Jurnal PASTI (Penelitian dan Aplikasi Sistem dan Teknik Industri)
Vol. 19, No. 3, Desember 2025, 303-313
p-ISSN 2085-5869/ e-ISSN 2598-4853

Penerapan Algoritma *Simulated Annealing* pada Proses Penentuan Rute Distribusi Cabai di Kota Yogyakarta

Lukman Adhitama[1*], Siti Dinar Rezki Ramadhani[2]
[1)] Program Studi Teknik Logistik, Universitas Telkom, Kampus Purwokerto,
Jl. DI Panjaitan No.128, Purwokerto 53147, Jawa Tengah, Indonesia
[2)] Teknik Industri, Institut Teknologi Perkebunan Pelalawan Indonesia (ITP2I),
Jl. Abdul Jalil, Pangkalan Kerinci Kota, Kecamatan Pangkalan Kerinci, Kabupaten Pelalawan, Riau, 28654, Indonesia
Email: lukmanadhitamala@telkomuniversity.ac.id*, siti.dinar123@gmail.com

(Diterima: 23-12-2024; Direvisi: 10-11-2025; Disetujui: 11-11-2025)

Abstrak

Cabai merah merupakan komoditas penting yang dapat menunjang perekonomian dan kebutuhan pangan masyarakat. Oleh sebab itu, kepedulian instansi pertanian agar masyarakat mampu berswadaya untuk menanam cabai pun tinggi. Hal ini ditunjukkan dengan pemberian bantuan benih tanaman cabai kepada pemerintah Kota Yogyakarta untuk diberikan kepada sejumlah kelompok tani di wilayah tersebut. Bantuan tanaman benih cabai akan dilakukan secara *continue* maka dari itu penentuan rute distribusi yang optimal diperlukan untuk dapat menjaga kualitas bibit yang disalurkan. Penelitian ini menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) untuk menentukan rute terpendek dalam proses distribusi bibit cabai. Hasil yang diperoleh dari penentuan rute distribusi dengan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) yang menerapkan 3 kombinasi parameter dan replikasi sebanyak 5 kali menunjukkan hasil terbaik berupa rute dengan total jarak tempuh yaitu 26,14 km dengan estimasi waktu distribusi yaitu 1 jam 12 menit. Hasil tersebut diperoleh dari penerapan parameter *Simulated Annealing* (SA) dengan nilai suhu awal (T0) = 50, suhu akhir (TF) = 0,001 dan koefisien pendinginan (α) = 0,99 pada replikasi ke 2. Dengan hasil ini maka jika diterapkan dalam kasus distribusi bibit cabai akan membuat proses pengirimannya menjadi lebih cepat karena memiliki jarak yang minimal.

Kata kunci: Distribusi; Jarak, Rute; *Simulated Annealing;* Waktu

Abstract

Red chili peppers are an important commodity that supports the economy and fulfills the community's food needs. Therefore, agricultural agencies have shown strong commitment to encouraging communities to achieve self-sufficiency in chili cultivation. This commitment is demonstrated by providing chili seedlings to the Yogyakarta City Government for distribution to several farmer groups in the area. Since the distribution of chili seedlings will be carried out continuously, determining optimal distribution routes is necessary to maintain seedling quality. This study applies the Simulated Annealing (SA) method to determine the shortest route for chili seedling distribution. The results, obtained using three parameter combinations and five replications, indicate that the best distribution route has a total travel distance of 26.14 km and an estimated distribution time of 1 hour and 12 minutes. This result was achieved using the Simulated Annealing (SA) parameters of an initial temperature (T0) of 50, a final temperature (TF) of 0.001, and a cooling coefficient (α) of 0.99 in the second replication. These findings suggest that implementing the proposed route for chili seedling distribution could accelerate the delivery process by minimizing the total travel distance.

Keywords: *Distribution; Distance; Routes; Simulated Annealing; Time*

PENDAHULUAN

Cabai merah merupakan komoditas penting bagi pemerintah karena memiliki peluang pasar yang cukup besar bagi petani. Cabai merupakan produk pertanian yang musiman yang sangat mudah rusak sehingga harga cabai cenderung fluktuatif (Fauzi dkk., 2023). Cabai juga sebagai komoditas pangan yang strategis dapat dengan mudah dipasarkan dan seringkali mengalami fluktuasi harga. Fluktuasi harga disebabkan karena tingginya konsumsi cabai oleh masyarakat Indonesia dikarenakan kebanyakan masakan nusantara menggunakan cabai terutama cabai merah (Yuditya dkk., 2023). Bibit cabai untuk petani merupakan bantuan yang sangat bermanfaat bagi petani karena konsumsi cabai di masyarakat Indonesia akan terus berlangsung dan bahkan menjadi pangan pokok pendamping bagi masyarakat Indonesia.

