



IMPLEMENTASI METODE *CLARKE AND WRIGHT SAVINGS* DALAM PENYELESAIAN *VEHICLE ROUTING PROBLEM* DI PT. ADIGUNA GASINDO

Misbahul Munir¹, Muchamad Kurniawan², Moch. Kalam M³, Indah Setyawati⁴

¹ Teknik Industri, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

^{2,4} Teknik Informatika, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya

³ Teknik Sipil, Institut Teknologi Adhi Tama Surabaya
Surabaya, Jawa Timur, 60117

munir@itats.ac.id, muchamad.kurniawan@itats.ac.id, kalam@itats.ac.id, indahsetyawati@gmail.co.id

Abstract

A vehicle routing problem (VRP) is a problem in finding the most optimal route with the addition of a constraint. PT. Adiguna Gasindo is one of the LPG gas agents who needs help in shipping to agents, the problem is that there is a limit to the amount of LPG cargo that can be transported. In this research, we will solve the LPG delivery problem by optimizing distance and cost. The Clarke and Wright Savings Method, commonly known as the Saving Matrix, will be implemented to complete VRP. In this study, the distance approaches are the nearest insert and nearest neighbor. The test scenarios were carried out using three types of vehicles with different capacities, namely small (225 kg), medium (275 kg), and large (480 kg). The results obtained will be compared with the actual results (routes done) due to validation. From the results of 90 different scenarios, the results obtained by vehicles with large loads are those of vehicles that get the most optimal route in terms of distance and cost. The saving matrix will be more optimal if it is done by adding the nearest insert or nearest neighbor technique.

Keywords: Clarke and Wright Saving, Delivery Route, Nearest Insert, Nearest Neighbor, Saving Matrix, Vehicle Routing Problem

Abstrak

Vehicle routing problem (VRP) merupakan sebuah permasalahan untuk menemukan rute paling optimal dengan tambahan sebuah batasan (*constrain*). PT. Adiguna Gasindo adalah salah satu agen gas LPG. Data yang digunakan pada penelitian adalah data pengiriman harian ke agen-agen disertai data jumlah muatan per kendaraan. Permasalahan pada penelitian ini adalah ketidakefektifan dalam pengiriman gas LPG ke agen-agen. Tujuan penelitian ini adalah menggunakan metode *Saving Matrix* untuk menyelesaikan permasalahan VRP. Metode *Clarke and Wright Savings* atau biasa disebut dengan *Saving Matrix* akan diimplementasikan untuk menyelesaikan VRP. Pada penelitian ini pendekatan jarak yang digunakan adalah *nearest insert* dan *nearest neighbor*. Skenario pengujian yang dilakukan menggunakan tiga jenis kendaraan dengan kapasitas berbeda yaitu kecil (225 kg), sedang (275 kg), dan besar (480 kg). Hasil yang diperoleh akan dibandingkan dengan hasil aktual (rute yang pernah dilakukan) sebagai hasil validasi. Perangkat yang digunakan untuk membangun metode ini menggunakan Bahasa Pemrograman Python dengan IDE Jupiter Notebook. Dari 90 hasil skenario yang berbeda hasil yang diperoleh kendaraan dengan muatan besar adalah kendaraan yang mendapat rute paling optimal baik dari jarak dan biaya. *Saving Matrix* akan lebih optimal jika dilakukan dengan penambahan teknik *nearest insert* atau *nearest neighbor*.

Kata kunci: Clarke and Wright Saving, Nearest Insert, Nearest Neighbor, Rute Pengiriman, Saving Matrix, Vehicle Routing Problem

1. PENDAHULUAN

Transportasi mempunyai peranan penting dalam pendistribusian yang nantinya dapat menjamin perpindahan produk ke *customer* di antara berbagai sistem dengan ketepatan waktu dan efisiensi tinggi serta mengurangi biaya distribusi karena hal tersebut dapat meningkatkan

keuntungan perusahaan secara tidak langsung[1]. Secara umum masalah yang dihadapi perusahaan dalam melakukan pengiriman barang antara lain jumlah permintaan yang berfluktuatif, lokasi pelanggan yang berbeda-beda untuk setiap titik, dan keterbatasan kapasitas muatan[2][3]. Semakin ketatnya persaingan dalam produk yang sama,

membuat perusahaan harus menjamin pendistribusian produk yang efisien dan pemanfaatan waktu transportasi yang tepat[4][5]. Sehingga kecepatan dalam penyediaan produk menjadi salah satu keunggulan bersaing dengan kompetitor.

