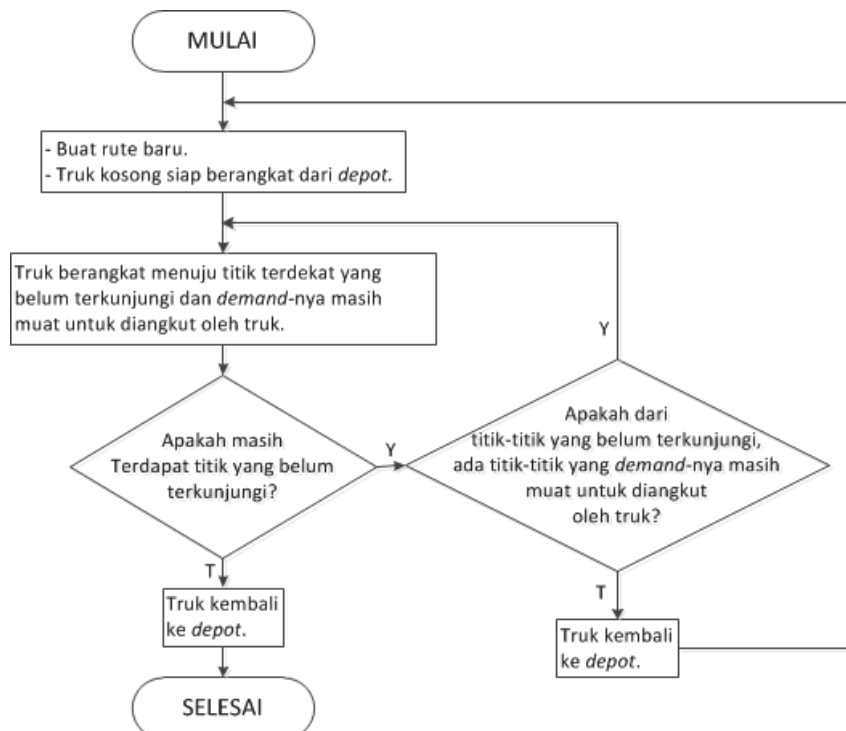
Nama *GNU Octave* diambil dari seorang ahli kimia yang bernama *Octave Levenspiel*. *GNU Octave* ini merupakan proyek resmi dari *GNU* dan lisensi *source code* berada di bawah *GNU General Public License (GPL)*, sehingga siapa pun boleh menggunakannya untuk berbagai tujuan (Hansen, 2011).

2. METODE

Berikut ini merupakan langkah-langkah dalam *Nearest Neighbour* untuk menyelesaikan *CVRP* (Masudin et al., 2019):

1. Buat rute baru dan truk dengan muatan kosong siap berangkat dari *depot*.
2. Truk berangkat menuju titik terdekat yang belum terkunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.
3. Apakah masih terdapat titik yang belum terkunjungi? Jika "ya" maka lanjut ke langkah ke-4, jika "tidak" maka truk kembali ke *depot* dan lanjut ke langkah ke-5.
4. Apakah dari titik-titik yang belum terkunjungi, ada titik-titik yang *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk? Jika "ya" maka lanjut ke langkah ke-2, jika "tidak" maka truk kembali ke *depot* dan lanjut ke langkah ke-1.
5. Selesai

Pada gambar 1 dapat dilihat *flowchart* dari langkah-langkah dalam *Nearest Neighbour* untuk menyelesaikan *CVRP*.



Gambar 1: Flowchart Penyelesaian CVRP dengan Nearest Neighbour

Haversine Formula merupakan persamaan yang digunakan untuk menghitung jarak antara dua titik di Bumi, bentuk persamaannya adalah seperti berikut ini (Bashkim IDRIZI, 2020):

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}\left[\sqrt{a}, \sqrt{1-a}\right]$$

$$d = R \cdot c$$

- ϕ_1 : Latitude tempat pertama
 ϕ_2 : Latitude tempat kedua
 λ_1 : Longitude tempat pertama
 λ_2 : Longitude tempat kedua

$\Delta\phi$: $\phi_1 - \phi_2$
 $\Delta\lambda$: $\lambda_1 - \lambda_2$
 R : Radius Bumi (6371 Km)

Langkah-langkah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut ini:

1. Menentukan *CVRP Instance* yang akan digunakan untuk menguji *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan *CVRP*.