Dukungan instansi pemerintah dan pendidikan terhadap swadaya tanaman cabai cukup besar. Hal ini ditunjukkan dengan apa yang terjadi Kota Yogyakarta. Sebuah instansi pendidikan di bawah naungan Kementerian Pertanian memberikan bantuan benih tanaman cabai kepada pemerintah Kota Yogyakarta. Bantuan tanaman benih cabai ini diberikan dengan tujuan untuk mengedukasi masyarakat agar dapar memproduksi tanaman cabai sendiri sehingga dapat membantu ketahanan pangan keluarga. Dengan adanya bantuan bibit cabai ini juga diharapkan dapat menjadi komoditas bahan pangan yang sangat strategis untuk menunjang perekonomian masyarakat. Pembagian bibit akan terus berjalan secara *continue* dengan pendampingan agar dampaknya benar-benar optimal untuk masyarakat kota Yogyakarta. Agar pembagian bibit berjalan secara optimal diperlukan distribusi yang baik untuk penyaluran bibit tersebut. Tujuan proses distribusi bibit yang optimal adalah untuk mencari rute terdekat dari pengiriman bibit sehingga dapat menjaga kualitas bibit yang disalurkan.

Kegiatan distribusi dan transportasi sangat penting oleh karena itu pemilihan metode penentuan rute secara tepat harus dilakukan oleh perusahaan dengan optimal untuk meminimasi jarak dan biaya distribusi (Ramadhani dkk., 2021). Metode distribusi dibagi menjadi 3 yaitu; eksak, heuristik dan metaheuristik yang dapat mengoptimalkan penentuan rute. Pemilihan rute distribusi yang tepat dan dengan metode yang cepat sesuai dengan tujuan akan menghasilkan pengiriman yang optimal pula (Novianda dkk., 2017). Metode metaheuristik tidak menjamin solusi ptimal tetapi mampu menyelesaikan permasalahan yang kompleks dan solusi yang baik dengan waktu penyelesaian yang relatif cepat disbanding metode eksak (Redi & Redioka, 2019). *Simulated Annealing* (SA) merupakan metode metaheuristik yang dapat memecahkan masalah sistem distribusi barang pada logistik perkotaan dan masalah optimasi kombinatorial yang memiliki banyak kendaraan (Winarno & Redi, 2020). Maka dari itu, penelitian ini menggunakan metode metaheuristik dengan metode *Simulated Annealing* (SA).

Beberapa penelitian menggunakan metode SA menunjukan hasil yang optimal. Metode SA menunjukan biaya dan waktu tempuh dapat ditekan sebesar 30% dan jarak tempuh dapat dikurangi sebanyak 17% jika dibandingkan dengan kondisi awal (Darina dkk., 2021). Hasil Optimal menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) pada penelitian penjadwalan distribusi produk dengan hasil total reduksi jarak tempuh sebesar 65,82 km dengan rata-rata kapasitas kendaraan yang terpakai sebesar 87,75% dan rata-rata waktu distribusi sebesar 5,8 jam (Wirdianto & Surya, 2007). Pada penelitian minimasi jarak pengiriman roti CV. Twin Setia dengan metode *K-Means clustering* dan SA menunjukan bahwa rute distribusi tebaik menggunakan metode SA dengan 5 kombinasi parameter mengalami penurunan jarak sebesar 125,1 km atau penghematan jarak sebesar 37,03% (Adhitama dkk., 2023). Penelitan-penelitan tersebut menunjukan bahwa metode *Simulated Annealing* (SA) dapat mengoptimalkan rute distribusi dibandingkan dengan metode lainnya.

Penerapan metode *Simulated Annealing* (SA) dalam kasus distribusi cabai di Kota Yogyakarta akan dapat memperluas cakupan penggunaan metode tersebut sehingga semakin bisa terbukti dapat menyelesaikan berbagai masalah optimasi.

Tujuan utama penelitian ini adalah agar menghasilkan rute distribusi dengan jarak tempuh yang minimal dengan studi kasus pengiriman cabai oleh lembaga pemerintah menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA). Dengan jarak tempuh yang minimal maka waktu untuk proses distribusinya pun menjadi tidak lama. Hal ini menjadikan benih tanaman cabai dapat tersalurkan dengan optimal.