PT. Adiguna Gasindo adalah salah satu agen gas LPG 3 kg di wilayah Surabaya, perusahaan hanya memanfaatkan titik koordinat pada suatu pangkalan untuk mencari lokasi, tidak untuk menentukan rute pengiriman yang tepat. Pemilihan rute yang digunakan oleh perusahaan selama ini hanya berasas pada perkiraan pengemudi dan rute terdekat dari rute yang terakhir dikunjungi. Perusahaan membutuhkan solusi dalam penentuan dan penjadwalan rute pengiriman untuk meminimalisir tenaga, jarak, dan waktu serta biaya transportasi. Maka kegiatan distribusi dalam perusahaan dapat berjalan dengan lebih efisien dan efektif, dalam hal ini permasalahan yang ada pada perusahaan ini termasuk ke dalam masalah *vehicle routing problem* (VRP)[6]–[8]. VRP merupakan masalah penentuan optimal kendaraan dalam pendistribusian barang dari satu atau lebih lokasi asal ke sejumlah lokasi konsumen di tempat yang berbeda-beda dan juga jumlah permintaan yang sebelumnya sudah diketahui serta memenuhi sejumlah kendala. Terdapat berbagai cara penyelesaian VRP, antara lain dengan menggunakan metode *Clarke And Wright Savings* atau biasa disebut dengan *Saving Matrik*[9]–[11].

Saving Matrik merupakan metode yang berfungsi untuk meminimalkan waktu, biaya atau jarak dengan memperhitungkan kendala yang ada[12]. Metode *Saving Matrik* menjamin solusi dalam penentuan rute yang diperoleh merupakan solusi yang optimal dibandingkan dengan algoritma Greedy, karena metode *Saving Matrik* adalah metode *heuristik* dimana metode ini yang paling banyak digunakan untuk mengonstruksi rute [13] dan total jarak yang diperolehnya lebih kecil dari hasil yang diperoleh menggunakan algoritma Greedy[14]. *Saving Matrik* didapatkan dengan cara menggabungkan titik-titik tujuan yang memiliki penghematan jarak yang terbesar dan memperhatikan volume permintaan *customer* di setiap titik agar tidak melebihi batas kapasitas yang telah ditentukan[15].

Berdasarkan permasalahan yang telah diuraikan tersebut, maka tujuan dari penelitian ini yaitu menentukan rute distribusi optimal agar mendapat jarak dan biaya yang minimum, menghitung jarak yang dihasilkan dengan menggunakan Algoritma *Clark and Wright Savings*, sehingga diketahui apakah metode tersebut memperoleh hasil yang optimal dalam menyelesaikan masalah distribusi LPG di PT Adiguna Gasindo. Dalam penelitian ini, asumsi yang digunakan penulis adalah rute distribusi yang dilewati saat mengirimkan produk dari lokasi X ke lokasi Y dianggap sama dengan rute kembali dari lokasi Y ke lokasi X serta biaya bahan bakar, dan tenaga kerja tetap selama penelitian.

2. METODE PENELITIAN

Dalam penelitian ini akan dikembangkan sistem yang mengimplementasi konsep *vehicle routing problem* dengan salah satu algoritma yaitu *Clarke and Wright Savings*. Dalam sistem terdapat beberapa proses yang dimulai dari *input*, proses, dan *output* berupa rute yang terbentuk dari beberapa node yang berasal dari data *customer* atau pangkalan.

Data penelitian ini diambil dari data *customer* atau pangkalan yang diperoleh dari Agen gas LPG 3kg yaitu PT Adiguna Gasindo berupa titik-titik setiap pangkalan kemudian dari titik tersebut didapatkan hasil jarak antar pangkalan dan agen, setelah selesai dilanjutkan ke proses menghitung dengan metode *Clarke and Wright Savings* dengan menentukan *node* dan kapasitas muatan terlebih dahulu, ketika perhitungan memenuhi syarat maka terbentuklah rute. Untuk lebih rinci dari langkah-langkah tersebut, akan dijelaskan pada sub bab selanjutnya.

2.1 Metode Pengumpulan Data, Instrumen Penelitian, dan Metode Pengujian

Langkah selanjutnya adalah melakukan pengumpulan data-data yang diperoleh dari perusahaan berupa informasi dan data sekunder berupa permintaan tiap konsumen, jarak antar toko tiap konsumen, jumlah kapasitas muatan kendaraan yang digunakan dalam pengiriman, serta biaya distribusi yang dikeluarkan perusahaan. Data yang diperoleh kemudian di rekap dan akan di olah untuk selanjutnya digunakan untuk menyelesaikan penelitian dan mendapatkan tujuan penelitian.