Russian CVRP Instances akan digunakan untuk menguji *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan *CVRP*. Sepuluh *CVRP Instance* yang terdapat di *Russian CVRP Instances* adalah sebagai berikut ini (Sanggala & Bisma, 2023b):

1. AK-47-CVRP
Memperingati senjata AK-47 yang ditemukan oleh *Mikhail Kalashnikov*.
2. Gagarin-108-CVRP
Memperingati *Yuri Gagarin* sebagai manusia pertama yang melakukan perjalanan ke luar angkasa dan mengorbit selama 108 menit.
3. Mendelev-101-CVRP
Memperingati *Dmitri Mendeleev* sebagai penemu sistem periodik. Unsur dengan nomor atom 101 diberi nama *Mendelevium* untuk mengenang *Mendeleev*.
4. Petersburg-182-CVRP
Terdiri dari 182 area berpenduduk di wilayah *Saint Petersburg*.
5. Popov-250-CVRP
Memperingati *Alexander Popov* sebagai penemu radio. Pada tanggal 24 Maret 1896, beliau berhasil mentransmisikan sinyal radio sejauh 250 meter.
6. Russia-10-Nodes-CVRP
Terdiri dari 10 kota berpenduduk terbanyak di *Russia*.
7. Russia-20-Nodes-CVRP
Terdiri dari 20 kota berpenduduk terbanyak di *Russia*.
8. Siege-of-Leningrad-872-CVRP
Memperingati 872 hari blokade *Leningrad* saat perang dunia kedua.
9. World-Cup-Stadium-12-Nodes-CVRP
Memperingati *World Cup 2018* di *Russia*. Sebanyak 12 stadion digunakan pada *World Cup* tersebut.
10. Yashin-270-CVRP
Memperingati *Lev Yashin* sebagai kiper terhebat dalam sejarah sepakbola. Dia berhasil mendapatkan lebih dari 270 *clean sheets* dalam karirnya.

2. Menghitung jarak antar titik yang terdapat pada *CVRP Instance*.

Berikut ini merupakan contoh penggunaan *Haversine Formula* dalam menghitung jarak antara dua titik di Bumi (Sanggala & Bisma, 2023a):

Moscow (Latitude: 55,75222; Longitude: 37,61557)

St Petersburg (Latitude: 59,93863; Longitude: 30,31413)

$$a = \sin^2\left(\frac{\Delta\phi}{2}\right) + \cos\phi_1 \cdot \cos\phi_2 \cdot \sin^2\left(\frac{\Delta\lambda}{2}\right)$$

$$a = 0,002477$$

$$c = 2 \cdot \text{atan2}[\sqrt{0,002477}, \sqrt{0,998761}]$$

$$c = 0,099581$$

$$d = 6371 \cdot 0,099581$$

$$d = 634,4309 \approx 635 \text{ km}$$

3. Menulis kode program di *GNU Octave* untuk menyelesaikan *CVRP Instance* dengan *Nearest Neighbour*.

Flowchart penyelesaian *CVRP* dengan *Nearest Neighbour* diterjemahkan ke dalam kode program yang dapat dipahami oleh *GNU Octave*. Kode program yang ditulis ada sekitar 300 baris. Jika kode

program tersebut dituangkan dalam tulisan ini, tentunya akan memerlukan banyak tempat, oleh karena itu bagi pembaca yang membutuhkan kode program ini dapat langsung mengontak penulis melalui surat elektronik.

- Menjalankan kode program yang sudah ditulis.
Kode program yang telah ditulis perlu dijalankan (*di-running*) agar dapat menyelesaikan *CVRP Instance* dengan menggunakan *Nearest Neighbour*. Saat kode program selesai dijalankan maka akan dihasilkan rute-rute solusinya, panjang setiap rutanya dan waktu komputasi yang diperlukan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut ini merupakan hasil penelitian berdasarkan langkah-langkah pada bagian *methods*.

A. Russian CVRP Instances

Dikarenakan *Russian CVRP Instances* terdiri dari sepuluh *CVRP Instance*, maka akan diambil satu *CVRP Instance* yang akan dijadikan contoh penyelesaian *CVRP* dengan *Nearest Neighbour*. *CVRP Instance* yang akan dijadikan contoh adalah *Russia-10-Nodes-CVRP*.

Berikut ini merupakan daftar tempat dan *demand*-nya yang terdapat pada *Russia-10-Nodes-CVRP*.

Tabel 1: Russia-10-Nodes-CVRP

Node No	Node Symbol	Name	Latitude	Longitude	Demand
1	0	Moscow	55,75222	37,61556	0
2	1	Saint Petersburg	59,93863	30,31413	23
3	2	Novosibirsk	55,04150	82,93460	10
4	3	Yekaterinburg	56,85190	60,61220	21
5	4	Nizhniy Novgorod	56,32867	44,00205	25
6	5	Samara	53,20007	50,15000	14
7	6	Omsk	54,99244	73,36859	32
8	7	Kazan	55,78874	49,12214	21
9	8	Rostov-na-Donu	47,23135	39,72328	20
10	9	Chelyabinsk	55,15402	61,42915	35

Kapasitas angkut truk yang terdapat pada *Russia-10-Nodes-CVRP* adalah 100.

B. Jarak Antara Setiap Titik Yang Terdapat Pada Russia-10-Nodes-CVRP

Berikut ini merupakan jarak antara setiap titik yang terdapat pada *Russia-10-Nodes-CVRP*.

