PENGUNAAN ALGORITMA *SIMULATED ANNEALING* UNTUK MENYELESAIKAN MASALAH *VEHICLE ROUTING* PADA RUTE DISTRIBUSI SUPERMARKET

SIMULATED ANNEALING ALGORITHM FOR SOLVING VEHICLE ROUTING PROBLEMS ON SUPERMARKET DISTRIBUTION ROUTES

Sururin Darina¹⁾, Achmad Teguh Wibowo²⁾, Mujib Ridwan³⁾

^{1), 2, 3)} Sistem Informasi, Fakultas Sains dan Teknologi, Universitas Islam Negeri Sunan Ampel Surabaya

Jl Ahmad Yani, No. 117, Jemur Wonosari, Surabaya, Jawa Timur

Email : sururindarina@gmail.com¹⁾, atw@uinsby.ac.id²⁾, mujibrw@uinsby.ac.id³⁾

Abstrak

Sakinah Supermarket adalah salah satu jenis koperasi yang dimiliki oleh Pondok Pesantren Hidayatullah Jawa Timur dan didirikan sejak 1991. Terdapat 21 supermarket dengan 16 cabangnya beroperasi di Surabaya. Terbatasnya kendaraan pengangkut yang dimiliki menimbulkan masalah kurang maksimalnya proses distribusi dari gudang ke supermarket. Permasalahan ini bisa disebut juga dengan Vehicle Routing Problem (VRP). Perlu dilakukan optimasi rute untuk menyelesaikan VRP. Penelitian ini menggunakan metode Simulated Annealing Algorithm (SA) yang digunakan untuk menangani permasalahan VRP. Perhitungan SA dilakukan dengan menggunakan parameter yang sudah diuji sehingga dapat menghasilkan nilai yang hampir optimal. Parameter yang dipakai yaitu $T_0 = 5000$, $\alpha = 0,55$ dan $T_1 = 1$. Hasilnya adalah biaya dan waktu tempuh dapat ditekan sebesar 30% dan jarak tempuh dapat dikurangi sebanyak 17% jika dibandingkan dengan kondisi awal. SA Algorithm juga dibandingkan metode lain yakni Genetic Algorithm (GA) untuk mencari tahu keefektifitasannya. Berdasarkan hasil perbandingan, SA algorithm lebih unggul sebanyak 21 % pada perbandingan biaya dan jarak tempuh serta 8 % lebih baik pada perbandingan waktu tempuh dibanding GA.

Kata kunci: Genetic Algorithm, Sakinah Supermarket, Simulated Annealing, Vehicle Routing Problem

Abstract

Sakinah Supermarket is a type of cooperative owned by the Hidayatullah Islamic Boarding School in East Java and was founded in 1991. There are 21 supermarkets with 16 branches in Surabaya. Limited transportation vehicles have the problem that the distribution process from warehouses to supermarkets is not maximal. This problem is also known as the Vehicle Routing Problem (VRP). It is necessary to optimize the route to complete the VRP. This study uses the Simulated Annealing (SA) algorithm method which is used for VRP problems. SA calculations are carried out using tested parameters so that they can produce nearly optimal values. The parameters that can be used are $T_0 = 5000$, $\alpha = 0.55$ and $T_1 = 1$. The result is that the cost and time costs can reach 30% and the distance traveled can be reduced by 17% when compared to the initial conditions. The SA algorithm is also compared to other methods, namely Genetic Algorithm (GA) to find out its effectiveness. Based on the results of the comparison, the SA algorithm is superior by 21% in comparison to the comparison and the distance traveled and 8% better in the comparison of travel time than GA.

Keywords : Genetic Algorithm, Sakinah Supermarket, Simulated Annealing, Vehicle Routing Problem

1. PENDAHULUAN

Pasar *modern* saat ini mudah ditemui di berbagai tempat. Tidak hanya di wilayah kota saja, pasar *modern* juga tersebar di wilayah kecamatan maupun wilayah desa. Peraturan Presiden Republik Indonesia yang diatur dalam Pasal I Ayat 5 Nomor 112 Tahun 2007 mendefinisikan bahwa pasar *modern* merupakan “toko dengan sistem pelayanan mandiri, menjual berbagai jenis barang secara eceran yang berbentuk *minimarket*, *supermarket*, *department store*, *hypermarket*

ataupun toko grosir yang menjadi tempat perkulakan” [1]. Proses distribusi tidak bisa terpisahkan dalam proses pemasaran pada pasar modern. Distribusi adalah kegiatan yang menyalurkan barang maupun jasa konsumen yang membutuhkannya [2].

Kegiatan distribusi menjadi salah satu kunci dari keuntungan yang didapat dari pasar modern karena memiliki pengaruh pada *supply chain* dan kebutuhan agen [3]. Transportasi menjadi sesuatu yang sangat penting dalam proses distribusi sehingga sebagai siasat untuk mendorong pertumbuhan dan pengembangan sebuah bisnis [4]. Distribusi yang tidak optimal dapat menimbulkan masalah tingginya biaya yang dikeluarkan dan bisa menurunkan kualitas layanan. Proses optimasi distribusi dapat meningkatkan keuntungan dan memberikan dampak positif bagi perusahaan pasar *modern*.

