

Implementasi Algoritma Simulated Annealing dalam Optimasi Waktu Tempuh pada Sistem Pengantaran J&T Express di Kecamatan Mariso

Andika Saputra¹, Fachrim Irhamna Rahman², Chyquitha Danu Putri³

¹Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 90222, Indonesia

²Program Studi Teknik Informatika, Universitas Muhammadiyah Makassar, Makassar, 90222, Indonesia

e-mail koresponden: 105841100521@student.unismuh.ac.id

Received: Agustus 01,2025; Accepted: Agustus 01, 2025; Published: 30 September, 2025

Abstrak

Meningkatnya volume pengiriman paket di perusahaan logistik membutuhkan perencanaan rute yang efisien, terutama di daerah perkotaan dengan kepadatan lalu lintas yang tinggi. Distrik Mariso dicirikan oleh kondisi lalu lintas yang padat yang secara signifikan memengaruhi waktu tempuh pengiriman bagi kurir J&T Express. Studi ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute pengiriman paket dengan meminimalkan total waktu tempuh menggunakan Simulated Annealing (SA). Dataset dikumpulkan melalui observasi lapangan, wawancara kurir, dan analisis peta digital, termasuk titik pengiriman, jarak antar titik, dan perkiraan waktu tempuh berdasarkan kondisi lalu lintas historis. Masalah pengiriman dirumuskan sebagai Traveling Salesman Problem menggunakan model grafik berbobot. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa metode yang diusulkan menghasilkan rute pengiriman yang lebih efisien dengan pengurangan total waktu tempuh dibandingkan dengan praktik perutean manual. Temuan ini menunjukkan bahwa Simulated Annealing efektif untuk optimasi rute pengiriman dan dapat digunakan sebagai pendekatan pendukung keputusan untuk meningkatkan efisiensi logistik di daerah perkotaan.

Kata kunci: Optimasi Rute, Pengantaran Paket, Simulated Annealing, Travelling Salesman Problem.

Abstract

The increasing volume of package deliveries in logistics companies requires efficient route planning, particularly in urban areas with high traffic congestion. Mariso District is characterized by dense traffic conditions that significantly affect delivery travel time for J&T Express couriers. This study aims to optimize package delivery routes by minimizing total travel time using the Simulated Annealing algorithm. The dataset was collected through field observations, courier interviews, and digital map analysis, including delivery points, inter-point distances, and estimated travel times based on historical traffic conditions. The delivery problem was formulated as a Travelling Salesman Problem using a weighted graph model. The experimental results show that the proposed method produces a more efficient delivery route with a reduction in total travel time compared to manual routing practices. These findings indicate that Simulated Annealing is effective for delivery route optimization and can be utilized as a decision support approach to improve logistics efficiency in urban areas.

Keyword: Package Delivery, Simulated Annealing, Route Optimization, Traveling Salesman Problem.

1. Pendahuluan

Distribusi merupakan salah satu elemen vital dalam rantai logistik, khususnya dalam kegiatan pengantaran barang dari perusahaan ke konsumen. Dalam praktiknya, proses distribusi menuntut efisiensi tinggi untuk menghindari keterlambatan yang dapat memengaruhi kepuasan pelanggan. Salah satu faktor penting dalam perencanaan distribusi adalah waktu tempuh, yang dipengaruhi oleh berbagai kondisi di lapangan seperti kemacetan, jumlah titik pengantaran, kondisi jalan, serta keberadaan lampu lalu lintas.[1]