Tabel 2: Jarak Antara Titik Pada Russia-10-Nodes-CVRP

Node No	Name	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	Moscow	0	635	2812	1418	402	857	2236	719	959	1496
2	Saint Petersburg	635	0	3105	1783	896	1420	2584	1200	1540	1912
3	Novosibirsk	2812	3105	0	1398	2412	2127	610	2115	3083	1363
4	Yekaterinburg	1418	1783	1398	0	1017	780	820	718	1773	196
5	Nizhniy Novgorod	402	896	2412	1017	0	526	1834	324	1054	1096
6	Samara	857	1420	2127	780	526	0	1520	296	994	765
7	Omsk	2236	2584	610	820	1834	1520	0	1527	2474	760
8	Kazan	719	1200	2115	718	324	296	1527	0	1151	778
9	Rostov-na-Donu	959	1540	3083	1773	1054	994	2474	1151	0	1740
10	Chelyabinsk	1496	1912	1363	196	1096	765	760	778	1740	0

C. Tahapan-Tahapan Penyelesaian Russia-10-Nodes-CVRP Dengan Nearest Neighbour

- Buat rute baru dan truk kosong siap berangkat dari *depot*.
Rute pertama disiapkan dan truk kosong siap berangkat dari titik 1 (*depot*).
- Truk berangkat menuju titik terdekat yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Jarak	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	635	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	2812	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	1418	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	402	25	Belum	Muat
6	Samara	857	14	Belum	Muat
7	Omsk	2236	32	Belum	Muat
8	Kazan	719	21	Belum	Muat
9	Rostov-na-Donu	959	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	1496	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa titik terdekat dari titik 1 (*depot*) yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk adalah titik 5 (*Nizhniy Novgorod*). Maka pertama untuk sementara menjadi 1-5. Dikarenakan *demand* titik 5 adalah 25, maka sisa kapasitas angkut truk adalah 75.

3. Apakah masih terdapat titik yang belum dikunjungi?
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi
2	Saint Petersburg	23	Belum
3	Novosibirsk	10	Belum
4	Yekaterinburg	21	Belum
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah
6	Samara	14	Belum
7	Omsk	32	Belum
8	Kazan	21	Belum
9	Rostov-na-Donu	20	Belum
10	Chelyabinsk	35	Belum

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada delapan titik yang masih belum dikunjungi.

4. Apakah dari titik-titik yang belum dikunjungi, ada titik-titik yang *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk?
Dikarenakan sisa kapasitas angkut truk adalah 75, maka titik-titik yang *demand*-nya dibawah atau sama dengan 75 yang akan menjadi kandidat untuk dikunjungi. Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah	Muat
6	Samara	14	Belum	Muat
7	Omsk	32	Belum	Muat
8	Kazan	21	Belum	Muat
9	Rostov-na-Donu	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada delapan titik yang masih belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.

5. Truk berangkat menuju titik terdekat yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Jarak	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	896	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	2412	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	1017	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	0	25	Sudah	Muat
6	Samara	526	14	Belum	Muat
7	Omsk	1834	32	Belum	Muat
8	Kazan	324	21	Belum	Muat
9	Rostov-na-Donu	1054	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	1096	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa titik terdekat dari titik 5 (*Nizhniy Novgorod*) yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk adalah titik 8 (*Kazan*). Maka rute pertama untuk sementara menjadi 1-5-8. Dikarenakan *demand* titik 8 adalah 21, maka sisa kapasitas angkut truk adalah 54.

6. Apakah masih terdapat titik yang belum dikunjungi?
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi
2	Saint Petersburg	23	Belum
3	Novosibirsk	10	Belum
4	Yekaterinburg	21	Belum
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah
6	Samara	14	Belum
7	Omsk	32	Belum
8	Kazan	21	Sudah
9	Rostov-na-Donu	20	Belum
10	Chelyabinsk	35	Belum

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada tujuh titik yang masih belum dikunjungi.

7. Apakah dari titik-titik yang belum dikunjungi, ada titik-titik yang *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk?
Dikarenakan sisa kapasitas angkut truk adalah 54, maka titik-titik yang *demand*-nya dibawah atau sama dengan 54 yang akan menjadi kandidat untuk dikunjungi. Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah	Muat
6	Samara	14	Belum	Muat
7	Omsk	32	Belum	Muat
8	Kazan	21	Sudah	Muat
9	Rostov-na-Donu	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada tujuh titik yang masih belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.

8. Truk berangkat menuju titik terdekat yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Jarak	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	1200	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	2115	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	718	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	324	25	Sudah	Muat
6	Samara	296	14	Belum	Muat
7	Omsk	1527	32	Belum	Muat
8	Kazan	0	21	Sudah	Muat
9	Rostov-na-Donu	1151	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	778	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa titik terdekat dari titik 8 (*Kazan*) yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk adalah titik 6 (*Samara*). Maka rute pertama untuk sementara menjadi 1-5-8-6. Dikarenakan *demand* titik 6 adalah 14, maka sisa kapasitas angkut truk adalah 40.

9. Apakah masih terdapat titik yang belum dikunjungi?
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi
2	Saint Petersburg	23	Belum
3	Novosibirsk	10	Belum
4	Yekaterinburg	21	Belum
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah
6	Samara	14	Sudah
7	Omsk	32	Belum
8	Kazan	21	Sudah
9	Rostov-na-Donu	20	Belum
10	Chelyabinsk	35	Belum

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada enam titik yang masih belum dikunjungi.