Sakinah *Supermarket* adalah termasuk salah satu pasar *modern* yang berada di Indonesia. Keberadaan *supermarket* ini diawali oleh kegiatan usaha koperasi yang didirikan oleh Pondok Pesantren Hidayatullah yang bertempat di Jawa Timur pada tahun 1991. Sakinah *Supermarket* ini dikelola oleh para santri. Usaha yang dilakukan adalah menyediakan bahan pokok bagi masyarakat sekitar [5]. Sakinah *Supermarket* saat ini mempunyai 21 cabang yang berada di Jawa Timur dan 16 cabangnya beroperasi di Surabaya. Gudang Sakinah *Supermarket* berada di Surabaya yang melayani proses distribusi ke seluruh cabang yang ada. Namun, Sakinah *Supermarket* memiliki kendala yakni belum optimalnya proses distribusi barang. Terdapat empat truk pengangkut barang dengan tiga tipe kapasitas yakni besar, sedang dan kecil. Satu truk hanya bisa mendistribusikan ke 3-4 cabang Sakinah *Supermarket*. Selain itu truk yang dimiliki Sakinah *Supermarket* hanya terbatas dalam mengirim barang ke unit cabang Sakinah *Supermarket* dan kembali ke gudang untuk memuat barang.

Vehicle Routing Problem (VRP) yaitu permasalahan dalam menentukan rute yang kurang optimal. Permasalahan ini pertama kali dikenal di tahun 1959 oleh Dantzig dan Ramser. Metode ini dipakai untuk memperoleh *rute* terpendek pada proses distribusi produk dari suatu area koperasi satu ke area koperasi yang lainnya. *Algoritme* konvensional dan metode *heuristik* dapat dipakai untuk menyelesaikan VRP. Metode *heuristik* dapat digunakan karena memakai pendekatan dan penelusuran yang terarah, sedangkan *algoritme* konvensional menggunakan perhitungan matematis biasa. Selain itu metode *heuristik* banyak digunakan karena dapat memberi penyelesaian yang mendekati optimal dengan waktu lumayan cepat. Beberapa metode *heuristik* yang bisa digunakan untuk menentukan rute terpendek adalah *Dijkstra Algorithm*, *Floyd Warshall Algorithm*, *Simulated Annealing Algorithm* (SA), *Prim Algorithm*, *Genetic Algorithm* (GA), *Greedy Algorithm*, dan lain-lain [6].

Penelitian ini menggunakan SA untuk menyelesaikan VRP pada distribusi produk. *Algoritme* SA dipakai karena memiliki model matematika yang sederhana namun dapat mengatur permasalahan yang kompleks seperti VRP sehingga dapat terselesaikan jika digunakan dengan benar [7]. Selain itu, metode ini adalah metode yang efektif untuk menyelesaikan optimasi masalah, terutama untuk masalah optimasi *kombinatorial* [8]. Metode *heuristik* pada *algoritme* SA mempunyai kemampuan untuk menghindari dari jebakan nilai optimal lokal dengan penyelesaian yang lebih jelek pada nilai probabilitas lebih rendah [9].

Berdasarkan latar belakang permasalahan tersebut maka dilakukan perhitungan *rute* optimal untuk menyelesaikan VRP dengan SA. Selain itu dilakukan pengujian keefektifan penggunaan SA untuk menyelesaikan VRP. Adanya hasil perhitungan tersebut dapat membantu Sakinah *Supermarket* dalam menyelesaikan masalah distribusi sehingga dapat meminimalkan biaya operasional dan memaksimalkan pemuatan kapasitas barang.

2. DASAR TEORI

2.1. *Vehicle Routing Problem* (VRP)

VRP menjadikan masalah yang sering ditemui dalam proses distribusi seperti bagaimana melayani pelanggan yang tersebar di berbagai tempat dengan menggunakan truk pengangkut yang memiliki berbagai kapasitas dapat teroptimasi [10]. Penyelesaian VRP akan memberikan jarak atau waktu yang terpendek atau tercepat sehingga biaya operasional dapat ditekan seefisien mungkin [11].

2.2. *Simulated Annealing (SA)*

Algoritme SA dikembangkan untuk memenuhi proses integrasi dan optimasi. Di dalamnya terdapat tiga strategi fleksibilitas yakni pemrosesan, urutan operasi dan penjadwalan yang mendukung pencarian optimasi yang efektif. Pola rute akan diubah menggunakan *algoritme SA* agar didapatkan penyelesaian dari VRP. Rute awal diukur berdasarkan jarak tempuh, biaya dan kapasitasnya dan dievaluasi sehingga menghasilkan *rute* terbaik. Keuntungan dari penggunaan *algoritme SA* yaitu memungkinkannya penemuan nilai paling rendah global dari fungsi objektif pada penelusuran secara kompleks dengan efisien [12]. Hasil terendah global yang ditemukan bisa berupa jarak atau biaya minimum.