2.1.1 Data Jarak Antar *Customer* dan Depot

Untuk mengetahui jarak dari titik depot ke *customer*/pangkalan dan juga sebaliknya, peneliti meminta data secara langsung ke perusahaan berupa odometer dari kendaraan truk secara riil saat perjalanan ke masing–masing *customer* dan juga data jarak dari bantuan Googlemaps, pengukuran jarak antar dua titik dilakukan dengan mengikuti alur pada peta sehingga jarak yang diperoleh mendekati jarak aktual yang ditempuh oleh kendaraan. Jarak dianggap sama, dari titik A ke titik B adalah sama dengan jarak tempuh titik B ke titik A, sehingga matriks yang dihasilkan adalah simetris.

2.1.2 Data Kapasitas Kendaraan

Kendaraan yang digunakan dalam pendistribusian barang ke setiap pangkalan adalah carry pick-up yang bermuatan maksimal 225 tabung LPG 3kg, Mitsubishi L300 bermuatan 275 tabung LPG 3kg dan Truk Canter yang bermuatan 480 tabung LPG 3kg.

2.1.3 Data Jumlah Permintaan

Perusahaan mendistribusikan LPG ke 15 pangkalan atau *customer* di Surabaya, jumlah permintaan berbeda-beda setiap harinya dan tidak ada penambahan konsumen baru,

permintaan setiap pangkalan berkisar 30-70 unit per hari dengan total berat isi per unit 8 kilogram.

2.1.4 Data Penggunaan BBM

Untuk kendaraan yang digunakan dalam pendistribusian menggunakan BBM jenis bensin dengan harga per liter Rp. 7.650 dan per liter nya mampu menempuh jarak sebesar 8 KM untuk carry pick up dan 9KM untuk Mistubishi L300, dan jenis solar dengan harga per liter Rp. 5.150 dan per liternya mampu menempuh jarak sebesar 8 KM (Tabel 1).

2.1.5 Perancangan Skenario Uji Coba

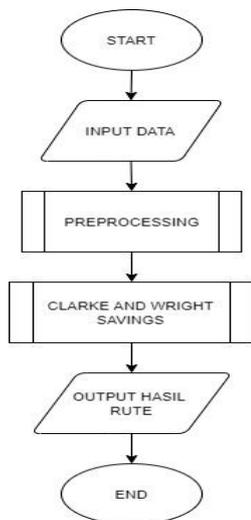
Untuk membuktikan apakah metode *Saving Matrik* cukup efektif, maka dibutuhkan skenario uji coba dengan menggunakan 6-15 *node* sebagai *customer* dan 1 depot sebagai agen pengiriman, dan juga satu kendaraan untuk pengiriman dengan kapasitas angkut yang variatif. Jarak antar *customer* dengan depot sudah diketahui dan dianggap simetris sehingga jarak berangkat dan pulang sama. Pengujian dilakukan dengan membandingkan rute sebelumnya dengan metode yang diusulkan, sehingga hasil yang akan diharapkan nantinya adalah jarak yang paling optimal dengan total jarak terpendek.

Tabel 1. Data Kendaraan dan Kapasitas Angkut

Jenis Kendaraan	Kapasitas Angkut	Jarak Tempuh/Liter	Harga BBM/Liter
Carry Pick Up	225	8km/Liter	Rp. 7.650
Mitsubishi L300	275	9km/Liter	Rp. 7.650
Truk Canter	480	8km/Liter	Rp. 5.150

2.2 Tahapan Penelitian

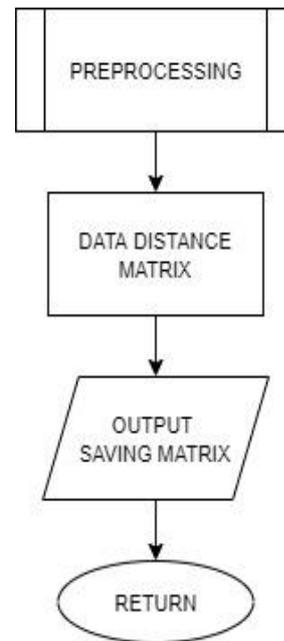
Alur kerja penelitian terdapat 4 tahapan: input data, *pre-processing*, proses penentuan rute dengan metode *Saving Matrik*, dan tahapan terakhir adalah hasil dari rute yang terbentuk. Tahapan penelitian tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Flowchart Alur Perancangan Sistem