10. Apakah dari titik-titik yang belum dikunjungi, ada titik-titik yang *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk?
Dikarenakan sisa kapasitas angkut truk adalah 40, maka titik-titik yang *demand*-nya dibawah atau sama dengan 40 yang akan menjadi kandidat untuk dikunjungi. Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah	Muat
6	Samara	14	Sudah	Muat
7	Omsk	32	Belum	Muat
8	Kazan	21	Sudah	Muat
9	Rostov-na-Donu	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada enam titik yang masih belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.

11. Truk berangkat menuju titik terdekat yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk.
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Jarak	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	1420	23	Belum	Muat
3	Novosibirsk	2127	10	Belum	Muat
4	Yekaterinburg	780	21	Belum	Muat
5	Nizhniy Novgorod	526	25	Sudah	Muat
6	Samara	0	14	Sudah	Muat
7	Omsk	1520	32	Belum	Muat
8	Kazan	296	21	Sudah	Muat
9	Rostov-na-Donu	994	20	Belum	Muat
10	Chelyabinsk	765	35	Belum	Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa titik terdekat dari titik 6 (*Samara*) yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk adalah titik 10 (*Chelyabinsk*). Maka rute pertama untuk sementara menjadi 1-5-8-6-10. Dikarenakan *demand* titik 10 adalah 35, maka sisa kapasitas angkut truk adalah 5.

12. Apakah masih terdapat titik yang belum dikunjungi?
Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi
2	Saint Petersburg	23	Belum
3	Novosibirsk	10	Belum
4	Yekaterinburg	21	Belum
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah
6	Samara	14	Sudah
7	Omsk	32	Belum
8	Kazan	21	Sudah
9	Rostov-na-Donu	20	Belum
10	Chelyabinsk	35	Sudah

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa masih ada lima titik yang masih belum dikunjungi.

13. Apakah dari titik-titik yang belum dikunjungi, ada titik-titik yang *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk?
Dikarenakan sisa kapasitas angkut truk adalah 5, maka titik-titik yang *demand*-nya dibawah atau sama dengan 5 yang akan menjadi kandidat untuk dikunjungi. Berikut ini merupakan daftar titik beserta statusnya.

Node_No	Name	Demand	Terkunjungi	Muat
2	Saint Petersburg	23	Belum	Tidak Muat
3	Novosibirsk	10	Belum	Tidak Muat
4	Yekaterinburg	21	Belum	Tidak Muat
5	Nizhniy Novgorod	25	Sudah	Tidak Muat
6	Samara	14	Sudah	Tidak Muat
7	Omsk	32	Belum	Tidak Muat
8	Kazan	21	Sudah	Tidak Muat
9	Rostov-na-Donu	20	Belum	Tidak Muat
10	Chelyabinsk	35	Sudah	Tidak Muat

Dari daftar diatas dapat dilihat bahwa **tidak ada** satu pun titik yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut oleh truk. Dengan demikian truk harus kembali ke titik 1 (*depot*), maka rute pertama selesai dengan rute 1-5-8-6-10-1 dan panjang rutenya adalah 3283 Km.

Tahapan-tahapan ini terus berulang hingga seluruh titik dikunjungi. Untuk penyelesaian *Russia-10-Nodes-CVRP* dihasilkan tiga rute, yaitu sebagai berikut ini:

Rute 1: 1-5-8-6-10-1 dengan panjang rute 3283 Km.

Rute 2: 1-2-9-4-7-1 dengan panjang rute 7004 Km.

Rute 3: 1-3-1 dengan panjang rute 5624 Km.

Maka total panjang rutenya adalah 15911 Km.

Processor yang digunakan untuk menjalankan kode program pada *GNU Octave* adalah *Inter Core i5 2450M* dengan *RAM 8 Gigabyte*. Dengan spesifikasi seperti ini, waktu yang diperlukan untuk menyelesaikan *Russia-10-Nodes-CVRP* dengan *Nearest Neighbour* adalah 1,1856 detik.

D. Hasil Penyelesaian *Russian CVRP Instances* dengan *Nearest Neighbour*

Pada tabel 3 dapat dilihat hasil penyelesaian *Russian CVRP Instances* dengan *Nearest Neighbour*.

