
Optimasi Rute Kendaraan pada Pendistribusian Produk Agroindustri Menggunakan Metode Sweep dan Nearest-Neighbor

Solihin*¹, Rifki Muhendra², Murwan Widyantoro³, Al Munawir⁴

^{1,2,3}Teknik Industri, Fakultas Teknik, UBJ, Jakarta, Indonesia

⁴Jurusan Teknik Mesin Fakultas Teknik Universitas Teuku Umar

e-mail : *solihin@dsn.ubharajaya.ac.id, rifki.muhendra@dsn.ubharajaya.ac.id,
murwan@dsn.ubharajaya.ac.id, almunawir@utu.ac.id.

Abstrak

Perusahaan AI merupakan produsen produk agroindustri. Produk yang dihasilkan dari industri pertanian, misalnya sayuran, buah-buahan dan sebagainya. Produk-produk ini mudah rusak. Oleh karena itu sistem transportasi dalam pendistribusian produk perlu dilakukan dalam waktu sesingkat mungkin. Disamping itu penggunaan kendaraan menghasilkan pencemaran udara dan gas rumah kaca yang memicu pemanasan global. Penelitian ini mengusulkan metode Sweep dan Nearest-Neighbor untuk meminimalkan jarak tempuh rute kendaraan dalam mendistribusikan produk dari perusahaan AI ke berbagai pelanggan. Dengan meminimalkan jarak tempuh diharapkan juga dapat berkontribusi dalam penurunan emisi CO₂. Metode Sweep dimaksudkan untuk mengkluster lokasi tujuan dan algoritma Nearest-Neighbor digunakan untuk mendapatkan rute terpendek sehingga diperoleh jarak tempuh terpendek. Dari hasil studi ini, sebelum optimasi, jarak tempuh pengiriman barang yang biasa dilakukan oleh perusahaan AI adalah 10,077.00 km dan turun menjadi 9,286.00 km per tahun setelah dilakukan optimasi. Adapun emisi CO₂ per tahun sebelum optimasi adalah sebesar 2147.95 kgCO₂e sedangkan setelah optimasi jarak tempuh, emisi CO₂ menurun menjadi 1979.13 kgCO₂e.

Kata kunci— Optimasi, Transportasi, Metode Sweep, Algoritma Nearest-Neighbour

Abstract

AI Company is a producer of agro-industrial products. Products produced from the agricultural industry, for example vegetables, fruit and so on. These products are easily damaged. Therefore, the transportation system for product distribution needs to be carried out in the shortest possible time. Besides that, vehicle use produces air pollution and greenhouse gases which trigger global warming. This research proposes the Sweep and Nearest-Neighbor methods to minimize vehicle route distances in distributing products from AI companies to various customers. By minimizing the distance traveled, it is hoped that it can also contribute to reducing CO₂ emissions. The Sweep method is intended to cluster destination locations and the Nearest-Neighbor algorithm is used to get the shortest route so that the shortest distance is obtained. From the results of this study, before optimization, the usual delivery distance for goods carried out by AI companies was 10,077.00 km and decreased to 9,286.00 km per year after optimization. The CO₂ emissions per year before optimization were 2147.95 kgCO₂e, while after optimizing the distance traveled, CO₂ emissions decreased to 1979.13 kgCO₂e.

Keywords—Optimization, Transportation, Sweep Method, Nearest-Neighbour Algorithm

1. PENDAHULUAN

Perusahaan AI merupakan produsen sayuran yang berlokasi di Kabupaten Bandung. Sayur hasil produksi Perusahaan AI didistribusikan ke 12 pasar modern di sekitar Kota Bandung. Dalam pendistribusian produk dari perusahaan AI ke lokasi tujuan pelanggan seringkali tidak sesuai karena menggunakan rute transportasi berdasarkan rute yang difahami oleh pengemudi. Oleh karena itu, perlu adanya upaya untuk menciptakan sistem pendistribusian yang mampu menghasilkan rute optimal. Hasil pengoptimalan rute tersebut menjadi pedoman bagi pengemudi dalam melakukan pendistribusian produk dari perusahaan AI ke tujuan yang telah ditetapkan.

Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) merupakan Model transportasi yang banyak digunakan dalam pendistribusian produk [1]. Jalur distribusi dilalui merupakan hal yang harus diperhatikan dalam pendistribusian produk dari pemasok ke konsumen. Beberapa penelitian telah mengadopsi Algoritma Sweep untuk menyelesaikan *Vehicle Routing Problem (VRP)* untuk menentukan rute distribusi yang optimal. Metode ini berfungsi untuk menentukan jalur distribusi dan pengelompokan wilayah dengan jarak terdekat [2],[3].

Metode solusi VRP terbagi dalam dua kategori utama: metode eksak dan heuristik. *Branch-and-bound* and *branch-and-cut* merupakan metode eksak yang sering digunakan dalam penelitian mengenai permasalahan transportasi [4]. Sementara itu Heuristik adalah metode yang menghasilkan solusi yang baik dalam praktiknya tetapi tidak menjamin optimalitas. Heuristik klasik terbagi ke dalam tiga subkategori: heuristik konstruktif, heuristik dua fase, dan metode perbaikan [4], [5].

Untuk menyelesaikan permasalahan VRP dapat menggunakan beberapa metode, salah satu metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode dua tahap yaitu pengklasteran dan perutean objek tujuan. Metode pengklasteran yang digunakan dalam penelitian ini adalah metode sweep, sedangkan untuk perutean menggunakan algoritma *Nearest-Neighbour*. Perutean menggunakan algoritma metode *Nearest-Neighbour* merupakan salah satu metode yang biasa digunakan dalam *Traveling Salesman Problem (TSP)*. Dasar dari konsep TSP adalah permasalahan seorang pedagang keliling yang berusaha mencari rute terpendek untuk mengunjungi sejumlah kota [6], [7]. Berdasarkan data yang dikumpulkan terdapat dua belas pelanggan toko sayuran yang tersebar di sekitar kota Bandung (Tabel 1.1).

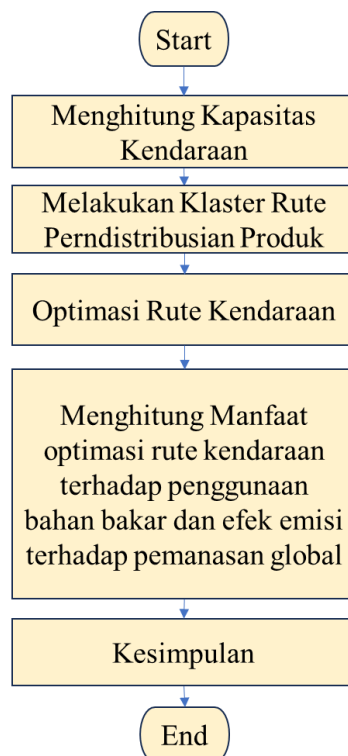
Penelitian ini bertujuan meminimalkan jarak tempuh kendaraan sehingga dapat menghasilkan pendistribusian yang ekonomis dan efisien serta menurunkan emisi gas CO₂. Berdasarkan konsumsi dari bahan bakar yang digunakan berdasarkan jarak tempuh yang diperoleh.

Tabel 1.1 Data Pelanggan Perusahaan AI

Depot	No.	Pelanggan	Jarak (KM)	Permintaan Kg/Bulan
AI AGRICULTURE	1	K_Kopo	36.5	300
	2	K_Rajawali	36.7	240
	3	K_Moch. Ramdhan	38.5	270
	4	K_Naripan	39.1	240
	5	K_Veteran	39.3	270
	6	K_Cimahi	40.9	180
	7	K_Piset Square Mall	45.8	240
	8	K_Dago	46.1	300
	9	K_Metro	47.3	240
	10	K_Antapani	49.9	300
	11	K_Ujungberung	53.4	180
	12	K_Jatinangor	57.4	240

2. METODE PENELITIAN

Studi ini merupakan penelaahan tentang optimalisasi rute kendaraan untuk meminimalkan jarak kendaraan sehingga menghasilkan penggunaan bahan bakar yang minimal. Penggunaan bahan bakar yang minimal menghasilkan efek rumah kaca yang minimal pula. Adapun Langkah-langkah dalam penelitian ini dilakukan seperti pada gambar 2.1.