2.2.1 Pre-processing

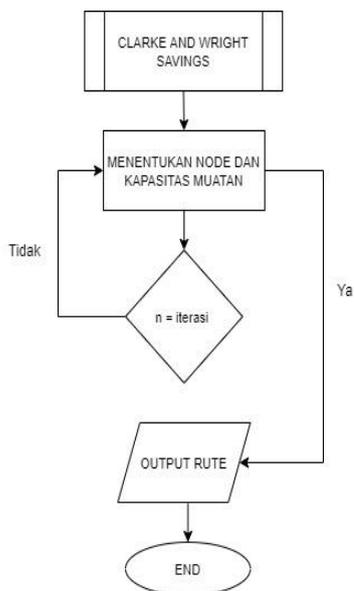
Terdapat beberapa proses yang perlu dilakukan pada *pre-processing*, adapun proses dari *pre-processing* dapat dilihat pada Gambar 2. Gambar 2 tersebut merupakan desain dari proses awal yaitu *pre-processing*. Dalam tahap *pre-processing* data jarak yang diperoleh dari *Longitude Latitude* diolah sehingga menghasilkan jarak antar pangkalan dan agen berupa kilometer. Kemudian data jarak tersebut diolah kembali sehingga menghasilkan *output Saving Matriks*.



Gambar 2. Flowchart Pre-processing

2.2.2 Saving Matrix – Clarke and Wright

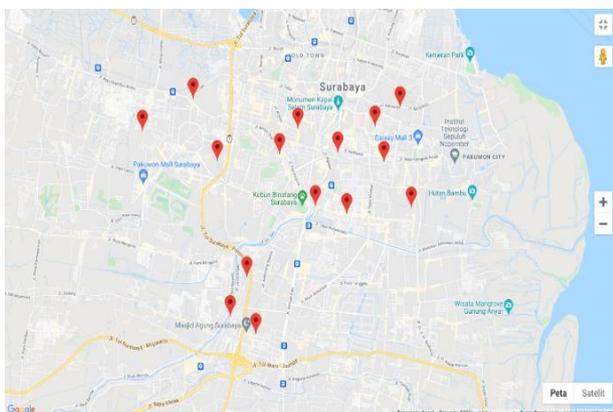
Pada proses *Clarke and Wright Saving*, *node* dan kapasitas muatan ditentukan terlebih dahulu untuk memperoleh sebuah rute. Setelah perhitungan yang dilakukan dan membentuk sebuah iterasi maka *output* yang nantinya dihasilkan adalah rute dengan masing-masing titik dan penomoran setiap titik yang akan dikunjungi. Gambar 3 berikut merupakan desain dan beberapa tahap pada proses *Clarke and Wright Saving*.



Gambar 3. Flowchart Clarke and Wright Saving

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Dataset yang digunakan dalam penelitian ini adalah data yang didapat dari perusahaan berupa jumlah pangkalan, alamat, serta koordinat yang didapat dari Google Maps serta jenis kendaraan dan kapasitas angkut muatan kendaraan tersebut. Total jumlah pangkalan adalah sepuluh pangkalan dengan lokasi yang tersebar di kota Surabaya, setiap pangkalan memiliki masing-masing permintaan setiap harinya dengan jumlah permintaan yang fluktuatif. Titik yang digunakan sebagai pusat pengiriman berjumlah satu dan titik tersebut dinamakan Depot. Hasil presentasi data pada Google Maps dapat dilihat pada Gambar 4.



Gambar 4. Presentasi Data pada Google Maps

Dalam tahap ini dilakukan uji coba dengan menggunakan 6 sampai 15 *node* yang mana masing-masing *node* telah ditentukan jumlah permintaannya. Untuk pengiriman menggunakan kendaraan Carry Pick Up yang mampu memuat LPG 3 kg sebanyak 225 tabung, Mitsubishi L300 yang mampu memuat sebanyak 275 tabung, dan Truk Canter yang mampu memuat sebanyak 480 tabung. Tabel 2 merupakan data aktual dari pangkalan dan permintaan pengiriman.