3. METODOLOGI PENELITIAN

3.1. Pengumpulan Data dan *Preprocessing*

Data dikumpulkan dengan melakukan wawancara dan *request* data distribusi yang terkait dengan penelitian kepada pihak koperasi Sakinah *Supermarket* di bulan Maret – April 2020. Data yang didapatkan adalah informasi lokasi cabang, data truk pengangkut dan data permintaan dari keseluruhan cabang pada bulan Maret 2019 – Februari 2020. Data yang digunakan yaitu data cabang yang beroperasi di Surabaya.

Tahapan *preprocessing* terdapat tiga tahapan yakni menghitung jarak tempuh antar lokasi yang diawali dari gudang milik Sakinah *Supermarket* sampai ke cabang yang paling akhir, menghitung waktu yang dibutuhkan kendaraan pengangkut dalam satu titik ke titik lain, dan menghitung biaya yang digunakan selama proses distribusi dengan harga bahan bakar setiap truk yang mengangkut barang.

3.2. *Processing*

Tahapan *processing* yang dilakukan adalah menghitung jarak terpendek dengan *algoritme SA* dan menyelesaikan VRP dengan mengoptimasi distribusi. Langkah awal yang dilakukan pada *algoritme SA* yakni menetapkan rute awal dan beberapa pilihan *rute* sebagai solusi alternatif yang akan diujikan. Selanjutnya rute tersebut dihitung menggunakan *algoritme SA*. Parameter yang dipakai yakni suhu awal (T^0), suhu akhir (T^1), penurunan suhu (ΔT) dan faktor penurunan suhu atau Alpha (α). Yang dimaksud parameter T^0 yakni biaya awal, T^1 merupakan batas untuk menghitung biaya, ΔT merupakan penentu turunnya biaya dan α merupakan faktor penentu turunnya biaya. Persamaan rumus yang digunakan pada *algoritme SA* yaitu [13] :

$$P_i(T) = k \exp(-E_i/T) \quad \text{.....(1)}$$

Keterangan:

P^i : Kondisi yang ingin dicapai

exp: Eksponen

T: Temperatur

k: Bilangan Konstan

$-E_i$: Energi yang diperlukan

Rute yang diperoleh pada hasil perhitungan *algoritme SA* akan diproses ke dalam VRP untuk mendapatkan rute terdekat yang memiliki biaya paling rendah, optimasi bawaan truk dan waktu distribusi. Persamaan rumus pada pengerjaan VRP adalah sebagai berikut [14] :

$$\text{nilai minimal } f = \sum_{i=0}^N \sum_{j=0}^N \sum_{k=1}^N d_{ijk} x_{ijk} \quad \text{.....(2)}$$

Dengan Variabel keputusan berikut:

$$x_{ijk} = \begin{cases} 1, & \text{bila kendaraan } k \text{ melayani } j \text{ setelah melayani } i \\ 0, & \text{bila tidak demikian} \end{cases} \quad \text{.....(3)}$$

Dengan batasan sebagai berikut:

1. Kendaraan mengunjungi setiap pelanggan tepat satu kali:

$$\sum_{i=0}^N \sum_{k=1}^N x_{ijk} \quad j = 1, 2, \dots, N \quad i \neq j \quad \text{.....(4)}$$

2. Suatu pelanggan dikunjungi setiap kendaraan, kendaraan akan meninggalkan pelanggan tersebut setelah memberikan pelayanan:

$$\sum_{j=0}^N x_{ijk} - \sum_{j=0}^N x_{jik} = 0 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad i = 0, 1, \dots, N \quad \dots(5)$$

3. Kendaraan K selalu beroperasi dari depot awal:

$$\sum_{j=0}^N x_{0jk} = 1 \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \dots(6)$$

4. Rute kendaraan tidak boleh melebihi kapasitas dari total permintaan dari setiap pelanggan

$$\sum_{i=1}^N \sum_{j=0}^N q_i x_{ijk} \leq W \quad k = 1, 2, \dots, K \quad \dots(7)$$

Keterangan;

x_{ij} : Kendaraan k memberi pelayanan kepada pelanggan j sesudah berkunjung ke pelanggan i

d_{ij} : Jarak antara pelanggan i dengan j

q_i : Permintaan dari pelanggan i

W: Kapasitas optimal kendaraan

N: Banyak pelanggan

K: Jumlah kendaraan

i: Indeks awal pelanggan

j: Indeks pelanggan tujuan

k: Indeks kendaraan

3.3 Pengujian dan Evaluasi Hasil

Tahapan terakhir adalah menguji dan mengevaluasi hasil yang sudah dilakukan pada tahap *processing*. Terdapat 4 tahapan pengujian yang penjelasannya sebagai berikut:

1. Pengujian sensitivitas parameter *algoritme* SA
Pengujian ini bertujuan mengetahui dampak pada perubahan parameter terhadap variabel keputusan dan mencari tahu parameter yang berpengaruh pada *algoritme* SA. Parameter yang diujikan yakni suhu awal (T^0) dan faktor penurunan suhu atau Alpha (α). Parameter tersebut disesuaikan untuk memperoleh hasil yang maksimal. Nilai $T^0=500$, $T^0=1000$ dan $T^0=5000$. Di mana dalam setiap suhu (T^0) dipakai aturan menurunkan suhu (α) sebesar 0,22; 0,55; dan 0,99 yang mana parameter ini akan dilihat seberapa memberikan pengaruh terhadap perubahannya dengan biaya, jarak, waktu dan jumlah pengulangan.
2. Analisis sensitivitas parameter *algoritme* GA
Analisis ini bertujuan untuk memperoleh GA yang maksimal. Parameter diatur agar memperoleh hasil uji yang maksimal. Parameternya yakni Nilai $PopSize=10$, $PopSize=20$, $PopSize=30$, $PopSize=40$, $PopSize=50$, $PopSize=60$. Setelah dilaksanakan pengujian $PopSize$ kemudian dilaksanakan pengujian Total Gen melalui nilai Total Gen= 500, Total Gen= 1000, Total Gen= 1500, Total Gen= 2000, Total Gen= 2500, Total Gen= 3000. Selanjutnya dilaksanakan uji kombinasi probabilitas mutasi (Pm) melalui probabilitas *crossover* (Pc) dengan nilai Pm=0.1, Pm=0.5, Pm=0.9, Pc= 0.1, Pc=0.5 dan Pc=0.9 yang nantinya parameter tersebut dapat diketahui seberapa besar pengaruh perubahannya terhadap *fitness*. *Fitness* menggambarkan kelayakan sebuah solusi bagi suatu masalah [15].
3. Perbandingan efektivitas *algoritme* SA dengan kondisi awal
Penggunaan *algoritme* SA untuk menyelesaikan VRP yang diterapkan pada penyelesaian masalah di Sakinah *Supermarket*. Efektivitas yang dibandingkan adalah biaya, waktu tempuh dan jarak tempuh. Data dibandingkan efektivitasnya sebelum dan sesudah menerapkan *algoritme* SA.
4. Perbandingan efektivitas *algoritme* SA dengan GA

Efektivitas kedua *algoritme* diukur berdasarkan biaya, waktu tempuh dan jarak berdasarkan hasil implementasi. Efektivitas keduanya dilihat berdasarkan pengujian 100 data dari Sakinah Supermarket.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Pengumpulan Data dan *Preprocessing*

Tabel 1 berisi daftar truk pengangkut yang dimiliki oleh Sakinah Supermarket. truk pengangkut mempunyai berbagai kapasitas yang berbeda.

Tabel 1. Daftar truk pengangkut Sakinah Supermarket

Tipe Kendaraan	Kapasitas Kendaraan	Jumlah Kendaraan
A	120 Karton	1
B	100 Karton	2
C	60 Karton	1

Selanjutnya menghitung satu titik ke titik lain. Penentuan titik koordinat memanfaatkan *Google Maps* agar mendapatkan hasil yang valid. Perhitungan waktu tempuh memanfaatkan *Google Maps* yang dilaksanakan saat malam hari agar didapatkan waktu yang tercepat. Tabel 2 berisi jarak antar lokasi dalam satuan Km dan Tabel 3 berisi waktu tempuh antar lokasi dalam satuan menit.

Tabel 2. Jarak antar lokasi cabang Sakinah Supermarket

	X	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
X	0,0	1,7	2,0	11,3	10,2	8,4	11,5	12,0	19,5	9,7	7,8	8,3	7,7	21,6	4,7	12,6	2,0
A	1,7	0,0	1,3	10,8	9,6	7,9	10,6	11,1	17,8	9,6	7,3	7,8	6,0	20,0	3,5	11,7	1,5
B	2,0	1,3	0,0	12,1	10,9	9,2	9,4	9,9	18,6	10,4	8,6	9,1	6,9	20,8	4,8	10,5	1,8
C	10,7	9,9	11,7	0,0	4,1	9,5	12,8	13,3	12,6	5,1	9,6	8,6	7,5	9,6	6,7	11,6	11,6
D	10,6	10,0	11,3	4,3	0,0	5,4	16,8	17,5	16,9	1,0	6,0	4,5	8,1	13,7	6,6	14,7	11,5
E	7,3	7,3	8,6	9,5	5,8	0,0	14,3	14,8	21,5	5,7	2,4	1,1	9,7	18,8	4,9	15,4	8,2
F	10,9	10,1	8,9	12,4	13,8	14,3	0,0	2,3	17,0	13,3	13,9	14,4	6,3	20,6	10,1	4,4	10,7
G	12,4	11,6	10,4	13,9	16,2	15,9	2,5	0,0	17,4	14,7	15,4	15,8	7,8	22,7	11,6	2,1	12,2
H	19,8	18,1	18,9	13,7	16,2	20,7	17,4	17,9	0,0	17,2	20,2	20,6	14,4	7,7	16,5	15,2	19,6
I	10,2	10,4	11,6	5,7	3,1	4,8	17,0	17,9	19,4	0,0	5,4	3,8	8,3	15,8	6,8	15,5	11,2
J	7,4	7,4	8,7	9,3	5,7	2,2	14,4	14,9	21,6	5,6	0,0	2,2	9,8	18,7	4,9	15,5	8,2
K	7,8	7,8	9,1	8,5	4,9	1,1	14,8	15,3	21,0	4,7	2,9	0,0	9,0	17,9	5,4	15,9	8,7
L	7,6	5,9	6,7	7,8	8,0	10,3	6,3	8,5	15,3	7,5	9,7	10,2	0,0	17,8	5,3	7,5	7,4
M	20,5	18,9	20,9	9,6	15,5	19,9	22,4	22,9	6,6	16,4	19,4	19,9	18,2	0,0	16,8	20,1	21,4
N	3,9	8,4	4,7	8,0	7,0	5,1	10,1	10,9	17,3	6,4	4,6	5,0	5,3	18,4	0,0	11,5	4,8
O	12,5	11,6	10,4	12,6	15,0	16,0	3,8	2,1	15,8	14,8	15,4	15,9	7,2	20,8	11,6	0,0	12,3
P	2,0	1,5	1,3	12,1	11,1	9,4	10,7	11,8	19,8	10,6	8,8	9,3	7,5	22,1	5,0	12,0	0,0