Gambar 2.1 Alur Penelitian

2.1 Perhitungan Kapasitas Kendaraan.

Perencanaan armada transportasi merupakan sarana untuk megkantarkan produk dari produsen atau sumber ke pengguna atau pelanggan. Agara pelaksanaan pengantaran produk tersebut efektif efisien, maka perlu dilakukan perencanaan sehingga penggunaanya seuai dengan yang diharapkan. Komponen dalam perencanaan armada transportasi adalah banyaknya jumlah permintaan dan kapasitas kendaraan. Proses perhitungan kapasitas kendaraan melibatkan tiga Langkah yaitu :

1. Menghitung jumlah permintaan produk.
2. Menghitung kapasitas kendaraan.
3. Menentukan kebutuhan kendaraan

2.2 Klasterisasi Rute Kendaraan

Algoritma sweep adalah algoritma konstruktif dua fase yang terdiri dari dua tahap yang dikenal sebagai cluster-first, route-second [3]. Algoritma sapuan diterapkan untuk mengelompokkan node pelanggan yang diberikan adalah sebagai berikut :

1. Dengan menggunakan posisi masing-masing pelanggan dalam koordinat Kartesius dan menetapkan lokasi depot (AI) sebagai titik pusat koordinat, titik koordinat dapat ditemukan. Google Maps dapat digunakan untuk menemukan titik koordinat tersebut (x,y). Koordinat tersebut dirubah kedalam koordinat kutub (r,θ)
2. Merubah koordinat kartesius (x,y) menjadi koordinat kutub (r,θ) dengan menggunakan rumus;

$$r = \sqrt{x^2 + y^2} \dots\dots\dots (1)$$

$$\theta = \frac{x}{y} \dots\dots\dots (2)$$

3. Pengklaseran dimulai dari pelanggan yang memiliki sudut polar terkecil hingga sudut terbesar dengan mempertimbangkan kapasitas kendaraan, pastikan semua agen yang terlibat sudah dikelompokkan ke dalam cluster ini, pengelompokan dihentikan jika ada salah satu cluster yang akan melebihi kapasitas maksimum kendaraan, jika hal ini terjadi maka dibuat cluster yang baru seperti langkah sebelumnya.

2.3 Optimalisasi Rute Kendaraan

Penentuan rute menggunakan algoritma nearest neighbor mengikuti langkah-langkah berikut [2] ;

1. Tentukan satu titik sebagai titik awal perjalanan yaitu dari depo perusahaan dalam kasus ini adalah perusahaan AI.
2. Menentukan himpunan titik koordinat yang akan dikunjungi kendaraa (Pelanggan)
3. Menetapkan urutan jalur distribusi sementara
4. Langkah dilanjutkan dengan memilih titik selanjutnya yang akan dikunjungi; jika n-1 adalah suatu titik pada barisan terakhir rute R, maka titik berikutnya n-2 mempunyai jarak terpendek dari n-1, dimana n-2 adalah anggota himpunan koordinat. Jika

pilihan yang lebih optimal berarti lebih dari satu titik yang jaraknya sama dengan titik terakhir pada rute R dan jarak tersebut merupakan jarak minimum.

5. Tambahkan titik yang dipilih dengan menambahkan titik n-1 ke urutan terakhir rute sementara dan menghapus titik yang dipilih dari daftar titik yang belum dikunjungi.
6. Langkah terakhir adalah ketika semua poin telah terlewati; kemudian rute ditutup dengan Kembali ke posisi awal (Depot).