Tabel 3: Hasil Penyelesaian *Russian CVRP Instances* dengan *Nearest Neighbour*

No	Instance	No Rute	Rute	Panjang Rute (km)	Total Panjang Rute (km)	Waktu (detik)
1	AK-47-CVRP	1	1-23-4-39-38-29-15-12-1	5632	60857	3,7908
		2	1-8-31-5-11-46-28-34-20-1	5360		
		3	1-25-26-27-24-14-21-42-30-1	13568		
		4	1-7-18-9-41-6-1	5752		
		5	1-16-33-32-17-47-1	6494		
		6	1-36-13-10-19-45-1	7604		
		7	1-22-2-40-44-1	6623		
		8	1-37-3-35-43-1	9824		
2	Gagarin-108-CVRP	1	1-95-83-101-2-81-94-55-30-1	912	75920	9,6409
		2	1-48-93-22-72-45-65-86-6-67-20-1	2242		
		3	1-60-44-58-47-88-17-53-90-1	2515		
		4	1-40-32-69-33-16-11-1	3777		
		5	1-97-98-3-99-35-56-100-76-52-1	2874		
		6	1-63-64-70-42-9-85-7-1	2757		
		7	1-104-102-107-18-34-21-1	2778		
		8	1-43-71-10-19-82-57-103-1	4524		
		9	1-41-87-14-49-5-106-46-75-1	4100		
		10	1-13-59-36-37-89-62-74-1	3597		
		11	1-105-61-12-28-78-54-31-8-79-1	8665		
		12	1-50-68-38-39-92-29-96-1	8590		
		13	1-4-23-15-77-80-25-51-84-1	11801		
		14	1-66-91-26-27-73-24-108-1	16788		
3	Mendeleev-101-CVRP	1	1-31-5-86-14-96-91-21-34-9-1	2902	116248	9,3913
		2	1-81-76-8-4-71-23-29-38-1	2866		
		3	1-11-46-12-75-70-18-20-1	2952		
		4	1-60-28-65-7-16-33-6-53-1	6428		
		5	1-41-80-42-85-90-45-69-1	4215		
		6	1-39-15-66-25-61-26-1	9078		
		7	1-95-22-79-2-74-10-1	5302		
		8	1-100-98-99-94-35-93-1	6545		
		9	1-30-40-64-32-17-59-13-1	4726		
		10	1-36-55-37-51-19-54-58-1	6995		
		11	1-89-84-48-44-63-47-1	5162		
		12	1-3-88-83-78-43-73-92-1	15255		
		13	1-101-52-50-97-87-82-77-67-1	14100		
		14	1-68-49-27-24-56-57-1	18052		
		15	1-62-72-1	11670		
4	Petersburg-182-CVRP	1	1-169-8-139-46-23-38-116-2-21-1	28	2713	18,4861
		2	1-4-6-31-16-25-28-52-70-1	61		
		3	1-5-45-165-40-14-37-75-10-81-1	34		
		4	1-17-13-9-18-71-59-73-147-1	54		
		5	1-3-142-88-148-156-89-62-161-171-24-1	59		
		6	1-26-30-50-168-166-43-105-32-69-1	88		
		7	1-27-61-93-164-144-57-140-68-1	66		
		8	1-20-174-151-162-173-125-172-163-1	64		
		9	1-84-92-96-72-132-39-115-128-1	76		
		10	1-130-41-129-67-127-66-7-82-112-1	92		
		11	1-99-178-33-80-175-121-154-180-138-1	102		
		12	1-29-79-110-137-60-54-100-42-44-1	123		
		13	1-15-22-35-34-97-78-143-122-153-1	147		
		14	1-135-11-124-49-48-160-90-113-1	97		
		15	1-77-91-134-177-152-95-53-167-146-76-1	158		
		16	1-157-85-109-158-74-12-94-117-1	167		
		17	1-19-114-131-123-126-51-141-120-1	185		
		18	1-104-63-47-65-36-108-106-86-176-56-1	257		
		19	1-83-58-170-181-182-98-118-150-149-103-1	288		
		20	1-101-102-55-179-111-136-64-1	286		
		21	1-87-119-133-145-107-155-159-1	281		

Tabel 3: Hasil Penyelesaian *Russian CVRP Instances* dengan *Nearest Neighbour* (Lanjutan)