Tabel 2. Data Pangkalan dan Permintaan

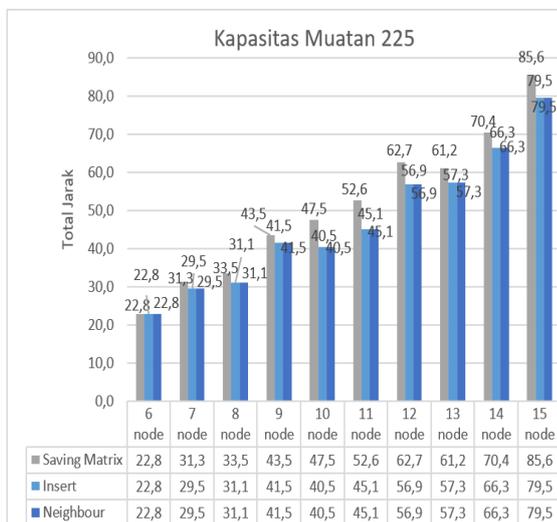
No. Node	Pangkalan	Permintaan
1	Maksum	55
2	Sarno	50
3	Sadiyanto	50
4	Samsudiono	55
5	Pujiono	70
6	Trisusilowati	45
7	Wiwiek	60
8	Tirto	60
9	Ainur	40
10	Riamah	35
11	Merpati	50
12	Wares	40
13	Munthalib	60
14	Tresnawati	65
15	Meity	65
Total		800

Dari hasil uji coba yang telah dilakukan menggunakan 3 kapasitas muatan yang berbeda, 3 metode dan 15 *dataset* menghasilkan 90 hasil yang berbeda. Hasil total jarak yang diperoleh berdasarkan jumlah kapasitas muatan, masing-masing metode dengan beberapa rute serta jumlah pangkalan dengan masing-masing jumlah permintaan.

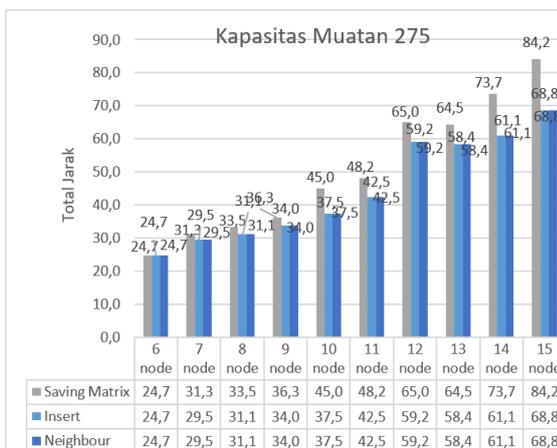
Pada penelitian ini dilakukan pengujian secara manual pada setiap metode dan juga *dataset* untuk mengetahui hasil yang optimal, hasil yang diperoleh tersebut kemudian dilakukan pengujian sehingga memperoleh hasil yang baik pada penelitian ini. Pengujian dengan jumlah *node*, kapasitas muatan, serta metode yang berbeda akan menghasilkan total jarak yang berbeda. Seperti yang dilakukan pada uji coba sub bab 4.4.1 dalam beberapa hasil jika menggunakan kapasitas muatan yang kecil yaitu 225 maka total jarak yang dihasilkan lebih besar dari kapasitas muatan 275 dan 480. Jika menggunakan kapasitas muatan sedang yaitu 275 maka total jarak yang dihasilkan lebih kecil dari kapasitas muatan 225 namun lebih besar dari kapasitas muatan 480. Dan jika menggunakan kapasitas muatan besar yaitu 480 maka total jarak yang dihasilkan lebih kecil dari kapasitas muatan 225 dan 275. Dengan ini bisa dinyatakan bahwa semakin kecil kapasitas muatan yang digunakan maka semakin besar total jarak yang dihasilkan, semakin banyak juga rute yang dilalui dan sebaliknya jika kapasitas muatan yang digunakan semakin besar maka total jarak yang dihasilkan akan semakin kecil dan rute yang dilalui semakin sedikit.

Percobaan dengan beberapa metode juga mempengaruhi hasil total jarak yang didapat. Dari 90 hasil uji coba terdapat 3 metode yang digunakan yaitu *Saving Matrik*, *Nearest Insert*, dan *Nearest Neighbour*. Dari ketiga metode tersebut hasil dari *Saving Matrik* memiliki total jarak yang lebih besar dari dua metode lainnya, sedangkan kedua metode yaitu *Nearest Insert* dan *Nearest Neighbour* memiliki hasil total jarak yang lebih kecil atau sama besar dengan total