2.4 Menghitung Jejak Karbon

Gas rumah kaca (GRK) sebagian besar dihasilkan oleh aktivitas manusia. Karbon dioksida menempati urutan pertama dalam menghasilkan gas rumah kaca. Penyebab utama produksi gas ini adalah pembakaran berlebihan bahan bakar fosil seperti batu bara dan minyak. Gas rumah kaca merupakan penyebab utama pemanasan global. Mereka terdiri dari gas seperti karbon dioksida, metana, dinitrogen oksida, dan kadang-kadang senyawa termasuk klor dan bromin. Keseimbangan radiasi di atmosfer diubah oleh akumulasi gas-gas ini. Karena gas rumah kaca menyerap sebagian radiasi bumi dan kemudian memancarkannya kembali, gas-gas tersebut secara keseluruhan mempunyai efek memanaskan permukaan planet dan atmosfer bagian bawah. Pemanasan bersih mulai dari tahun 1850 hingga akhir abad ke-20 setara dengan hampir 2,5 W/m² dengan kontribusi karbon dioksida mulai 60% [8]. Adapun perhitungan emisi dapat digitung dengan rumus [9]:

$$\text{GRK(kg CO}_2\text{e)} = \text{Jumlah Konsumsi Bahan Bakar} \times \text{Faktor Konversi} \dots (3)$$

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Perhitungan Kebutuhan Jumlah Kendaraan

Tahap awal dalam studi ini adalah menentukan kapasitas kendaraan berdasarkan permintaan masing-masing pelanggan. Dari dua belas pelanggan toko sayuran mempunyai total permintaan sebanyak 3000 kg perhari. Untuk mengirim produk tersebut dilakukan perhitungan kapasitas kendaraan untuk menentukan jumlah kendaraan yang dibutuhkan. Perhitungan kebutuhan jumlah kendaraan disamping berdasarkan kapasitas beban muat, juga ditentukan oleh kapasitas muat berdasarkan jumlah kontainer produk sayuran. Adapun hasil perhitungan jumlah kontainer terdapat pada Table 2.1. Berdasarkan perhitungan jumlah kontainer tersebut diperoleh jumlah kebutuhan kendaraan sebanyak tiga buah kendaraan mobil box diesel dengan kapasitas 2 ton dan volume muatan sebanyak 18 kontainer, seperti tercantum pada Table 2.2. Berdasarkan perhitungan tersebut kebutuhan kendaraan membutuhkan tiga mobil box.

Tabel 2.1 Perhitungan Jumlah Kebutuhan Kontainer

Volume	Volume Container	K_Kopo	K_Rajawali	K_Moch. Ramdhan	K_Naripan	K_Veteran	K-6 Cimahi	K_Piset	K_Dago	K_Metro	K_Antapani	K_Ujungberung	K_Jatinangor	Total	
2,700 cm ³ /kg	220,800 cm ³	60 kg	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	1.0	0.5	0.7	9
2,700 cm ³ /kg	220,800 cm ³	60 kg	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	5
3,240 cm ³ /kg	220,800 cm ³	50 kg	0.7	0.7	0.8	0.8	0.7	0.5	0.7	0.9	0.7	1.1	0.5	0.7	9
3,250 cm ³ /kg	220,800 cm ³	50 kg	0.2	0.2	0.3	0.3	0.2	0.2	0.3	0.2	0.4	0.2	0.2	0.3	3
2,600 cm ³ /kg	220,800 cm ³	50 kg	0.5	0.5	0.5	0.5	0.5	0.4	0.5	0.6	0.5	0.7	0.4	0.5	6
2,700 cm ³ /kg	220,800 cm ³	50 kg	0.1	0.1	0.2	0.2	0.1	0.1	0.1	0.2	0.1	0.2	0.1	0.1	2
2,250 cm ³ /kg	220,800 cm ³	60 kg	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	5
2,048 cm ³ /kg	220,800 cm ³	70 kg	0.3	0.3	0.4	0.4	0.3	0.3	0.3	0.4	0.3	0.5	0.3	0.3	4
2,250 cm ³ /kg	220,800 cm ³	60 kg	0.4	0.4	0.5	0.5	0.4	0.3	0.4	0.5	0.4	0.6	0.3	0.4	5
2,600 cm ³ /kg	220,800 cm ³	60 kg	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.3	0.2	0.3	0.2	0.2	0.3	3
1,960 cm ³ /kg	220,800 cm ³	80 kg	0.2	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	0.2	0.2	0.2	0.1	0.2	2
28,298 cm ³ /kg			4 Kontainer	4 Kontainer	5 Kontainer	5 Kontainer	4 Kontainer	3 Kontainer	4 Kontainer	5 Kontainer	4 Kontainer	6 Kontainer	3 Kontainer	4 Kontainer	51