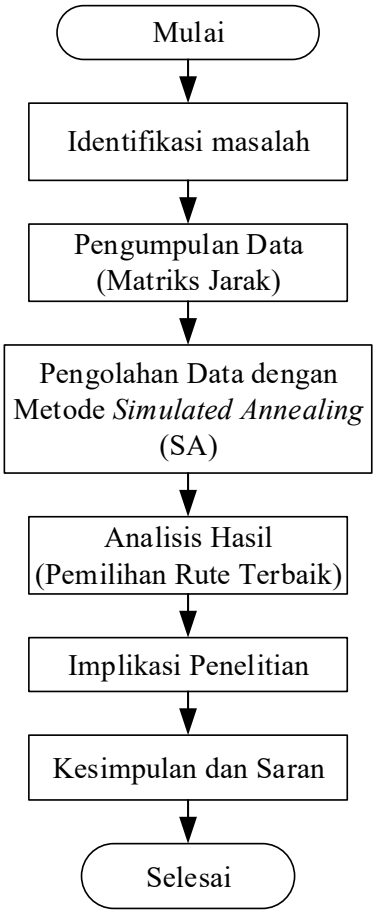
METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilakukan dengan melalui beberapa tahapan. Tahap awal penelitian dilakukan dengan proses identifikasi masalah. Dalam penelitian ini masalah berangkat dari diperlukannya strategi pendistribusian bibit cabai di Kota Yogyakarta agar dapat dilakukan secara optimal. Untuk tercapai hal tersebut maka tujuan utama dari proses distribusi adalah agar menghasilkan rute distribusi dengan jarak tempuh yang minimal. Oleh karena itu, pada penelitian ini memerlukan data berupa jarak lokasi tujuan dengan titik keberangkatan serta jarak antar lokasi yang akan dikunjungi. Data tersebut diperoleh dengan menyusun lokasi mana saja yang perlu dikunjungi kemudian antar lokasi tersebut juga dicari jaraknya. Data jarak ini diperoleh berdasarkan hasil penelusuran di *Google Maps* dengan cara memasukkan dua titik yang hendak dicari jaraknya kemudian disusun menjadis sebuah matriks. Dengan memanfaatkan data berupa matriks jarak maka rute distribusi dapat ditentukan. Proses penentuan dilakukan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) dengan beberapa parameter. Hasil akhir akan dipilih rute terbaik berdasarkan jarak terpendek sehingga bisa diterapkan dalam kasus distribusi yang diteliti. Berdasarkan pemaparan terkait metodologi penelitian yang diterapkan pada riset ini, maka agar membantu pembaca dalam memahami alur berjalannya proses penelitian ini disajikan diagram alir penelitian sebagaimana pada gambar 1.

Dalam penelitian ini, metode yang digunakan untuk menentukan rute distribusi adalah *Simulated Annealing* (SA). *Simulated Annealing* (SA) merupakan metode metaheuristik yang dapat digunakan untuk menyelesaikan berbagai permasalahan optimasi, termasuk penentuan rute distribusi. Metode ini menerapkan prinsip dari proses pemanasan logam hingga mencapai suhu maksimal tertentu yang kemudian secara berangsur-angsur suhunya akan diturunkan hingga mencapai titik tertentuk sehingga terbentuk kristal (Asih dkk., 2017). Proses pemanasan suhu ini dapat dikatakan sebagai tahap inisiasi. Kemudian, proses penurunan suhu ini diadaptasi dalam proses optimasi sebagai konsep perulangan untuk mendapatkan solusi yang lebih baik dari proses sebelumnya dan berhenti hingga suhu yang dikehendaki telah tercapai (Anggarsari dkk., 2017). Hasil akhirnya akan mendapatkan nilai terbaik yang telah melalui evaluasi bertahap tersebut sehingga dikatakan akan mendekati optimal.

Dengan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) maka diperoleh urutan lokasi kunjungan beserta total jarak yang ditempuh. Untuk dapat mencapai hal tersebut maka diperlukan proses komputasi yang dalam penelitian ini dilakukan dengan bantuan *software Matlab* yang diakses secara daring. Dalam proses komputasi metode *Simulated Annealing* (SA) untuk mendapatkan rute yang optimal diperlukan sejumlah parameter penentu proses perhitungan. Parameter yang diperlukan dalam komputasi metode *Simulated Annealing* (SA) meliputi suhu awal (T0), suhu akhir (TF) dan koefisien pendinginan (α) (Redi dkk., 2020). Untuk dapat memperoleh hasil yang baik maka penelitian ini menerapkan tiga kombinasi parameter dari tiga penelitian berbeda yang memiliki tema penentuan rute distribusi. Pemilihan parameter tersebut dikarenakan sudah berhasil menyelesaikan masalah distribusi

di berbagai jenis kasus yang berbeda. Ketiga penelitian tersebut juga telah berkontribusi menghasilkan parameter algoritma yang dipakai di penelitian-penelitian lain. Rincian kombinasi ketiga parameter tersebut dapat dilihat pada Tabel 1.



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Tabel 1. Parameter Metode *Simulated Annealing* (SA)

Parameter	Suhu Awal (T0)	Suhu Akhir (TF)	Koefisien Pendinginan (α)
A (Yu dkk., 2021)	12	0,1	0,90
B (Ferreira & De Queiroz, 2018)	35	0,19	0,98
C (Redi & Redioka, 2019)	50	0,001	0,99

Dengan menerapkan ketiga parameter yang ada pada tabel 1 maka setidaknya akan terdapat 3 hasil atau luaran dari pengolahan penentuan rute distribusi dengan metode *Simulated Annealing* (SA). Akan tetapi, untuk meningkatkan akurasi keoptimalan hasi rute, penelitian ini menerapkan 5 replikasi pada pengolahan dengan menggunakan *Simulated Annealing* (SA) untuk tiap kombinasi parameter yang ada (Adhitama dkk., 2023). Dengan demikian, setidaknya penelitian ini akan memiliki 15 hasil rute distribusi. Pada tiap parameter akan dilakukan analisis untuk mendapat hasil terbaik dari rute yang terbentuk dalam 1 parameter yang sama. Selain itu, hasil yang diperoleh juga akan dibandingkan antar parameter untuk menentukan hasil rute dan parameter terbaik. Melalui hasil ini, juga diberikan analisis untuk menentukan implikasi penelitian akan dibawa kemana baik secara praktis maupun teoritis.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Data Penelitian