No	Instance	No Rute	Rute	Panjang Rute (km)	Total Panjang Rute (km)	Waktu (detik)
5	Popov-250-CVRP	1	1-234-221-14-206-49-222-207-191-148-1	2037	164974	27,7994
		2	1-5-11-176-106-162-75-12-190-21-1	1939		
		3	1-235-68-79-208-193-38-39-92-29-149-1	3949		
		4	1-233-220-205-34-85-175-161-18-107-1	2178		
		5	1-31-54-177-192-178-8-163-179-164-236-1	4402		
		6	1-87-244-243-242-230-229-228-63-64-216-72-22-1	3091		
		7	1-219-41-232-218-204-70-42-189-9-146-1	2752		
		8	1-46-78-133-28-147-7-104-131-32-1	3954		
		9	1-246-247-248-249-250-84-91-137-138-73-26-27-1	12438		
		10	1-20-174-67-160-33-16-102-132-59-1	3631		
		11	1-231-217-203-202-45-201-215-93-214-169-1	3748		
		12	1-6-188-86-173-187-65-186-94-2-101-1	2927		
		13	1-52-105-240-76-227-226-225-35-56-100-1	4139		
		14	1-159-30-172-40-157-156-55-171-170-155-140-1	4200		
		15	1-200-48-199-185-95-83-81-184-196-1-4246--	4246		
		16	1-145-69-144-17-88-127-128-129-130-13-71-241-1	6634		
		17	1-158-143-142-58-141-47-53-126-19-1	5445		
		18	1-213-212-198-183-197-97-211-98-3-1	3830		
		19	1-4-23-96-165-180-194-77-135-1	7001		
		20	1-239-61-238-224-99-210-182-60-44-121-1	7859		
		21	1-120-36-118-50-103-115-116-117-74-119-136-1	11935		
		22	1-90-10-114-113-82-112-89-150-1	9970		
		23	1-15-166-80-25-151-51-134-66-125-1	12253		
		24	1-37-110-62-57-43-168-108-1	7365		
		25	1-245-111-109-237-223-209-195-167-153-1	14244		
		26	1-154-152-122-24-123-124-139-181-1	18807		
6	Russia-10-Nodes-CVRP	1	1-5-8-6-10-1	3283	15911	1,1856
		2	1-2-9-4-7-1	7004		
		3	1-3-1	5624		
7	Russia-20-Nodes-CVRP	1	1-5-8-19-17-6-1	1927	21480	2,2464
		2	1-16-15-12-9-18-1	3108		
		3	1-2-20-13-4-11-1	4061		
		4	1-10-7-3-1	5678		
		5	1-14-1	6706		
8	Siege-of-Leningrad-872-CVRP	1	1-619-620-621-623-624-626-627-628-629-632-633-635-567-1	15	11012	161,4142
		2	1-625-631-169-615-616-617-618-634-636-637-638-639-644-4-1	20		
		3	1-565-570-571-573-574-575-576-577-579-580-584-1	16		
		4	1-641-642-643-646-648-649-650-652-581-645-647-582-1	19		
		5	1-559-560-562-563-564-566-568-569-572-578-583-586-587-654-1	31		
		6	1-613-614-5-552-553-554-555-556-558-6-549-551-1	30		
		7	1-651-653-655-657-658-659-3-660-713-715-723-89-1	52		
		8	1-8-622-630-699-23-46-139-697-45-165-609-610-611-694-1	30		
		9	1-585-588-656-142-88-661-156-148-62-593-512-1	71		
		10	1-640-17-38-703-116-705-2-9-18-71-708-59-162-1	57		
		11	1-612-693-692-40-14-37-698-10-75-700-81-1	37		
		12	1-608-607-543-544-545-547-550-546-548-492-31-561-497-1	43		
		13	1-557-16-491-25-28-487-489-490-488-43-420-32-422-1	74		
		14	1-13-21-706-716-719-662-663-664-724-722-1	66		
		15	1-26-501-500-499-502-50-503-504-30-24-508-509-129-594-1	77		
		16	1-606-689-61-688-93-687-164-27-144-696-57-1	59		
		17	1-589-590-507-171-161-591-592-595-516-517-522-1	100		
		18	1-20-73-174-151-710-712-711-714-718-720-717-138-1	90		
		19	1-168-495-496-498-493-494-166-430-432-135-434-11-1	76		
		20	1-486-52-483-481-482-480-479-478-542-15-476-470-466-1	93		
		21	1-709-147-173-702-701-704-707-77-121-154-180-91-175-795-1	142		
		22	1-84-683-684-92-96-72-132-680-39-681-682-686-178-163-695-1	99		
		23	1-130-41-510-511-67-127-66-513-514-515-44-521-1	96		
		24	1-691-99-68-33-172-125-140-690-80-782-780-152-1	125		
		25	1-505-506-441-7-446-447-448-444-442-445-443-112-49-1	90		
		26	1-29-79-110-726-727-665-730-60-666-54-100-1	107		
		27	1-721-725-729-728-804-731-732-137-733-734-735-526-525-1	169		
		28	1-485-105-484-421-425-426-429-431-433-437-436-438-48-373-160-369-1	112		
		29	1-605-678-676-675-677-34-674-672-673-604-537-539-1	94		
		30	1-70-477-475-412-85-408-406-407-404-402-1	107		
		31	1-69-474-473-472-471-540-541-22-35-538-1	80		
		32	1-124-439-440-378-435-374-375-376-377-372-368-90-1	116		
		33	1-157-424-423-113-418-417-415-414-411-413-353-350-409-1	104		
		34	1-115-685-128-19-114-679-123-131-51-752-64-750-754-756-126-1	133		
		35	1-416-419-362-365-367-427-428-371-12-364-361-158-1	123		
		36	1-469-467-535-536-534-532-533-603-97-601-599-1	121		
		37	1-468-403-101-399-465-464-463-530-460-529-598-122-1	173		
		38	1-82-449-450-451-65-453-454-47-452-455-63-457-1	139		
		39	1-104-518-519-520-523-524-42-596-597-184-528-527-459-387-386-1	188		
		40	1-787-789-794-796-798-799-797-792-95-177-779-783-1	135		
		41	1-410-109-345-346-405-339-401-400-398-332-333-331-330-326-102-1	166		
		42	1-359-74-363-358-360-286-357-284-281-280-279-278-344-1	138		
		43	1-775-771-774-777-773-772-769-770-778-53-784-788-856-1	181		
		44	1-531-602-78-600-669-671-143-670-1	141		
		45	1-764-766-765-763-762-758-757-755-87-760-761-767-1	179		

Tabel 3: Hasil Penyelesaian *Russian CVRP Instances* dengan *Nearest Neighbour* (Lanjutan)