Tabel 2.2 Kebutuhan Jumlah Kendaraan



Dimensi Box		Jumlah Container
Panjang	2,9 m	3,6 Kontainer
Lebar	1,5 m	2,5 Kontainer
Tinggi	1,5 m	3,3 Kontainer
Total Kontainer per mobil		18,0 Kontainer
Jumlah Mobil	51 : 18	2,8 ≈ 3 mobil

Dengan menggunakan rumus (1) dan (2), maka diperoleh koordinat polar untuk masing-masing tujuan pelanggan seperti pada Tabel 2.3. dan table 2.4.diperoleh tiga buah kluster pengiriman dengan muatan masing-masing Kluster mobil-1 sebanyak 16 kontainer, Kluster mobil-2 sebanyak 18 kontainer dan kluster mobil-3 sebanyak 17 kontainer.

Tabel 2.3 Penentuan jumlah Kluster Berdasarkan Metode Sweep

Depot	No.	Pelangan	Latitude (y)	Longitude (x)	Y	X	X	θ	Jumlah Kontainer
AI AGRICULTURE	12	K_Jatinangor	-6.93071	107.77327	-0.17232	-0.34821	0.49488	26.32987	4
	11	K_Ujungberung	-6.91568	107.70599	-0.18735	-0.28093	0.666899	33.69929	3
	9	K_Metro	-6.93879	107.66773	-0.16424	-0.24267	0.676812	34.09062	4
	10	K_Antapani	-6.91227	107.65887	-0.19076	-0.23381	0.815885	39.21048	5
	7	K_Piset Square	-6.93371	107.62638	-0.16932	-0.20132	0.841059	40.06582	4
	3	K_Moch. Ramdhan	-6.93802	107.60956	-0.16501	-0.18450	0.894374	41.80862	5
	1	K_Kopo	-6.96609	107.57578	-0.13694	-0.15072	0.908585	42.25783	5
	5	K_Veteran	-6.919530	107.61564	-0.18350	-0.19058	0.962861	43.91604	4
	4	K_Naripan No.89	-6.91996	107.61468	-0.18307	-0.18962	0.965468	43.99345	5
	8	K_Dago	-6.9	107.61166	-0.20303	-0.18660	1.08806	47.41491	5
	2	K_Rajawali	-6.91134	107.57468	-0.19169	-0.14962	1.281192	52.02715	4
6	K_Cimahi	-6.88395	107.55408	-0.21908	-0.12902	1.698047	59.50566	3	

Tabel 2.4 Jumlah Kluster dan Muatan Hasil dari Algoritma Metode Sweep

Klastering	Klaster				Muatan
	K_Jatinangor	K_Ujungberung	K_Metro	K_Antapani	
Mobil-1	K_Jatinangor	K_Ujungberung	K_Metro	K_Antapani	16
Mobil-2	K_Piset Square	K_Moch. Ramdhan	K_Kopo	K_Veteran	18
Mobil-3	K_Naripan No.89	K_Dago	K_Rajawali	K_Cimahi	17
Total Muatan					51

3.3 Optimisasi Rute Pengiriman Menggunakan Algoritma Nearest-Neighbor

Berdasarkan rute pengiriman produk berdasarkan tiga metode yang digunakan yaitu metode perutean yang dilakukan oleh perusahaan berdasarkan jarak terdekat antara pelanggan (K) dengan Depot (AI Agricultur), menggunakan metode Sweep dan optimasi rute menggunakan metode Nearest Neighbor menghasilkan jarak tempuh yang berbeda. Total Jarak tempuh semua rute kendaraan menggunakan metode terdekat antara pelanggan (K) dengan depot yang dilakukan oleh perusahaan sejauh 335.9 km perhari dan jarak tempuh berdasarkan klastering Sweep menghasilkan 333.8 km perhari. Sedangkan jarak tempuh hasil optimasi algoritma Nearest-Neighbor sejauh 309.5 km perhari. Hasil optimasi Nearest Neighbor mampu memperpendek jarak tempuh sejauh 26.4 km perhari.