Permasalahan distribusi merupakan salah satu faktor yang penting dalam mempengaruhi peningkatan pendapatan. Berdasarkan penelitian para ahli, menyatakan bahwa biaya distribusi rata-rata sebesar 16% dari harga jual barang yang dihasilkan. Ini berarti bahwa perlu adanya metode

yang digunakan untuk mengurangi biaya distribusi barang. Permasalahan ini juga dihadapi oleh salah satu perusahaan yang bergerak dibidang Jasa Titipan (Jastip) yaitu PT Pos Indonesia Cab Pekanbaru, yang selama ini selalu mengalami peningkatan anggaran biaya transportasi khususnya untuk biaya transportasi kolektif kiriman Kantor Pos cabang di dalam kota (KPCDK). Untuk melakukan proses kolektif kiriman dengan total jarak tempuh sejauh 3328 Km/Bulan menghabiskan bahan bakar sebanyak 221,86 Liter dengan biaya Rp. 1.697.280,00 (Satu juta enam ratus sembilan puluh tujuh ribu dua ratus delapan puluh rupiah) per bulannya biaya rutin yang harus dikeluarkan oleh perusahaan.[2]

Setiap aktifitas manusia selalu terikat dengan aturan, salah satunya waktu. Waktu secara umum dibagi menjadi tiga, yaitu: masa lalu, sekarang, dan masa yang akan datang. Sedangkan ketepatan waktu berarti pelaksanaan pelayanan di masyarakat yang diselesaikan dalam kurun waktu yang telah ditentukan. Ketepatan waktu memiliki pengaruh yang penting pada keberhasilan suatu perusahaan. Ada beberapa rintangan dan hambatan cukup banyak sehingga mengakibatkan "Muslim menyia-nyiakan waktu yaitu kelalaian dan berandai-andai. Sebagaimana halnya allah berfirman dalam Q.S. Al-Ashr ayat 1-3 yaitu:

وَالْعَصْرِ (إِنَّ الْإِنْسَانَ لَفِي خُسْرٍ) إِلَّا الَّذِينَ آمَنُوا وَعَمِلُوا الصَّالِحَاتِ وَتَوَاصَوْا بِالصَّيْرَفِ

(1) Demi masa, (2) Sesungguhnya manusia benar-benar dalam kerugian, (3) Kecuali orang-orang yang beriman dan mengerjakan amal sholeh serta saling menasehati perkara kebenaran dan saling menasehati agar menetapi kesabaran. (Q.S. Al-Ashr 1-3). Isi kandungan ayat diatas adalah peringatan bagi manusia mengenai meruginya manusia terhadap waktu. Al-Ashr berisi tentang setiap manusia senantiasa merugi, baik kaya ataupun miskin, orang dewasa hingga anak muda. Merugi dalam surat AlAshr adalah terhadap waktu, sebagaimana banyak manusia yang berbuat negatif dibandingkan hal positif disela waktu yang dimilikinya.[3]

Dalam kegiatan pengantaran paket J&T Express di Kecamatan Mariso, penentuan rute pengantaran masih dilakukan secara manual berdasarkan pengalaman kurir. Dengan jumlah titik pengantaran yang banyak, kondisi lalu lintas yang padat, serta keberadaan lampu lalu lintas, rute yang ditempuh sering kali tidak optimal sehingga menyebabkan waktu tempuh pengantaran menjadi lebih lama dan kurang efisien. Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana menentukan rute pengantaran yang mampu meminimalkan total waktu tempuh perjalanan kurir.

Traveling Salesman Problem (TSP) dikenal sebagai salah satu masalah optimasi yang banyak menarik perhatian para peneliti sejak beberapa puluh tahun. Pokok permasalahan TSP adalah perjalanan seorang salesman menuju ke beberapa tempat yang akan dituju dengan jarak yang diketahui lalu kembali ke tempat semula dengan menggunakan rute terpendek dari perjalannya, dan semua tempat yang dituju oleh salesman hanya boleh satu kali.[4]

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah permasalahan umum dalam optimasi kombinatorial, TSP bertujuan menentukan rute terpendek untuk mengunjungi sejumlah lokasi hanya sekali sebelum kembali ke lokasi awal. Dalam konteks layanan pengantaran makanan, TSP menjadi lebih kompleks karena melibatkan perubahan lokasi secara real-time, adanya batas waktu (time window), serta dinamika lalu lintas. Distribusi adalah tindakan yang dilaksanakan pada berbagai jenis transportasi dalam menjalankan pemasaran produk kepada konsumen, dengan adanya perencanaan oleh setiap perusahaan.