Perhitungan biaya tempuh menggunakan langkah-langkah sebagai berikut:

- Menetapkan harga solar per Juni 2020 yakni Rp.5.150, biaya bahan bakar yang dikeluarkan dalam per hari sebesar Rp.100.000 dan jarak tempuh yang diperlukan sebesar 151 Km tiap hari.
- Menentukan solar yang diperlukan dalam tiap hari dengan biaya bahan bakar per hari/harga solar sekarang ini yakni sebanyak 19,51 per hari.
- Menentukan solar yang dibutuhkan dalam perjalanan per Km dengan menghitung jumlah liter solar/jarak tempuh per hari yakni 0,131 per 1 Km.
- Menentukan biaya solar per Km dengan mengalikan kebutuhan solar per Km dengan harga solar yakni Rp.665. alu menghitung biaya truk pengangkut dari satu lokasi ke lokasi lain. Tabel 6 berisi biaya tempuh truk pengangkut.

Tabel 3. Waktu tempuh antar lokasi cabang Sakinah Supermarket

	X	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
X	0	5	6	30	25	20	28	28	50	26	18	20	20	51	14	32	5
A	5	0	4	26	22	17	24	24	45	23	15	16	15	47	10	27	4
B	6	4	0	32	27	21	22	22	46	28	19	21	16	50	14	25	5
C	28	25	31	0	12	25	31	32	31	15	23	23	21	23	19	28	28

D	26	25	29	11	0	14	38	39	38	3	14	11	20	33	16	34	24
E	19	16	21	23	16	0	31	31	49	15	6	4	22	43	12	34	23
F	24	21	18	31	32	30	0	7	44	32	27	29	15	48	22	16	23
G	26	23	20	33	35	5	5	0	49	37	31	32	17	48	25	9	25
H	52	46	47	33	40	51	41	46	0	44	50	52	38	20	43	41	51
I	26	23	27	17	9	12	40	36	45	0	13	10	24	39	9	43	26
J	18	16	20	23	17	6	31	31	52	15	0	6	22	45	12	35	19
K	19	17	22	20	14	3	34	34	52	13	7	0	22	42	13	36	20
L	19	14	15	23	21	24	16	21	44	22	23	23	0	39	14	20	18
M	46	43	48	22	33	46	51	52	17	37	44	46	41	0	37	45	47
N	12	9	13	22	16	13	24	26	50	18	11	13	15	46	0	28	13
O	32	29	25	34	38	38	12	8	48	42	37	39	22	56	31	0	31
P	6	4	5	31	27	21	25	30	54	28	20	22	19	56	15	31	0