Dalam proses penentuan rute distribusi melibatkan titik awal dan tujuan. Titik awal pada penelitian ini yaitu berada di Tim Penggerak (TP) Pemberdayaan dan Kesejahteraan Keluarga (PKK) yang merupakan penerima bantuan bibit cabai dari Polbangtan. Dari titik awal tersebut kemudian bibit cabai yang diperoleh akan dibagikan ke sejumlah titik tujuan. Titik tujuan sendiri berjumlah 8 lokasi yang terdiri dari kelompok tani maupun pengelola PKK baik Rukun Tetangga (RT) maupun Rukun Warga di wilayah Kota Yogyakarta dengan rincian daftar sebagi berikut.

1. PKK RT 24 Sapen
2. RT 25 RW 12 Purbayan
3. RT 94 Rejowinangun
4. RT 27 Celeban Tahunan
5. RT 7 RW 2 Tahunan
6. KWT Flamboyan Joyonegara
7. Kelompok Tani Tegal Hijau Lestari Warungboto
8. RW 2 Kampung Sanggrahan

Berdasarkan pemaparan di atas, maka secara keseluruhan dapat dikatakan terdapat 9 lokasi yang terlibat dalam kasus penentuan rute distribusi bibit cabai yang dibahas pada penelitian ini. Dengan berdasarkan hal tersebut, maka matriks jarak distribusi yang disusun pada penelitian memiliki ukuran 9x9. Matriks jarak yang merupakan data penelitian ini dapat dilihat pada Tabel 2 berikut.

Tabel 2. Matriks Jarak Distribusi

Titik	A	1	2	3	4	5	6	7	8
A	0	5,7	5,1	3,9	3,3	3,4	2,6	2,1	4,1
1	6,1	0	8,8	3,4	3,4	3,2	5,7	4,7	1,9
2	5,3	8,8	0	6,5	5	4,8	8,1	4,8	6,3
3	3,9	4,4	6,3	0	2,8	3,5	6,2	4	4,1
4	3,3	3,4	5	2,9	0	0,24	3,7	1,1	1,9
5	3,3	3,2	5	3,5	0,24	0	3,4	0,95	1,7
6	3,2	5,5	9,4	6,8	3,6	3,4	0	4,7	3,7
7	2,1	4,7	6,1	4	1,1	0,95	4,7	0	2,5
8	4,2	1,9	6,5	4,1	1,9	1,7	3,8	2,5	0

Berdasarkan Tabel 2 di atas, diketahui bahwa Titik A merupakan representasi dari titik keberangkatan. Titik 1-8 sendiri mewakili lokasi tujuan distribusi sesuai urutan daftar penerima bibit cabai yang telah dipaparkan sebelumnya. Dengan menggunakan data matriks jarak distribusi sebagaimana terdapat pada Tabel 2, maka proses penentuan dan perhitungan rute distribusi menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) dengan menggunakan tiga parameter (A, B dan C) telah dapat dilakukan dan memberikan hasil sebagai berikut.

Pengolahan Data

Parameter A

Pengolahan data menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) dengan parameter suhu awal (T0) yaitu 12, suhu akhir (TF) yaitu 0,1 dan koefisien pendinginan (α) yaitu 0,9 serta replikasi 5 kali memberikan hasil rute distribusi sebagaimana terdapat pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Rute Distribusi berdasarkan Parameter A

Replikasi	Rute Terpilih	Total Jarak (km)
1	A → 5 → 4 → 8 → 1 → 3 → 6 → 7 → 2 → A	29,84
2	A → 3 → 1 → 8 → 5 → 2 → 7 → 4 → 6 → A	29,70
3	A → 5 → 2 → 7 → 8 → 1 → 3 → 4 → 6 → A	30,70
4	A → 6 → 1 → 3 → 4 → 5 → 2 → 8 → 7 → A	30,40
5	A → 6 → 4 → 2 → 7 → 5 → 8 → 1 → 3 → A	27,85
	Rata-Rata	29,70
	Standar Deviasi	1,11

Berdasarkan Tabel 3, diketahui bahwa pengolahan data menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) sebanyak 5 kali pada parameter A menghasilkan 5 rute yang berbeda. Proses replikasi dari yang pertama hingga ke lima menghasilkan total jarak tempuh yang fluktuatif. Dari perolehan kelima hasil rute yang ada diketahui bahwa jarak terbesar terdapat pada replikasi ke 3 yaitu 30,70 km sedangkan jarak terkecilnya terdapat pada replikasi terakhir yaitu 27,85 yang sekaligus merupakan solusi terbaik yang diperoleh. Secara keseluruhan, pengolahan dengan menggunakan parameter A menghasilkan solusi jarak dengan rata-rata 29,698 km dengan besaran standar deviasi yang dimilikinya yaitu 1,110 km.