Pada pelaksanaannya, dibutuhkan perencanaan yang terstruktur, agar keterlambatan dapat diminimalisir, seperti faktor jarak tempuh. Permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) berakar dari permainan Icosian Hamilton yang diciptakan oleh William Rowan Hamilton dan Thomas Pennington pada tahun 1800. Permainan ini mengharuskan pemain untuk menghubungkan 20 titik dengan jalur tertentu, yang kemudian dikenal sebagai teori Sirkuit Hamilton dalam matematika diskrit. Umumnya, bentuk TSP awalnya dikaji oleh Karl Menger di Vienna dan Harvard pada tahun 1930. Selanjutnya, Hassler Whitney beserta Merrill Flood mempublikasikannya di Princeton. Kemudian perkembangan Travelling Salesman Problem dikembangkan dalam makalah "On the history of combinatorial optimization". Dalam konteks TSP, setiap kota direpresentasikan sebagai node dalam sebuah graf, dan perjalanan antara dua kota direpresentasikan sebagai edge dengan bobot tertentu yang menunjukkan jarak atau biaya perjalanan. Tantangan utama dalam Travelling Salesman Problem adalah menemukan rute optimal yang meminimalkan total jarak atau biaya perjalanan.[1]

J&T Express merupakan salah satu perusahaan jasa pengiriman barang yang didirikan pada tahun 2015 oleh Jet Lee dengan nama resmi PT. Global Jet Express dan mulai beroperasi pada awal September 2015. Mereka mendirikan J&T dengan melihat peluang dunia pendistribusian barang di Indonesia belum cukup maju dan penerima barang sering mengalami keterlambatan dalam

menerima paketnya dan tidak sesuai dengan jadwal yang ditentukan. Penentuan rute merupakan suatu sistem yang digunakan untuk menentukan jalur yang optimal dengan menganalisa suatu jalur. Hal ini bertujuan guna megoptimalkan waktu dan biaya transportasi, biasanya direpresentasikan kedalam bentuk graf yang didalamnya terdapat node yang memiliki nilai dan digunakan untuk menentukan jalur optimal.[5]

Algoritma *Simulated Annealing* (SA), yang terinspirasi oleh proses annealing dalam metalurgi, menawarkan solusi potensial. Algoritma ini bekerja dengan mengeksplorasi ruang solusi secara probabilistik untuk menemukan struktur yang optimal. Dalam konteks penerbangan, SA dapat digunakan untuk mengoptimalkan rute, jadwal penerbangan, dan alokasi sumber daya. Penelitian ini bertujuan mengembangkan *Simulated Annealing* (SA) yang lebih efisien untuk mengoptimalkan biaya operasional penerbangan. Algoritma menghitung total biaya dan waktu dari jadwal penerbangan dengan menjumlahkan biaya dan waktu dari satu kota ke kota lainnya. Setelah itu dilakukan penukaran acak untuk mendapat berbagai kemungkinan solusi.[6]

Dalam penelitian yang dilakukan oleh Fahrin Irhamna Rahman, Titin Wahyuni, dan Mustakim dengan judul "Implementasi Algoritma Floyd-Warshall untuk Menentukan Jarak Terpendek dalam Sistem Pengantaran Pos di Kecamatan Mariso," ditemukan bahwa pengantaran pos di Kecamatan Mariso menghadapi tantangan dalam menentukan rute optimal akibat jaringan jalan yang kompleks. Penelitian ini menerapkan Algoritma Floyd-Warshall untuk menganalisis jarak terpendek dari kantor pos ke seluruh titik pengantaran, dengan temuan bahwa algoritma mampu menghitung rute minimal secara akurat dan efisien. Hasil dari studi ini menjadi dasar empiris yang kuat untuk mendukung pengambilan keputusan dalam optimasi distribusi pos dan menekan biaya operasional. Mengingat adanya keterbatasan dalam menangani skala jaringan yang sangat besar dan faktor dinamis seperti lalu lintas.[7]