Tabel 3.2 Data Jarak Dari Depot (AI) menuju Pelanggan (K)

Depot (AI)	K-1 Kopo	K-2 Rajawali	K-3 Moch. Ramdhan	K-4 Naripan	K-5 Veteran	K-6 Cimahi	K-7 Pinset	K-8 Dago	K-9 Metro	K-10 Antapani	K-11 Ujungberung	K-12 Jatinangor	
Depot (AI)	0	36.5	36.7	38.5	39.1	39.3	40.9	45.8	46.1	47.3	49.9	53.4	57.4
K_Kopo	36.5	0	12.5	10.3	12.5	13.3	16.5	12	21.4	16.7	17.9	30.5	26.3
K_Rajawali	36.7		0	6.5	4.9	5.2	4.8	8.6	5.9	14.5	12.2	16.2	31.7
K_Moch. Ramdhan	38.5			0	2.3	3	9.8	2	5	9.2	8.3	13.6	20.5
K_Naripan	39.1				0	0.35	9.1	3	3.3	9.4	5.9	11	20.8
K_Veteran	39.3					0	9.7	2.9	3.2	9.3	5.7	10.9	20.6
K_Cimahi	40.9						0	12	8.8	3.8	15.2	19.3	36.8
K_Pinset	45.8							0	6.1	9.4	7	16.2	20.7
K_Dago	46.1								0	11.9	7	11.6	23.2
K_Metro	47.3									0	5.2	7	13.9
K_Antapani	49.9										0	6.3	16.3
K_Ujungberung	53.4											0	9.6
K_Jatinangor	57.4												0

Tabel 3.3 Pengelempokan Awal Pelanggan Berdasarkan Jarak Terdekat dari Depot

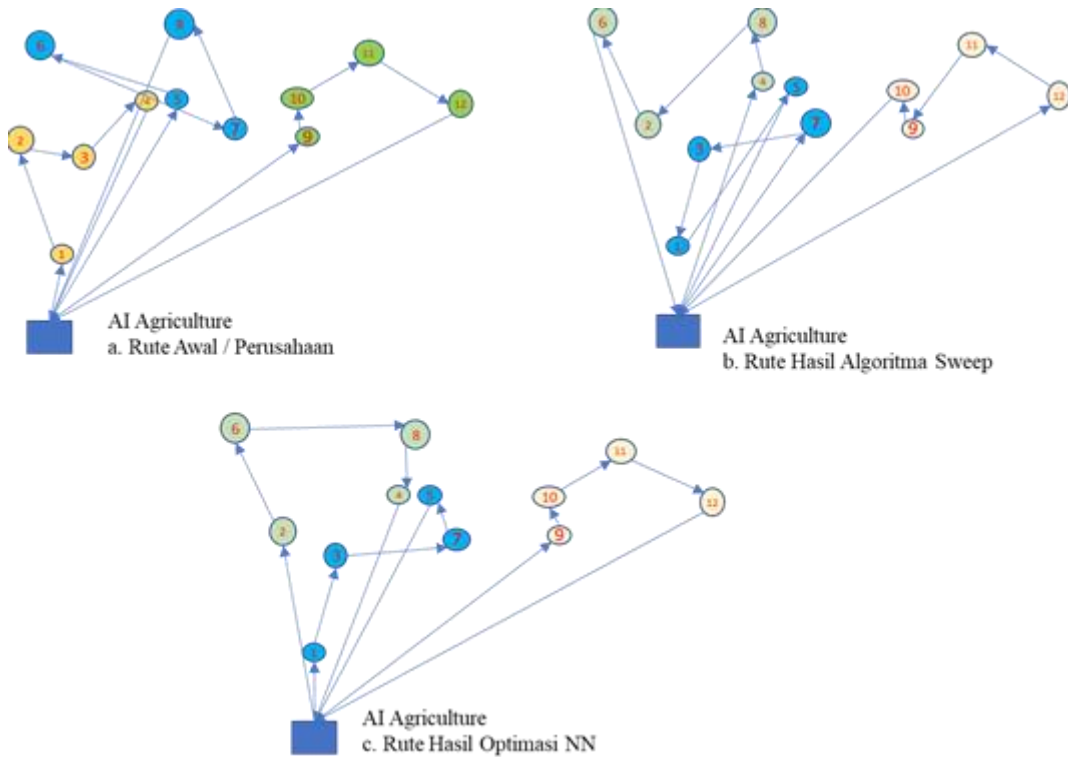
Klaster	Rute						Jarak
Kendaraan-1	Depot	K_Kopo	K_Rajawali	K_M. Ramdan	K_Naripan	Depot	96.9
Kendaraan-2	Depot	K_Veteran	K_Cimahi	K_Pinset	K_Dago	Depot	113.2
Kendaraan-3	Depot	K_Metro	K_Antapani	K_Ujungberung	K_Jatinangor	Depot	125.8
Total Jarak pendistribusian produk							335.9