Parameter B

Dengan menggunakan parameter berupa suhu awal (T0), suhu akhir (TF) dan koefisien pendinginan (α) dengan nilai masing-masing yaitu 35, 0,19 dan 0,98 pada penentuan rute menggunakan *Simulated Annealing* (SA) serta dilakukan proses komputasi sebanyak 5 kali maka diperoleh hasil rute distribusi sebagaimana tertera pada Tabel 4 berikut.

Tabel 4. Hasil Rute Distribusi berdasarkan Parameter B

Replikasi	Rute yang Terbentuk	Total Jarak (km)
1	A → 3 → 2 → 4 → 7 → 5 → 1 → 8 → 6 → A	29,35
2	A → 6 → 8 → 1 → 3 → 2 → 5 → 4 → 7 → A	26,19
3	A → 6 → 5 → 8 → 1 → 3 → 2 → 4 → 7 → A	27,50
4	A → 6 → 1 → 8 → 5 → 7 → 4 → 2 → 3 → A	29,15
5	A → 2 → 7 → 5 → 3 → 4 → 1 → 8 → 6 → A	29,45
	Rata-Rata	28,33
	Standar Deviasi	1,44

Berdasarkan hasil pengolahan yang terdapat pada Tabel 4, diketahui bahwa proses komputasi metode *Simulated Annealing* (SA) dengan menerapkan parameter B dengan replikasi 5 kali menghasilkan rute dengan urutan dan jarak yang bervariasi. Tiap peralihan hasil dari 1 replikasi ke replikasi berikutnya memiliki kenaikan maupun penurunan nilai yang berbeda. Hasil yang diperoleh pada pengolahan ini diketahui bahwa nilai total jarak terendah yaitu 26,19 diperoleh pada replikasi ke 2, sedangkan nilai total jarak tertinggi terdapat pada replikasi kelima. Pada parameter B ini jika digabungkan maka rata-rata total jarak tempuh yang dihasilkan yaitu 28,328 km dengan nilai standar deviasi yaitu 1,435 km.

Parameter C

Penerapan metode *Simulated Annealing* (SA) dengan nilai parameter suhu awal (T0) = 50, suhu akhir (TF) = 0,001 dan koefisien pendinginan (α) = 0,99 serta dilakukan proses pengulangan sebanyak 5 kali pada proses penentuan rute distribusi pada penelitian ini memberikan hasil seperti pada Tabel 5 berikut.

Tabel 5. Hasil Rute Distribusi berdasarkan Parameter C

Replikasi	Rute yang Terbentuk	Total Jarak (km)
1	A → 6 → 5 → 4 → 7 → 8 → 1 → 3 → 2 → A	26,74
2	A → 6 → 8 → 1 → 3 → 2 → 5 → 4 → 7 → A	26,14
3	A → 6 → 4 → 5 → 8 → 1 → 3 → 2 → 7 → A	26,64
4	A → 6 → 5 → 4 → 7 → 8 → 1 → 3 → 2 → A	26,74
5	A → 6 → 4 → 5 → 8 → 1 → 3 → 2 → 7 → A	26,64
Rata-Rata		26,58
Standar Deviasi		0,25

Berdasarkan hasil pengolahan dengan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) yang menerapkan parameter C dan replikasi sebanyak 5 kali sebagaimana terdapat pada tabel 5, maka dihasilkan 3 rute yang berbeda. Diketahui dari tabel 5 di atas bahwa replikasi 1 dan 4 serta 3 dan 5 memiliki hasil yang sama sedangkan replikasi ke 2 memiliki hasil yang berbeda. Berdasarkan nilai total jarak yang diperoleh, diketahui juga bahwa hasil pada replikasi ke 3 memiliki jarak paling minimal yaitu 26,14 km sedangkan 4 hasil lainnya lebih besar namun selisihnya tidak lebih dari 1 km. Hasil pengolahan pada parameter C ini secara umum memiliki rata-rata yaitu 26,580 km dengan nilai standar deviasi yang diperoleh yaitu 0,251 km.

Perbandingan Antar Parameter

Hasil yang telah diolah dengan ketiga parameter yang diadopsi perlu diketahui manakah yang memiliki nilai terbaik. Untuk itu, dilakukan proses perbandingan ketiga parameter dengan indikator pertama yaitu rata-rata jarak. Rekapitulasi rata-rata jarak tempuh dari hasil pengolahan dengan parameter A, B dan C yang telah dilakukan dapat dilihat pada Tabel 6 berikut.

Tabel 6. Perbandingan Parameter berdasarkan Rata-Rata Jarak

Parameter	Rata-Rata Jarak (km)	Peringkat
A	29,70	3
B	28,33	2
C	26,58	1

Dalam melakukan perbandingan antar parameter dengan indikator rata-rata jarak diketahui bahwa nilai terkecil menempati peringkat teratas. Dari hasil yang terdapat pada Tabel 6, diketahui bahwa predikat tersebut jatuh pada parameter C. Dari hasil pengolahan yang telah dilakukan, diketahui selisih antara parameter C dengan A yaitu 3,118 km sedangkan selisih antara parameter C dengan B yaitu 1,748 km.