No	Instance	No Rute	Rute	Panjang Rute (km)	Total Panjang Rute (km)	Waktu (detik)
		46	1-134-793-786-790-791-785-781-776-167-146-844-1	176		
		47	1-83-381-382-383-36-108-385-384-456-458-390-248-251-1	272		
		48	1-355-356-354-94-352-348-349-351-347-276-111-343-273-341-340-1	139		
		49	1-141-153-743-741-740-119-744-746-748-751-1	168		
		50	1-366-370-290-289-149-291-136-293-56-287-292-294-98-1	172		
		51	1-379-380-303-305-304-307-308-310-313-314-309-311-1	200		
		52	1-338-337-336-334-117-269-265-266-262-263-55-259-183-1	176		
		53	1-396-395-393-391-394-462-461-397-392-324-328-327-323-1	200		
		54	1-288-285-282-150-283-118-208-212-215-216-207-205-204-195-1	234		
		55	1-801-802-803-800-872-867-866-869-862-850-1	186		
		56	1-342-274-272-179-275-277-270-271-268-267-264-261-260-258-255-187-1	249		
		57	1-297-298-58-299-296-295-170-223-227-176-181-182-1	177		
		58	1-335-329-325-256-257-191-189-196-203-1	225		
		59	1-668-667-737-736-738-739-742-808-812-811-805-837-1	262		
		60	1-300-301-302-233-306-312-246-242-239-237-235-231-232-1	232		
		61	1-388-389-322-321-106-317-86-320-319-318-254-236-1	285		
		62	1-759-753-749-747-745-815-133-120-826-822-825-858-1	247		
		63	1-768-76-846-848-155-843-845-847-855-853-849-841-1	210		
		64	1-852-854-859-864-868-870-871-860-861-865-159-842-1	258		
		65	1-316-315-243-245-247-244-241-240-234-238-197-1	331		
		66	1-839-835-145-831-830-107-836-840-829-833-823-1	235		
		67	1-201-206-210-209-103-211-213-214-217-219-1	251		
		68	1-225-222-224-228-226-221-220-218-230-1	267		
		69	1-821-817-814-813-810-816-819-820-818-824-827-1	263		
		70	1-807-806-809-828-832-838-834-186-851-857-229-1	482		
		71	1-863-252-253-250-249-202-200-185-199-190-1	554		
		72	1-198-194-193-192-188-1	247		
9	World-Cup-Stadium-12-CVRP	1	1-3-7-10-9-1	1885	10793	1,5756
		2	1-2-11-6-1	4000		
		3	1-8-12-5-4-1	4908		
10	Yashin-270-CVRP	1	1-174-235-200-248-236-120-145-180-201-247-123-225-100-232-196-1	153	105616	35,4278
		2	1-166-263-122-204-129-82-94-147-177-164-138-1	131		
		3	1-208-168-193-250-171-178-154-169-109-141-131-1	92		
		4	1-209-213-112-139-93-167-226-160-267-268-1	67		
		5	1-80-205-155-137-159-165-241-221-152-1	442		
		6	1-124-130-142-127-136-110-222-134-175-252-1	331		
		7	1-187-170-269-132-29-39-158-191-54-87-1	1527		
		8	1-261-47-92-21-71-231-44-128-64-161-242-1	1432		
		9	1-57-220-46-245-52-16-31-230-66-19-1	2357		
		10	1-43-59-199-99-96-240-233-146-97-125-98-75-85-1	2854		
		11	1-176-68-219-15-103-101-106-151-1	2126		
		12	1-62-63-5-186-41-157-69-214-8-1	2163		
		13	1-32-237-17-182-6-244-234-190-144-84-33-238-1	2695		
		14	1-55-34-198-251-254-153-2-224-266-51-1	2510		
		15	1-40-211-217-246-216-163-20-13-113-210-218-149-1	3652		
		16	1-156-58-12-114-89-215-117-9-184-257-243-18-1	2981		
		17	1-70-264-102-49-148-173-150-260-140-270-73-118-88-265-1	5318		
		18	1-104-60-203-86-48-228-4-108-259-10-105-35-1	6644		
		19	1-42-81-135-56-61-162-36-258-195-53-1	7478		
		20	1-192-27-121-74-11-45-256-77-1	4767		
		21	1-115-30-179-181-67-78-183-227-262-185-1	8292		
		22	1-194-7-3-239-253-255-37-38-188-197-207-1	7083		
		23	1-119-22-95-91-28-116-14-229-206-172-189-79-1	9932		
		24	1-143-212-76-249-24-50-65-90-25-23-1	14289		
		25	1-83-223-107-111-72-26-126-202-133-1	16300		

Pada tabel 3 dapat dilihat waktu penyelesaian untuk setiap *CVRP Instance* yang digunakan. Dari waktu tersebut terlihat bahwa penyelesaian *CVRP* dengan *Nearest Neighbour* sangat cepat. Hal ini merupakan hal yang wajar karena cara kerja *Nearest Neighbour* yang sangat *simple*.