Tabel 3.4 Kasterisasi Rute Pelanggan Hasil Algoritma Sweep

Klaster	Rute						Jarak
Kendaraan-1	Depot	K_Jatinangor	K_Ujungberung	K_Metro	K_Antapani	Depot	129.1
Kendaraan-2	Depot	K_Pinset	K_M. Ramdan	K_Kopo	K_Veteran	Depot	110.7
Kendaraan-3	Depot	K_Naripan	K_Dago	K_Rajawali	K_Cimahi	Depot	94
Total Jarak pendistribusian produk							333.8

Tabel 3.4 Optimisasi Proses Pendistribusian dengan Algoritma Nearest-Neighbor

Klaster	Rute						Jarak
	Depot	K_Metro	K_Antapani	K_Ujungberung	K_Jatinangor	Depot	
Kendaraan-1	Depot	K_Metro	K_Antapani	K_Ujungberung	K_Jatinangor	Depot	125.8
Kendaraan-2	Depot	K_Kopo	K_Moh Ramadan	K_Pinset	K_Veteran	Depot	91
Kendaraan-3	Depot	K_Rajawali	K_Cimahi	K_Dago	K_Naripan	Depot	92.7
Total Jarak pendistribusian produk							309.5



Gambar 3.1 Rute Pengiriman Produk

3.4 Perhitungan efek manfaat terhadap biaya transportasi dan efek rumah kaca.

Dari analisa yang dilakukan pada penelitian ini diperoleh manfaat penghematan biaya dan penurunan emisi gas CO₂ seperti pada Tabel 3.5. Pada studi ini pengiriman produk menggunakan kendaraan Colt Diesel dengan rata-rata penggunaan bahan bakar 12 km/liter. Assumsi harga bahan bakar adalah Rp 16,000/ liter. Adapun Faktor konversi emisi gas CO₂ untuk bahan bakar diesel adalah 2.55784 kgCO₂e per liter [10].

Tabel 3.5 Manfaat Hasil Optimasi Jarak Tempuh.

Rute	Jarak Rute /bulan	Konsumsi Bahan Bakar	Biaya Bahan Bakar	Emisi Karbon
Rute Awal Perusahaan	10,077.00 km	839.8 liter	Rp 14,191,775.00	2147.95 kgCO ₂ e
Optimasi Nearest-Neighbor	9,285.00 km	773.8 liter	Rp 13,076,375.00	1979.13 kgCO ₂ e
Pengurangan	792.00 km	66.0 liter	Rp 1,115,400.00	168.82 kgCO ₂ e

Dari Tabel 3.5 menunjukkan pengurangan jarak tempuh perbulan sebesar 792 km dengan konsumsi bahan bakar berkurang sebesar 66.00 liter. Dalam se tahun

penghematan bahan bakar sekitar 792 liter. Adapun emisi karbon dengan melakukan optimasi jarak tempuh dapat mengurangi emisi gas CO₂ sebesar 16.82 kgCO₂e perbulan atau sekitar 201.84 kg CO₂e per tahun.