Perbandingan antar parameter tidak hanya dilakukan berdasarkan rata-rata jarak yang diperoleh saja namun juga terdapat indikator lain. Indikator kedua yang digunakan untuk melihat performa hasil antar parameter yaitu dinilai dari standar deviasinya. Rekapitulasi standar deviasi dari hasil jarak tempuh yang diperoleh dari pengolahan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) dengan menerapkan parameter A, B dan C dapat dilihat pada Tabel 7 berikut.

Tabel 7. Perbandingan Parameter berdasarkan Standar Deviasi Jarak

Parameter	Standar Deviasi Jarak (km)	Peringkat
A	1,11	2
B	1,44	3
C	0,25	1

Proses penilaian parameter A, B dan C ditinjau dari indikator standar deviasi jarak memiliki mekanisme yang sama dengan indikator rata-rata jarak. Hal tersebut berarti bahwa standar deviasi dengan nilai paling rendah akan mendapat peringkat paling tinggi. Hal tersebut diraih oleh parameter C dengan nilai standar deviasi jarak yaitu 0,251 km. Dibandingkan dengan kedua parameter lainnya, diketahui bahwa parameter C memiliki standar deviasi yang tidak lebih dari 1 km. Hal ini memiliki arti bahwa tiap solusi yang dihasilkan oleh parameter C tidak berbeda satu sama lain serta nilainya juga tidak jauh dari rata-rata keseluruhan hasil total jarak yang diperoleh dari hasil penerapan parameter C pada komputasi metode *Simulated Annealing* (SA) yang telah dilakukan.

Selain rata-rata dan standar deviasi jarak, perbadingan juga dilakukan dengan indikator lain. Indikator ketiga pada perbandingan hasil antar parameter yaitu berdasarkan jarak minimal yang diperoleh tiap parameter. Rekapituasi hasil jarak minimal dari setiap parameter pengolahan data dapat dilihat pada Tabel 8 berikut.

Tabel 8. Perbandingan Parameter berdasarkan Jarak Minimal

Parameter	Jarak Minimal (km)	Peringkat
A	27,85	3
B	26,19	2
C	26,14	1

Penilaian jarak minimal masing-masing parameter memiliki proses yang sama dengan kedua indikator sebelumnya. Parameter dengan hasil jarak minimal paling kecil di antara yang lain artinya yang paling unggul dalam menyelesaikan kasus distribusi pada penelitian ini. Berdasarkan Tabel 8 diketahui bahwa jarak terendah dari rute distribusi yang dibentuk oleh ketiga parameter terdapat pada parameter C dengan nilai yaitu 26,14 km. Jarak ini hanya memiliki selisih tipis dengan hasil parameter B yaitu sebesar 0,05 km saja sedangkan selisihnya dengan hasil parameter A lebih besar yaitu mencapai 1,71 km.

Penilaian performansi parameter berdasarkan rata-rata jarak, standar deviasi jarak dan jarak minimal dievaluasi bersama untuk menentukan parameter terbaik. Penilaian akhir ini dilakukan dengan mengkonversi peringkat menjadi bentuk skor. Peringkat teratas akan mendapat skor tertinggi dan begitu juga sebaliknya. Hasil penilaian dapat dilihat pada Tabel 9 berikut.

Tabel 9. Penilaian Performansi Parameter

Parameter	Indikator			Total
	Rata-Rata Jarak	Standar Deviasi Jarak	Jarak Minimal	
A	1	2	1	4
B	2	1	2	5
C	3	3	3	9

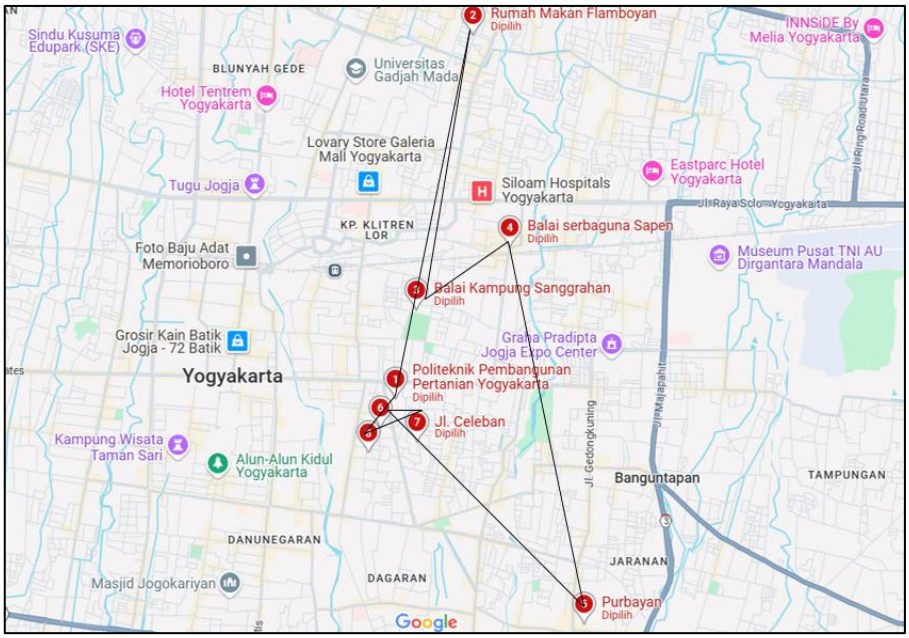
Berdasarkan hasil penilaian pada Tabel 9, diketahui bahwa skor tertinggi diraih oleh parameter C. Diketahui dari hasil pengolahan data, parameter C mampu mencapai skor maksimal dengan unggul baik di indikator rata-rata jarak, standar deviasi jarak maupun jarak minimal yang diperolehnya. Peringkat kedua diraih oleh parameter B dengan skor 5 yang cukup baik dari sisi rata-rata jarak dan jarak minimal yang diperolehnya dengan hasil lebih rendah daripada parameter A namun tidak sebaik parameter C. Sementara parameter A dianggap memiliki hasil yang kurang baik karena mendapatkan skor penilaian akhir yang paling rendah.