4. KESIMPULAN

Keunggulan penyelesaian *CVRP* dengan *Nearest Neighbour* adalah waktu penyelesaiannya yang sangat cepat. Hal ini dikarenakan cara kerja *Nearest Neighbour* yang sangat *simple*, yaitu mengunjungi titik terdekat yang belum dikunjungi dan *demand*-nya masih muat untuk diangkut.

Agar dapat diketahui kehandalan *Nearest Neighbour* dalam menyelesaikan *CVRP*, perlu dilakukan perbandingan dengan *heuristic* lainnya, seperti *Savings Algorithm*, *Nearest Neighbour*, *Nearest Insertion* dan lain-lain.

Dikarenakan *Nearest Neighbour* bekerja berdasarkan *heuristic* tentunya solusi yang dihasilkan belum tentu solusi yang terbaik. Untuk meningkatkan kehandalan *Nearest Neighbour* dapat dilakukan dengan melakukan *hybrid* dengan *2-opt*, *Genetic Algorithm*, *Ant Colony Optimization*, *Particle Swarm Optimization* dan lain-lain.

5. REFERENSI

- Abidin, S. Z., Jaini, N. I., & Daud, H. (2025). Decision-Making Support in Vehicle Routing Problems: A Review of Recent Literature. *Journal of Advanced Research in Applied Sciences and Engineering Technology*, 44(2), 124–134. <https://doi.org/10.37934/araset.44.2.124134>
- Bashkim IDRIZI, A. (2020). *NECESSITY FOR GEOMETRIC CORRECTIONS OF DISTANCES IN WEB AND MOBILE MAPS* Bashkim IDRIZI. 1, 462–470.
- Buyukozdemir, K., Bas, A., Yildiz, K., & Uslu, B. C. (2021). A Review of Heuristic Approaches to Vehicle Routing Problems. *2021 IEEE Asia-Pacific Conference on Computer Science and Data Engineering, CSDE 2021, October 2022*, 10–15. <https://doi.org/10.1109/CSDE53843.2021.9718378>
- Garey, M. R. (1979). D, S. Johnson, Computers and Intractability. In *A Guide to the Theory of NP-Completeness*. Gmbh, U. (n.d.). *GeoNames*. Retrieved May 24, 2025, from <https://www.geonames.org/>
- Hameed, A. S., Alrikabi, H. M. B., Abdul-razaq, A. A., Nasser, H. K., Mutar, M. L., & Katea, H. H. (2025). A Detailed Review of the Capacitated Vehicle Routing Problem: Model, Computational Complexity, Solutions, and Practical Applications. *Journal of Internet Services and Information Security*, 15(1), 218–235. <https://doi.org/10.58346/JISIS.2025.I1.014>
- Hansen, J. S. (2011). *GNU Octave: Beginner's Guide: Become a proficient octave user by learning this high-level scientific numerical tool from the ground up*. Packt Publishing Ltd.
- Kalatzantonakis, P., Sifaleras, A., & Samaras, N. (2020). Cooperative versus non-cooperative parallel variable neighborhood search strategies: a case study on the capacitated vehicle routing problem. *Journal of Global Optimization*, 78(2), 327–348. <https://doi.org/10.1007/s10898-019-00866-y>
- Kumar, K., Zindani, D., & Davim, J. P. (2019). *Optimizing Engineering Problems through Heuristic Techniques*. CRC Press.
- Liu, F., Lu, C., Gui, L., Zhang, Q., Tong, X., & Yuan, M. (2023). *Heuristics for Vehicle Routing Problem: A Survey and Recent Advances*. 1–67. <http://arxiv.org/abs/2303.04147>
- Masudin, I., Sa'Diyah, R. F., Utama, D. M., Restuputri, D. P., & Jie, F. (2019). Capacitated Vehicle Routing Problems: Nearest Neighbour vs. Tabu Search. *International Journal of Computer Theory and Engineering*, 11(4), 76–79. <https://doi.org/10.7763/IJCTE.2019.V11.1246>
- Nilsson, C. (2003). Heuristics for the traveling salesman problem. *Linkoping University*, 38(0085–9), 26.
- Quarteroni, A., Saleri, F., & Gervasio, P. (2006). *Scientific computing with MATLAB and Octave* (Vol. 3). Springer.
- Sanggala, E., & Bisma, M. A. (2023a). Analysis of The Ant Number Effects on Ant Colony Optimization for Solving Russia-20-Nodes-SDVRP Instance. *Sainteks: Jurnal Sain Dan Teknik*, 5(2), 163–174.
- Sanggala, E., & Bisma, M. A. (2023b). Perbandingan Savings Algorithm dengan Nearest Neighbour dalam Menyelesaikan Russian TSP Instances. *Jurnal Media Teknik Dan Sistem Industri*, 7(1), 27. <https://doi.org/10.35194/jmtsi.v7i1.3039>
- Sharma, S. K., Routroy, S., & Yadav, U. (2018). Vehicle routing problem: recent literature review of its variants. *International Journal of Operational Research*, 33(1), 1–31.
- Toth, P., & Vigo, D. (2002). *The vehicle routing problem*. SIAM.