jarak pada *Saving Matrik*, *Nearest Insert*, dan *Nearest Neighbour* selalu memiliki hasil total jarak yang sama yang artinya tidak ada beda antara metode kedua metode, hal itu dikarenakan kedua metode tersebut memiliki konsep yang sama yaitu mengunjungi titik terdekat dari titik terakhir yang dikunjungi dan fungsi dari kedua metode sendiri yaitu digunakan untuk menyusun rute yang dihasilkan oleh *Saving Matrik* untuk mendapatkan rute yang lebih optimal. Dengan kata lain sejauh ini hasil dari *Saving Matrik* jika dilakukan pendekatan dengan metode *Nearest Insert* dan *Nearest Neighbour* menghasilkan total jarak yang lebih kecil atau hasil yang lebih bagus. Gambar 4 hingga Gambar 6 akan menampilkan grafik hasil total jarak setiap muatan yang berbeda yaitu 225, 275 dan 480. Pada Gambar 4 merupakan hasil total jarak jika menggunakan kapasitas muatan 225. Adapun Gambar 5 merupakan hasil total jarak jika menggunakan kapasitas muatan 275, dan Gambar 6 merupakan hasil total jarak jika menggunakan kapasitas muatan 480.



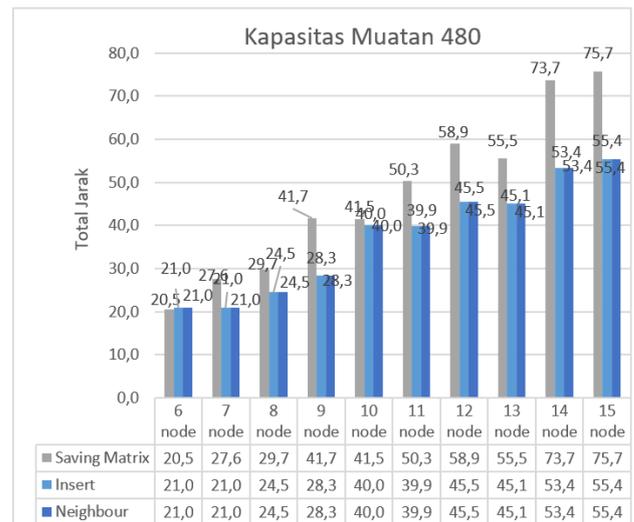
Gambar 4. Grafik Hasil Kapasitas Muatan Kecil



Gambar 5. Grafik Hasil Kapasitas Muatan Sedang

Dari hasil percobaan yang telah dilakukan dengan menggunakan 90 hasil sebagai pertimbangan, dapat disimpulkan bahwa kapasitas muatan 480 memiliki jumlah

total jarak yang diperoleh lebih kecil dan rute yang dilalui lebih sedikit, hal itu dikarenakan semakin besarnya muatan yang digunakan maka kendaraan bisa mengangkut banyak permintaan dan mengunjungi banyak *node* dalam sekali keberangkatan. Untuk metode yang paling optimal dari ketiga metode tersebut adalah hasil dari metode *Nearest Insert* dan *Nearest Neighbour* hal ini dikarenakan total jarak yang diperoleh kedua metode tersebut sama dan lebih kecil dari hasil total jarak pada metode *Saving Matrik*. Berikut adalah hasil perbandingan dari rata-rata total jarak dari setiap muatan dan metode yang digunakan.



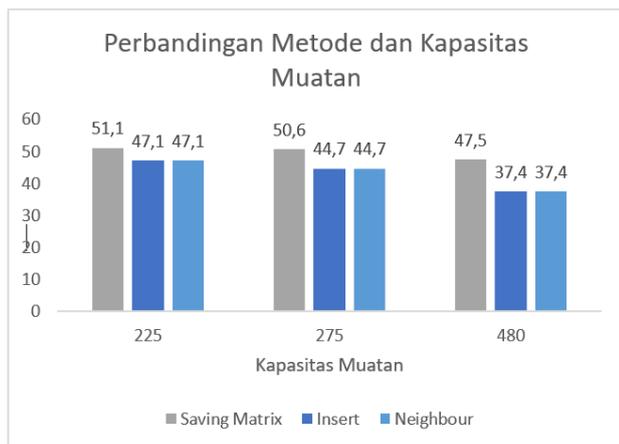
Gambar 6. Grafik Hasil Kapasitas Muatan Besar

Pada Gambar 7 dapat diketahui grafik hasil rata-rata dari setiap metode dengan kapasitas muatan yang berbeda. Hasil tersebut diperoleh dengan menjumlah total jarak yang memiliki metode dan kapasitas muatan yang sama kemudian dibagi dengan jumlah data yang sesuai. Dari hasil tersebut dapat disimpulkan bahwa kapasitas muatan 480 memiliki rata-rata total jarak yang lebih kecil dengan pendekatan metode *Nearest Insert* dan *Nearest Neighbour*.