J&T Express harus terus memperkenalkan produknya kepada konsumen, sehingga konsumen akan mengenal dan mengingat jasa yang J&T Express tawarkan yang bertujuan untuk meningkatkan penjualan. J&T Express harus memberikan harga dan kualitas pengiriman yang baik agar konsumen merasa tertarik untuk menggunakan jasa pengirimannya.[8]

Terjebak dalam kemacetan pastinya membuat seseorang menjadi jemu dan bosan, sehingga mereka akan berusaha mencari cara agar perjalanan mereka menjadi tidak terhambat dan sampai ke tempat tujuan dengan waktu yang singkat dan cepat. Salah satu solusinya yaitu dengan mengetahui rute alternatif tercepat agar terhindar dari kemacetan. Rute alternatif tercepat ini berguna untuk mendapatkan jarak dan waktu tempuh yang optimal dari tempat asal menuju tempat tujuan tanpa terhambat oleh kemacetan yang disebabkan melonjaknya wisatawan.[9]

Perhitungan optimasi menggunakan *Simulated Annealing* (SA), merupakan penggabungan optimasi untuk penyelesaian TSP. Algoritma *Simulated Annealing* (SA), digunakan untuk mengubah pola rute dalam penyelesaian TSP agar terstruktur.[10]

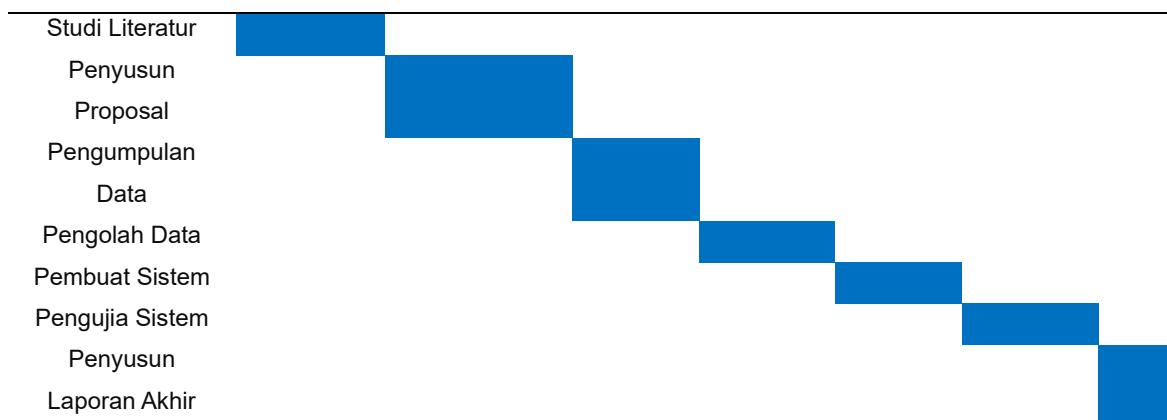
Simulasi dan optimasi logistik perkotaan merupakan pendekatan strategis untuk meningkatkan efisiensi pengelolaan rute angkutan barang, pusat distribusi, serta mengurangi dampak lingkungan di area perkotaan. Studi ini menyoroti pentingnya pengembangan solusi berbasis metaheuristik hibrida, integrasi pusat distribusi, dan penerapan kebijakan logistik berkelanjutan di kota-kota besar Indonesia seperti Bandung, Surabaya, dan Jakarta. Penelitian menggunakan metode simulasi dan optimasi, termasuk hybrid genetic algorithm dan simulated annealing, untuk meminimalkan jarak tempuh dan emisi gas buang.[11]

2. Metode Penelitian

TSP bertujuan untuk menemukan rute terpendek bagi seorang salesman yang harus mengunjungi setiap node tepat satu kali dan kembali ke node awal dengan jarak total minimal[12]

Penelitian ini dilaksanakan di Kecamatan Mariso, Kota Makassar. Pengambilan data dilakukan pada bulan Juni 2025 melalui observasi lapangan, wawancara dengan kurir J&T Express, serta pemanfaatan peta digital.