Tabel 4. Biaya perjalanan truk pengangkut

	X	A	B	C	D	E	F	G	H	I	J	K	L	M	N	O	P
X	0	1131	133	7515	6783	5586	7648	798	12968	6451	5187	552	5121	14364	3126	8379	133
A	1131	0	865	7182	6384	5254	7049	7382	11837	6384	4855	5187	399	133	2328	7781	998
B	133	865	0	8047	7249	6118	6251	6584	12369	6916	5719	6052	4589	13832	3192	6983	1197
C	7116	6584	7781	0	2727	6318	8512	8845	8379	3392	6384	5719	4988	6384	4456	7714	7714
D	7049	665	7515	286	0	3591	11172	11638	11239	665	399	2993	5387	9111	4389	9776	7648
E	4855	4855	5719	6318	3857	0	951	9842	14298	3791	1596	732	6451	12502	3259	10241	5453
F	7249	6717	5919	8246	9177	951	0	153	11305	8845	9244	9576	419	13699	6717	2926	7116
G	8246	7714	6916	9244	10773	10574	1663	0	11571	9776	10241	10507	5187	15096	7714	1397	8113
H	13167	12037	12569	9111	10773	13766	11571	11904	0	11438	13433	13699	9576	5121	10973	10108	13034
I	6783	6916	7714	3791	2062	3192	11305	11904	12901	0	3591	2527	552	10507	4522	10308	7448
J	4921	4921	5786	6185	3791	1463	9576	9909	14364	3724	0	1463	6517	12436	3259	10308	5453
K	5187	5187	6052	5653	3259	732	9842	10175	13965	3126	1929	0	5985	11904	3591	10574	5786
L	5054	3924	4456	5187	532	685	419	5653	10175	4988	6451	6783	0	11837	3525	4988	4921
M	13633	12569	13899	6384	10308	13234	14896	15229	4389	10906	12901	13234	12103	0	11172	13367	14231
N	2594	5586	3126	532	4655	3392	6717	7249	11505	4256	3059	3325	3525	12236	0	7648	3192
O	8313	7714	6916	8379	9975	1064	2527	1397	10507	9842	10241	10574	4788	13832	7714	0	818
P	133	998	865	8047	7382	6251	7116	7847	13167	7049	5852	6185	4988	14697	3325	798	0

Keseluruhan data tersebut disiapkan ke dalam data set yang nantinya diproses untuk memperoleh hasil berupa rute terpendek dan biaya terendah. Data set dibuat dan disimpan dalam *Microsoft Excel*.

4.2 Processing

Gambar 1 adalah hasil pencarian rute terpendek dengan empat truk pengangkut. Sumbu y adalah titik *latitude* dan sumbu x adalah titik *longitude*. Titik awal dan akhir adalah depot yang dilambangkan dengan *node* merah. Truk pengangkut 1 dilambangkan dengan garis biru dan melalui lima *node*. Truk pengangkut 2 dilambangkan dengan garis hijau dan melalui empat *node*. Truk pengangkut 3 dilambangkan dengan garis ungu dan melalui tiga *node*. Truk pengangkut 4 dilambangkan dengan garis cokelat dan melalui tiga *node*.

Gambar 1. Hasil pencarian rute dengan empat truk pengangkut

Gambar 2 memaparkan grafik untuk menurunkan biaya yang dibutuhkan pada proses pendistribusian. Sumbu y merupakan *cost* dengan skema kelipatan 0,2 dan dikali 10^5 dan sumbu x merupakan banyak pengulangan yang dilakukan untuk mencapai suhu terendah sehingga dapat mengakhiri pengulangan. Jika grafik telah stabil maka hasil tersebut layak dijadikan *output*.

Gambar 2. Grafik penurunan biaya pada proses distribusi

4.3 Pengujian dan Evaluasi Hasil

Gambar 3 memaparkan hasil uji sensitivitas parameter terhadap biaya yang dikeluarkan. Berdasarkan pengujian tersebut, yang mendekati optimal adalah $\alpha = 0,99$ dengan $T_0 = 5000$ hal ini dapat memperoleh biaya minimal yakni sebesar Rp.106.206.

Gambar 3. Grafik sensitivitas parameter terhadap biaya

Gambar 4 memaparkan hasil uji sensitivitas parameter terhadap jarak tempuh. Berdasarkan pengujian tersebut, yang mendekati optimal adalah $\alpha = 0,99$ dengan $T_0 = 5000$ karena dapat memperoleh jarak terdekat yakni sejauh 159,7 Km.

Gambar 4. Grafik sensitivitas parameter terhadap jarak

Gambar 5 memaparkan hasil pengujian sensitivitas parameter terhadap waktu tempuh. Berdasarkan pengujian tersebut, yang mendekati optimal adalah $\alpha = 0,99$ dengan $T_0 = 5000$ karena dapat menghasilkan waktu tercepat yakni selama 878 menit.

Gambar 5. Grafik sensitivitas parameter terhadap waktu

Gambar 6 memaparkan hasil uji sensitivitas parameter terhadap jumlah pengulangan. Berdasarkan pengujian tersebut, yang mendekati optimal adalah $\alpha = 0,99$ dengan $T_0 = 5000$ karena dapat menghasilkan jumlah pengulangan terbanyak yakni sebanyak 848.

Gambar 6. Grafik sensitivitas parameter terhadap jumlah pengulangan

Uji pengaruh parameter melalui 3 kondisi yang berbeda-beda yakni To=500, To=1000, To=5000 dan menurunkan suhu sebesar (α) 0,22; 0,55; dan 0,99. Berdasarkan hasil uji, didapatkan $\alpha=0,99$ dan To=5000 sebagai parameter terbaik yang dipakai di pengujian tahap selanjutnya.

1. Analisis sensitivitas parameter *algoritme* GA

Gambar 7 memaparkan hasil pengujian pada dampak parameter jumlah populasi terhadap hasil *fitness* yang diperoleh. Berdasarkan hasil pengujian maka parameter yang terbaik adalah jumlah populasi 30 karena menghasilkan nilai *fitness* tertinggi dan mendekati angka satu yakni sebesar 0,99.