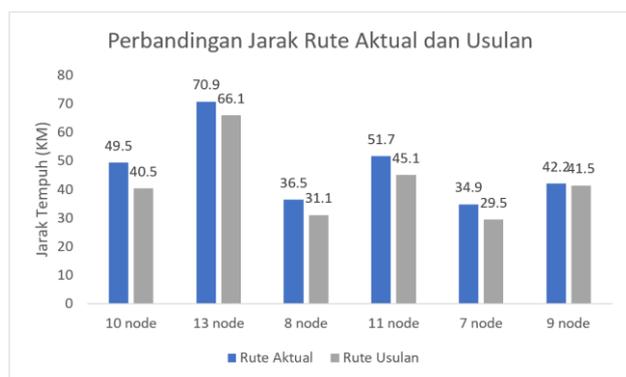
Tabel 3. Perbandingan Rute Usulan dan Rute Aktual

Jumlah Pangkalan	Jarak Tempuh (km)		Biaya BBM (Rp)	
	Aktual	Usulan	Aktual	Usulan
10	49,5	40,5	Rp. 47.334	Rp. 38.684
13	70,9	66,1	Rp. 67.796	Rp. 63.212
8	36,5	31,1	Rp. 34.927	Rp. 29.766
11	51,7	45,1	Rp. 49.464	Rp. 43.133
7	34,9	29,5	Rp. 33.418	Rp. 28.209
9	42,2	41,5	Rp. 40.397	Rp. 35.112
TOTAL	286,9	253,8	Rp. 274.487	Rp. 238.116

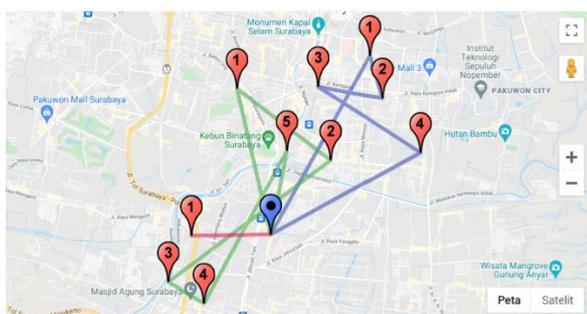
Tabel 3 merupakan hasil perbandingan antara jarak tempuh dan biaya BBM pada rute aktual dan rute yang di usulkan menggunakan metode *Saving Matrik* dengan Pendekatan *Nearest Insert* atau *Nearest Neighbour*. Grafik perbandingan total jarak tempuh (KM) antara rute hasil algoritma *Saving Matrix* dan rute aktual dapat dilihat pada Gambar 8. Sedangkan Gambar 9 merupakan tampilan aplikasi untuk rute yang dihasilkan dari algoritma.



Gambar 7. Grafik Hasil Kapasitas Muatan Besar



Gambar 8. Presentasi Data pada Google Maps



Gambar 9. Presentasi route VRP yang terbentuk pada Google Maps

4. KESIMPULAN

Berdasarkan analisis dan hasil uji coba yang telah dilakukan dalam aplikasi maka dapat dibuat kesimpulan sebagai berikut:

1. Proses pengujian dengan tiga kapasitas muatan kendaraan yang berbeda serta tiga metode yang berbeda dengan total 90 hasil, menghasilkan total jarak

terpendek yaitu menggunakan kendaraan dengan muatan 480 tabung LPG dan hasil terbaik dengan total jarak terpendek dari metode *Nearest Insert* atau *Nearest Neighbour*.

2. Hasil pengujian menggunakan metode *Saving Matrik*, *Nearest Insert* dan *Nearest Neighbour* terhadap *Vehicle Routing Problem* dengan total 15 dataset dan 90 hasil, menghasilkan total jarak yang pendek jika dibandingkan dengan rute aktual yang digunakan tanpa metode, dengan mempertimbangkan jumlah node, kapasitas kendaraan dan metode yang digunakan.
3. Hasil pengujian dari metode *Saving Matrik* memiliki total jarak yang lebih pendek dari rute aktual yang digunakan, namun lebih optimal lagi apabila hasil dari *Saving Matrik* tersebut dilakukan pendekatan dengan Metode *Nearest Insert* atau *Nearest Neighbour*.