Kegiatan	Mei	Juni	Juli	Agustus
----------	-----	------	------	---------



2.2 Pengumpulan data

1. Waktu Tempuh & Jarak: Selama proses pengiriman, catat waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan setiap rute dan jarak sebenarnya yang ditempuh oleh kurir. Pengukuran ini harus dilakukan secara akurat untuk memastikan hasil yang valid.
2. Umpam Balik Kurir: Kumpulkan informasi dari kurir tentang pengalaman pengiriman mereka, termasuk kemudahan navigasi, tantangan yang dihadapi seperti jumlah lampu lalu lintas yang dilalui, Perkiraan jadwal kemacetan di jam-jam tertentu dan efisiensi rute yang dirasakan. Umpam balik ini dapat dikumpulkan melalui kuesioner atau wawancara yang dilakukan pasca pengiriman.
3. Analisis Prioritas pengantaran: Kumpulkan Jumlah Pengantaran Paket Setiap Harinya Data ini dikumpulkan untuk mengukur beban kerja kurir di setiap titik pengantaran. Jumlah paket yang harus diserahkan di tiap lokasi serta estimasi waktu yang dibutuhkan untuk menyelesaikan proses pengantaran dicatat melalui observasi dan wawancara dengan kurir J&T Express
4. Pemetaan Titik Pengantaran ke dalam Struktur Graf Berbobot: Dalam penelitian ini, data titik pengantaran yang diperoleh dari observasi lapangan dan wawancara dengan kurir J&T Express dipetakan ke dalam bentuk graf berbobot. Setiap titik pengantaran dianggap sebagai simpul (node), dan setiap jalur penghubung antar titik direpresentasikan sebagai sisi (edge). Bobot dari sisi ini ditentukan oleh:
 - a. Estimasi waktu tempuh antar titik (diperoleh dari Google Maps),
 - b. Jumlah lampu lalu lintas yang dilalui,
 - c. Dan bisa juga mempertimbangkan estimasi kemacetan berdasarkan waktu tertentu.

Dengan model graf ini, maka permasalahan pengiriman barang dapat diselesaikan sebagai persoalan Travelling Salesman Problem (TSP), yakni mencari urutan titik (simpul) yang menghasilkan total waktu tempuh minimum, tanpa mengunjungi titik yang sama lebih dari satu kali. Struktur graf inilah yang digunakan sebagai dasar bagi Algoritma *Simulated Annealing* dalam mengevaluasi berbagai kemungkinan rute, dengan memanfaatkan bobot graf sebagai input untuk menghitung fungsi objektif.

2.3 Analisis data

Setelah proses pengumpulan data selesai, dilakukan analisis untuk menilai kinerja Algoritma *Simulated Annealing* (SA) dalam mengoptimalkan waktu tempuh pengiriman. Analisis ini meliputi:

1. Waktu pengiriman yang dioptimalkan yang dicapai melalui Algoritma *Simulated Annealing*.
2. Menganalisis Prioritas Urutan Pengantaran Paket Melalui Algoritma *Simulated Annealing* ini bertujuan untuk melihat apakah Algoritma mampu memberikan rute yang lebih cepat atau lebih efisien. Hasil ini akan menjadi dasar untuk menilai seberapa efektif Algoritma *Simulated Annealing* dalam pengambilan keputusan rute yang lebih cepat.
3. Statistik Deskriptif Untuk menggambarkan hasil secara lebih menyeluruh dan mudah dipahami, digunakan beberapa ukuran statistik sederhana, antara lain:
 - a. Deviasi standar, yang menunjukkan seberapa besar variasi waktu pengiriman dari satu rute ke rute lainnya,
 - b. Persentase kesalahan dalam jarak tempuh, yaitu seberapa lama rute yang dihasilkan oleh Algoritma.
4. Identifikasi Faktor Eksternal