Gambar 7. Grafik pengaruh populasi terhadap *fitness*

Gambar 8 memaparkan hasil pengujian pada pengaruh parameter total generasi terhadap *fitness* yang diperoleh. Berdasarkan hasil uji tersebut, maka parameter yang terbaik adalah total generasi 2000 karena menghasilkan nilai *fitness* tertinggi dan mendekati angka satu yakni sebesar 0,99.

Gambar 8. Grafik pengaruh total generasi terhadap fitness

Gambar 9 memaparkan hasil pengujian pada pengaruh kombinasi parameter Pm dan Pc terhadap *fitness* yang diperoleh. Berdasarkan hasil uji tersebut, maka parameter yang terbaik adalah kombinasi Pm 0,1 dan Pc 0,9 karena menghasilkan nilai *fitness* tertinggi dan mendekati angka satu yakni sebesar 0,97.

Gambar 9. Grafik pengaruh kombinasi Pm dan Pc terhadap fitness

Uji pengaruh parameter *algoritme* GA dilakukan untuk membandingkan hasilnya dengan dengan *algoritme* SA. Berdasarkan hasil pengujian, didapatkan $Pop=30$, $Gen=2000$, $Pm=0,1$ dan $Pc=0,9$ sebagai parameter terbaik yang dipakai di pengujian tahap selanjutnya.

2. Perbandingan efektivitas *algoritme* SA dengan kondisi awal

Perbandingan menggunakan data dinamis karena rute distribusinya tetap. Kondisi awal mempunyai empat *rute* yang ditunjukkan pada Tabel 5. Parameter SA yang dipakai yakni nilai dari hasil maksimum dari tahap pengujian sensitivitas.

Tabel 5. Rute kondisi awal distribusi

Truk	Rute	Jarak	Biaya	Waktu
1	1-9-14-12-17-1	57,8	38.000	172
2	1-16-2-7-3-5-1	65,2	43.359	186
3	1-6-4-13-11-1	42,5	28.264	135
4	1-8-10-15-1	37,4	24.872	116
Total		202,9	134.495	1.089

Gambar 10 memaparkan perbandingan jarak kondisi awal dengan *algoritme* SA sebanyak 100 kali. Gambar ini menunjukkan bahwa jarak yang ditempuh SA lebih rendah dari kondisi awal. Terjadi penurunan jarak tempuh sebesar 17%.

Gambar 10. Grafik perbandingan jarak

Gambar 11 memaparkan perbandingan biaya kondisi awal dengan *algoritme* SA sebanyak 100 kali. Gambar ini menunjukkan bahwa jarak yang ditempuh SA lebih rendah dari kondisi awal. Terjadi penurunan biaya sebesar 30%.

Gambar 11. Grafik perbandingan biaya

Gambar 12 memaparkan perbandingan waktu kondisi awal dengan *algoritme* SA sebanyak 100 kali. Gambar ini memaparkan bahwasannya jarak yang ditempuh SA memiliki nilai yang lebih rendah dari kondisi awal. Terjadi penurunan waktu tempuh sebesar 30%.

Gambar 12. Grafik perbandingan waktu

3. Perbandingan efektivitas *algoritme* SA dengan GA

Gambar 13 memaparkan hasil perbandingan jarak. Berdasarkan hasil pengujian maka jarak yang diperoleh *algoritme* SA lebih rendah atau terkadang mendekati *algoritme* GA. *Algoritme* SA memperoleh nilai lebih tinggi sebesar 21% dari pada nilai GA.

Gambar 13. Grafik perbandingan jarak *algoritme* SA dan GA

Gambar 14 memaparkan hasil perbandingan biaya. Berdasarkan hasil pengujian maka biaya yang diperoleh *algoritme* SA lebih rendah atau terkadang mendekati *algoritme* GA. *Algoritme* SA lebih unggul sebesar 21%.

Gambar 14. Grafik perbandingan biaya algoritme SA dan GA

Gambar 15 memaparkan hasil perbandingan waktu. Berdasarkan hasil pengujian maka waktu yang dihasilkan algoritme SA lebih rendah atau terkadang mendekati algoritme GA. Algoritme SA lebih unggul sebesar 8%.

Gambar 15. Grafik perbandingan waktu algoritme SA dan GA

5. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengujian terlihat bahwa algoritme SA dapat dipakai untuk menyelesaikan VRP. Hasil perbandingan algoritme SA dengan kondisi awal adalah 30% lebih baik pada biaya yang dikeluarkan, 30% lebih baik pada jarak tempuh, dan 17% lebih baik pada waktu tempuh. Parameter algoritme SA yang terbaik adalah $\alpha=0,99$ dan $T_0=5000$ karena menghasilkan nilai terendah dibanding parameter lain. Algoritme SA juga lebih unggul dibandingkan dengan algoritme GA. Hasil perbandingannya adalah 21% lebih unggul pada biaya yang dikeluarkan, 21% lebih unggul pada jarak tempuh, dan 8% lebih unggul pada waktu tempuh.