Saran dari penelitian ini adalah menggantikan metode dengan teknik berbasis pembelajaran (*Machine Learning*). Hal tersebut menjadi saran kami dikarenakan terdapat keterbatasan dikarenakan tingginya komputasi pada waktu eksekusi program, jika menggunakan metode berbasis pembelajaran waktu komputasi akan membutuhkan komputasi tinggi, tetapi waktu eksekusi testing komputasi akan sangat ringan.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] R. Yuniarti and M. Astuti, "Penerapan Metode *Saving Matrik* Dalam Penjadwalan Dan Penentuan Rute Distribusi Premium Di SPBU Kota Malang," *Jurnal Rekayasa Mesin*, vol. 4, 2013.
- [2] B. Padmanabhan, N. Huynh, W. Ferrell, and V. Badyal, "Potential benefits of carrier collaboration in vehicle routing problem with pickup and delivery," *Transportation Letters*, vol. 14, no. 3, pp. 258–273, Mar. 2022, doi: 10.1080/19427867.2020.1852506.
- [3] Y. Ancele, M. H. Hà, C. Lersteau, D. Ben Matellini, and T. T. Nguyen, "Toward a more flexible VRP with pickup and delivery allowing consolidations," *Transp Res Part C Emerg Technol*, vol. 128, p. 103077, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.trc.2021.103077.
- [4] V. F. Yu, H. Susanto, Y.-H. Yeh, S.-W. Lin, and Y.-T. Huang, "The Vehicle Routing Problem with Simultaneous Pickup and Delivery and Parcel Lockers," *Mathematics*, vol. 10, no. 6, 2022, doi: 10.3390/math10060920.
- [5] Ç. Koç, G. Laporte, and İ. Tükenmez, "A review of vehicle routing with simultaneous pickup and delivery," *Comput Oper Res*, vol. 122, p. 104987, 2020, doi: https://doi.org/10.1016/j.cor.2020.104987.
- [6] I. Kucukoglu, R. Dewil, and D. Cattrysse, "The electric vehicle routing problem and its variations: A literature review," *Comput Ind Eng*, vol. 161, p. 107650, 2021, doi: https://doi.org/10.1016/j.cie.2021.107650.

- [7] G. D. Konstantakopoulos, S. P. Gayialis, and E. P. Kechagias, "Vehicle routing problem and related algorithms for logistics distribution: a literature review and classification," *Operational Research*, vol. 22, no. 3, pp. 2033–2062, 2022, doi: 10.1007/s12351-020-00600-7.
- [8] Q. Shang, Y. Huang, Y. Wang, M. Li, and L. Feng, "Solving vehicle routing problem by memetic search with evolutionary multitasking," *Memet Comput*, vol. 14, no. 1, pp. 31–44, 2022, doi: 10.1007/s12293-021-00352-7.
- [9] M. Cengiz Toklu, "A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution," *J Intell Manuf*, vol. 34, no. 5, pp. 2241–2261, 2023, doi: 10.1007/s10845-022-01917-0.
- [10] B. Herdianto and Komarudin, "Guided Clarke and Wright Algorithm to Solve Large Scale of Capacitated Vehicle Routing Problem," in *2021 IEEE 8th International Conference on Industrial Engineering and Applications (ICIEA)*, 2021, pp. 449–453. doi: 10.1109/ICIEA52957.2021.9436750.
- [11] M. Cengiz Toklu, "A fuzzy multi-criteria approach based on Clarke and Wright savings algorithm for vehicle routing problem in humanitarian aid distribution," *J Intell Manuf*, vol. 34, no. 5, pp. 2241–2261, 2023, doi: 10.1007/s10845-022-01917-0.
- [12] Lukmandono, M. Basuki, M. J. Hidayat, and F. B. Aji, "Application of Saving Matrix Methods and Cross Entropy for Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) Resolving," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 462, no. 1, p. 012025, 2019, doi: 10.1088/1757-899X/462/1/012025.
- [13] N. A. F. P. Adam, I. P. Sari, A. Tasya, W. Sutopo, and Yuniaristanto, "Determination of Routes for Daily Newspaper Product Distribution with Saving Matrix Methods," *IOP Conf Ser Mater Sci Eng*, vol. 943, no. 1, p. 12040, Oct. 2020, doi: 10.1088/1757-899X/943/1/012040.
- [14] D. E. Febriyanti, R. Primadasa, and S. B. Sutono, "Determination of Distribution Routes Using the Saving Matrix Method to Minimize Shipping Costs at PT. SUKUN TRANSPORT LOGISTICS," *SPEKTRUM INDUSTRI*, 2022, doi: 10.12198/spektrum.v20i1.18.
- [15] K. Sörensen, F. Arnold, and D. Pálhazı Cuervo, "A critical analysis of the 'improved Clarke and Wright savings algorithm,'" *International Transactions in Operational Research*, vol. 26, no. 1, pp. 54–63, 2019, doi: <https://doi.org/10.1111/itor.12443>.