Hasil Akhir

Hasil yang diperoleh dari penentuan rute distribusi dengan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA) yang menerapkan 3 kombinasi parameter dan replikasi sebanyak 5 kali menunjukkan hasil terbaik pada parameter C. Hasil tersebut diperoleh pada replikasi ke 2 dengan total jarak tempuh yaitu 26,14 km. Rute yang dibentuk pada hasil ini diawali dari TP PKK Kota Yogyakarta lalu menuju ke 8 lokasi pengiriman dengan urutan yaitu KWT Flamboyan Joyonegara, RW 2 Kampung Sanggrahan, PKK RT 24 Sapen, RT 94 Rejowinangun, RT 25 RW 12 Purbayan, RT 7 RW 2 Tahunan, RT 27 Celeban Tahunan dan Kelompok Tani Tegal Hijau Lestari Warungboto lalu kembali lagi ke TP PKK Kota Yogyakarta. Rute distribusi ini apabila divisiualisasikan dengan menggunakan *Google Maps* maka hasil yang diperoleh adalah seperti pada gambar 2.

Hasil visualisasi dengan menggunakan *Google Maps* juga memberikan luaran berupa estimasi waktu sebesar 1 jam 12 menit. Apabila tiap titik lokasi membutuhkan waktu operasi seperti pemberian bibit kepada pengurus lokasi setempat dan hal administratif tertentu sebanyak 15 menit maka total waktu yang dibutuhkan hingga distribusi selesai dilakukan adalah 3 jam 12 menit. Dengan demikian apabila kegiatan distribusi dilakukan dari pukul 08.00 maka akan selesai pada 11.12.

Dengan berdasarkan analisis rute distribusi yang telah dilakukan, maka hasil ini dapat diterapkan pada kasus distribusi yang nyata. Secara teoritis, penggunaan metode *Simulated Annealing* (SA) yang menerapkan parameter suhu awal (T0) = 50, suhu akhir (TF) = 0,001 dan koefisien pendinginan (α) = 0,99 dapat memberikan solusi rute distribusi dengan jarak minimal. Akan tetapi, hal ini dapat diperbaiki lagi untuk meningkatkan akurasi solusi dengan menambah jumlah replikasi pada proses pengolahan data yang dilakukan. Dengan dilakukannya penambahan tersebut, terdapat kemungkinan solusi yang lebih baik dapat ditemukan. Selain itu, penggunaan 1 metode saja yang telah mengacu berbagai literatur memang cukup baik. Akan tetapi, apabila hasil yang diperoleh juga dibandingkan dengan metode lain (seperti *ant colony, genetic algorithm, particle swarm optimization*) maka akan menghasilkan evaluasi yang lebih baik dimana apabila solusi metode lain memiliki jarak tempuh yang lebih besar maka menandakan penerapan metode *Simulated Annealing* (SA) dianggap tepat untuk dilakukan.



Gambar 2. Rute Distribusi

PENUTUP

Simpulan

Penelitian ini memberikan hasil bahwa dalam kasus penentuan rute distribusi bibit cabai di Kota Yogyakarta dapat dilakukan dengan menggunakan metode *Simulated Annealing* (SA). Pada penerapan metode tersebut dengan 3 kombinasi parameter diketahui bahwa skema parameter C dengan nilai suhu awal (T0) = 50, suhu akhir (TF) = 0,001 dan koefisien pendinginan (α) = 0,99 memberikan hasil terbaik. Rute yang diperoleh dengan skema tersebut memiliki total jarak tempuh yaitu 26,14 km dengan estimasi total waktu operasi dan distribusi yaitu 1 jam 12 menit. Penelitian selanjutnya dapat dikembangkan dengan menambah jumlah replikasi agar diketahui secara lebih rinci adanya kemungkinan menghasilkan solusi yang lebih baik serta konsistensi dari nilai solusi yang dihasilkan tersebut. Selain itu, penerapan metode metaheuristik selain *Simulated Annealing* (SA) juga dapat dilakukan sebagai pembanding dari solusi yang telah didapatkan

DAFTAR PUSTAKA

Adhitama, L., Murniati, S., & Pramudyo, C. S. (2023). Minimasi Jarak Pengiriman Roti Cv. Twin Setia Dengan Metode K-Means Clustering Dan Simulated Annealing. *Jurnal Teknik SILITEK*, *03*(02), 1–8.