Hal yang bisa dikembangkan dari penelitian ini adalah penggunaan algoritme yang berbeda untuk menyelesaikan VRP agar dapat saling melengkapi. Penelitian juga dapat dikembangkan dengan aplikasi *Geographic Information System* yang lebih informatif. Batasan lain dapat ditambahkan untuk memvalidasi hasil perhitungan saat ini seperti biaya maksimal, keadaan jalan dan yang lainnya.

Daftar Pustaka

- [1] RI, *Peraturan Presiden Republik Indonesia Nomor 112 Tahun 2007 tentang Penataan dan Pembinaan Pasar Tradisional, Pusat Perbelanjaan dan Toko Modern*. Indonesia, 2007.
- [2] T. Natasya, S. L. Mandey, and J. S. B. Sumarauw, "Analisis Saluran Distribusi Kayu (Studi Kasus Di Cv. Karya Abadi, Manado)," *Jurnal EMBA: Jurnal Riset Ekonomi, Manajemen, Bisnis dan Akuntansi*, vol. 6, no. 3, pp. 1748–1757, 2018.
- [3] I. Lukman, R. Hanafi, and S. M. Parenreng, "Optimasi Biaya Distribusi pada HFVRP Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization," *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, vol. 18, no. 2, p. 164, 2019, doi: 10.25077/josi.v18.n2.p164-175.2019.
- [4] N. Dayu Mega Anjani and M. Kurniawan, "Analisis Fitur Haar Menggunakan Algoritma Haar-Like Feature Pada Citra Kendaraan Bermotor."
- [5] M. A. Syakur, "Kontribusi As-Sakinah Bangun Ekonomi Ummah," *Hidayatullah.com*, 2019. <https://www.hidayatullah.com/feature/read/2019/11/02/172914/kontribusi-as-sakinah-bangun-ekonomi-ummah.html> (accessed Feb. 25, 2020).
- [6] R. A. Nugraeni, Mulyono, and Rochmad, "Penerapan Algoritma A* Dalam Penyelesaian Rute Terpendek Pendistribusian Barang," *Unnes Journal of Mathematics*, vol. 4, no. 1, 2015.
- [7] W. F. Mahmudy, "Improved Simulated Annealing for Optimization of Vehicle Routing Problem With Time Windows (VRPTW)," *Kursor*, vol. 7, no. 3, pp. 109–116, 2016, doi: 10.21107/KURSOR.V7I3.1092.
- [8] X. Han, Y. Dong, L. Yue, and Q. Xu, "State Transition Simulated Annealing Algorithm for Discrete-Continuous Optimization Problems," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 44391–44403, 2019, doi: 10.1109/ACCESS.2019.2908961.
- [9] B. N. Siswanto, A. Ariffien, and I. Jayakusuma, "Sistem Routing Proses Delivery Menggunakan Simulated Annealing (Studi Kasus : PT . X)," *Jurnal Teknologia*, vol. 2, no. 87–104, 2019.
- [10] N. De Jaegere, M. Defraeye, and I. Van Nieuwenhuysse, "The Vehicle Routing Problem: State of The Art Classification Review," *Computers and Industrial Engineering*, vol. 99, pp. 300–313, 2016, doi: 10.1016/j.cie.2015.12.007.
- [11] A. Chandra and B. Setiawan, "Optimasi Jalur Distribusi dengan Metode Vehicle Routing Problem (VRP)," *Jurnal Manajemen Transportasi dan Logistick*, vol. 05, no. 02, pp. 105–116, 2018.
- [12] A. Angresti, N. D., Djunaidy, A., & Mukhlason, "Penerapan Hiperheuristik Berbasis Metode Simulated Annealing untuk Penyelesaian Permasalahan Optimasi Lintas Domain," *Jurnal Nasional Teknologi Dan Sistem Informasi*, vol. 5, no. 1, pp. 33–40, 2019, doi: <https://doi.org/10.25077/teknosi.v5i1.2019.33-40>.
- [13] Hardiansyah, Junaidi, and Y. MS, "An Efficient Simulated Annealing Algorithm for Economic Load Dispatch Problem," *Telkomnika*, vol. 11, no. 1, pp. 37–46, 2013.
- [14] H. Park, D. Son, B. Koo, and B. Jeong, "Waiting strategy for the vehicle routing problem with simultaneous pickup and delivery using genetic algorithm," *Expert Systems With Applications*, vol. 165, no. September 2020, p. 113959, 2021, doi: 10.1016/j.eswa.2020.113959.
- [15] L. A. Wulandhari, Y. Sinatrya, and T. E. H, "Deteksi Diabetes Melitus untuk Wanita dan Penyusunan Menu Sehat dengan Pendekatan Adaptive Neuro Fuzzy Inference System (ANFIS) dan Algoritma Genetika (GA)," *Jurnal Teknik Informatika*, vol. 12, no. 1, pp. 39–58, 2019.