4. KESIMPULAN

Dari hasil optimasi perutean menggunakan metode Nearest Neighbor terjadi perubahan rute masing-masing kelompok tujuan (klaster), terjadi penurunan jarak tempuh, konsumsi bahan bakar dan emisi gas CO₂. Jarak tempuh pengiriman barang yang biasa dilakukan oleh perusahaan AI sebesar 10,077.00 km turun menjadi 9,286.00 km per tahun, berhasil diturunkan jarak tempuh 8%. Adapun emisi CO₂ sebelum optimasi adalah sebesar 2147.95 kgCO₂e sedangkan setelah optimasi jarak emisi CO₂ menurun menjadi 1979.13 kgCO₂e, terjadi penurunan sebesar 168.82 kgCO₂e.

5. SARAN

Emisi gas buang merupakan persoalan global saat ini yang mengakibatkan kenaikan suhu bumi. Emisi gas buang yang mempengaruhi pemanasan global banyak macamnya yaitu; gas karbon dioksida, metana, dinitrogen oksida, klor dan bromin. Dalam penelitian ini hanya menghitung efek emisi CO₂ karena mempunyai 60% kontribusi terhadap pemanasan global. Dengan demikian disarankan dalam penelitian selanjutnya menghitung efek emisi gas yang lainnya.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] V. V. Senthil Kumar and R. Jayachitra, "Linear sweep algorithm for vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery between two depots with several nodes," *Glob. J. Pure Appl. Math.*, vol. 12, no. 1, pp. 897–908, 2016.
- [2] F. Lestari, "Vehicle Routing Problem Using Sweep Algorithm for Determining Distribution Routes on Blood Transfusion Unit," *Proc. Second Asia Pacific Int. Conf. Ind. Eng. Oper. Manag.*, pp. 263–273, 2021.
- [3] R. Hanafi, M. Rusman, F. Mardin, S. M. Parenreng, and A. Azzazli, "Distribution Route Optimization of a Capacitated Vehicle Routing Problem by Sweep Algorithm," *IOP Conf. Ser. Mater. Sci. Eng.*, vol. 875, no. 1, 2020, doi: 10.1088/1757-899X/875/1/012066.
- [4] Suthikarnnarunai N., "A Sweep Algorithm for the Mix Fleet Vehicle Routing Problem," *Int. MultiConference Eng. Comput. Sci. 2008. IMECS 2008*, vol. 2, pp. 19–21, 2008.
- [5] J. Renaud and F. F. Boctor, "A sweep-based algorithm for the fleet size and mix vehicle routing problem," *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 140, no. 3, pp. 618–628, 2002, doi: 10.1016/S0377-2217(01)00237-5.
- [6] I. Sutoyo, "Penerapan Algoritma Nearest Neighbour untuk Menyelesaikan Travelling Salesman Problem," *Paradig. - J. Komput. dan Inform.*, vol. XX, no.

- 1, pp. 101–106, 2018.
- [7] G. Laporte, “The traveling salesman problem: An overview of exact and approximate algorithms,” *Eur. J. Oper. Res.*, vol. 59, no. 2, pp. 231–247, 1992, doi: 10.1016/0377-2217(92)90138-Y.
- [8] S. Abouelfadl, “Global Warming – Causes, Effects and Solution’S Trials,” *JES. J. Eng. Sci.*, vol. 40, no. 4, pp. 1233–1254, 2012, doi: 10.21608/jesaun.2012.114490.
- [9] E. Loyarte-I, M. Barral, and J. C. Morla, “Methodology for Carbon Footprint Calculation Towards Sustainable Innovation in Intangible Assets,” pp. 1–14, 2020.
- [10] Carbon Trust, “ENERGY AND CARBON CONVERSIONS 2022 UPDATE Conversion factors,” pp. 1–10, 2022.
-