Anggarsari, F., Mahmudy, W. F., & Dewi, C. (2017). Optimasi Kebutuhan Gizi untuk Balita Menggunakan Hybrid Algoritma Genetika dan Simulated Annealing. *Jurnal Pengembangan Teknologi Informasi dan Ilmu Komputer*, *1*(12), 1668–1677.

Asih, A. M. S., Sopha, B. M., & Kriptaniadewa, G. (2017). Comparison study of metaheuristics: Empirical application of delivery problems. *International Journal of Engineering Business Management*, *9*, 184797901774360. https://doi.org/10.1177/1847979017743603

Darina, S., Wibowo, A. T., & Ridwan, M. (2021). *Penggunaan Algoritma Simulated Annealing Untuk Menyelesaikan Masalah Vehicle Routing Pada Rute Distribusi Supermarket Simulated Annealing Algorithm For Solving Vehicle Routing Problems On Supermarket Distribution Routes*. *6*(2).

Fauzi, A., Andriani, V., Febrian, A. Z., Apriyana, G., Syamia Sella, B., Abdillah Akbar, R., & Fadhillah, M. F. (2023). Pengaruh Meningkatnya Harga Cabai Terhadap Permintaan Dan Penawaran Di Indonesia. *Jurnal Akuntansi dan Manajemen Bisnis*, *3*(1), 73–79. https://doi.org/10.56127/jaman.v3i1.645

Ferreira, K. M., & De Queiroz, T. A. (2018). Two effective simulated annealing algorithms for the Location-Routing Problem. *Applied Soft Computing*, *70*, 389–422. https://doi.org/10.1016/j.asoc.2018.05.024

Novianda, R. F., Martini, S., & Aurachman, R. (2017). Penentuan Rute Armada Menggunakan Alogaritma Tabu Search Pada Homogenus Fleet Vehicle Routing Problem With Time Windows Di Pt. Xyz Wilayah Bandung Untuk Meminimasi Total Waktu Tempuh. *e-Proceeding of Engineering*, *Vol.4, No.2*, 2892–2899.

Ramadhani, S. D. R., Tanggono, H. A., & Yusuf, R. (2021). Optimasi Rute Distribusi Menggunakan Metode Tabu Search Perusahaan Daerah Air Minum (PDAM) Tirta Bangun Kulon Progo. *Proceedings Series on Physical & Formal Sciences*, *1*, 56–60. https://doi.org/10.30595/pspfs.v1i.134

Redi, A. A. N. P., Jewpanya, P., Kurniawan, A. C., Persada, S. F., Nadlifatin, R., & Dewi, O. A. C. (2020). A Simulated Annealing Algorithm for Solving Two-Echelon Vehicle Routing Problem with Locker Facilities. *Algorithms*, *13*(9), 218. https://doi.org/10.3390/a13090218

Redi, A. A. N. P., & Redioka, A. A. N. A. (2019). Algoritma Simulated Annealing untuk Optimasi Rute Kendaraan dan Pemindahan Lokasi Sepeda pada Sistem Public Bike Sharing. *Jurnal Sistem dan Manajemen Industri*, *3*(1), 50. https://doi.org/10.30656/jsmi.v3i1.1473

Winarno, W., & Redi, A. A. N. P. (2020). Analisa Perbandingan Metode Simulated Annealing Dan Large Neighborhood Search Untuk Memecahkan Masalah Lokasi Dan Rute Kendaraan Dua Eselon. *Jurnal Manajemen Industri dan Logistik*, *4*(1), 35–46. https://doi.org/10.30988/jmil.v4i1.311

Wirdianto, E., & Surya, B. (2007). Penerapan Algoritma Simulated Annealing Pada Penjadwalan Distribusi Produk. *Jurnal Optimasi Sistem Industri*, *Vol. 7 No. 1*, 7–20.

Yu, V. F., Indrakarna, P. A. Y., Redi, A. A. N. P., & Lin, S.-W. (2021). Simulated Annealing with Mutation Strategy for the Share-a-Ride Problem with Flexible Compartments. *Mathematics*, *9*(18), 2320. https://doi.org/10.3390/math9182320

Yuditya, A., Hardjanto, A., & Sehabudin, U. (2023). Fluktuasi Harga dan Integrasi Pasar Cabai Merah Besar (Studi Kasus: Pasar Induk Kramat Jati dan Pasar Eceran di DKI Jakarta). *Indonesian Journal of Agricultural, Resource and Environmental Economics*, *2*(1), 1–13.