- a. Prediksi Jadwal Kemacetan di jam-jam tertentu
 - b. Kondisi jalan, misalnya adanya perbaikan jalan yang tidak dapat di prediksi.
5. Membuat Syntax Bahasa Python terhadap waktu tempuh dalam sistem pengantaran J&T Tahap selanjutnya adalah realisasi implementasi dari Algoritma *Simulated Annealing* (SA) dengan memanfaatkan bahasa pemrograman Python. Pemilihan Algoritma *Simulated Annealing* (SA), sebuah metode heuristik yang dikenal luas akan efektivitas dan efisiensinya dalam menangani permasalahan optimasi kombinatorial, khususnya Travelling Salesman Problem (TSP). Esensi dari TSP adalah menemukan Optimasi waktu pengantaran.

Teori graf adalah cabang matematika yang mempelajari grafik, yang terdiri dari simpul (vertex) dan sisi (edge) yang menghubungkan simpul-simpul tersebut. Dalam konteks optimasi sistem lampu lalu lintas, teori graf digunakan untuk memodelkan aliran kendaraan dan hubungan antara berbagai rute yang ada di persimpangan. Setiap simpul dalam graf dapat mewakili persimpangan, sedangkan sisi menggambarkan jalan-jalan yang menghubungkan simpul tersebut. [13]

Penelitian ini menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* untuk mencari rute optimal dari suatu titik awal (Titik K35) menuju sejumlah titik tujuan (Titik I50, J32, dan L41) dalam konteks distribusi barang. Pemilihan rute didasarkan pada estimasi waktu tempuh total, yang mencakup faktor jarak, kecepatan kendaraan, kondisi kemacetan, serta waktu delay saat proses drop barang di masing-masing titik. Kecepatan kendaraan diasumsikan sebagai berikut:

- a. Kecepatan normal: 30 km/jam → 500 meter/menit
- Simulasi ini bertujuan untuk mengkaji sejauh mana Algoritma SA mampu mengidentifikasi rute yang lebih efisien, serta mengukur pengaruh faktor eksternal seperti estimasi kemacetan pada jam-jam tertentu.

- b. Rute Awal dan Perhitungan waktu tempuh
- Rute awal yang digunakan dalam eksperimen ini adalah: Titik Awal K35 → Titik I50 → Titik J32 → Titik L41 Berikut Beberapa titik tujuan pengantaran paket J&T Express Setiap nama jalan mewakili nama titik yang ada:

- a. Data Titik Tujuan Pengantaran di tunjukkan pada Tabel 1, Titik Awal K35 → Titik L41 (Jl. Nuri Lama)

Table 1. *Invoice Barang Jl. Nuri Lama*

Kode Invoice	Nama Penerima	Alamat
JX5621478206	Fiti daniyati fall	Jl. Nuri Kompleks Pu RT03, NO5
JX5594035965	Fiti Daniyanti sinta	Jl. Nuri Kompleks PU No.2/15 Rt.03 Rw.05
JX5587819610	Fiti Daniyati Ajeng	Jl. Nuri Komp.Pu No.2/15 Rt03 Rw.05
JX5622651811	R. Ryan Subiakto S	Jl. Nuri Komp PU No.33 RT03 Rw05
JX5583897454	Nunoy	Jl. Nuri Lama No 13C
-	Justya	Jl. Nuri No.28

Berdasarkan Tabel 1, dapat dilihat bahwa Dari titik Awal K35 Menuju titik tujuan pertama yaitu I50(Jl. Nuri Lama).

- b. Data Titik Tujuan Pengantaran di tunjukkan pada Tabel 2, Titik L41 → Titik J31 (Kamboja)

Table 2. *Invoice Barang Jl. Kamboja*

Kode Invoice	Nama Penerima	Alamat
JX5573196466	Kost Taobun	Taobun, Jl. Kamboja No.2 Kost Depan Cafe Taobun
JX5603451452	Kost Taobun	Taobun, Jl. Kamboja No.2 Kost Depan Cafe Taobun
JX5601579525	Kost Taobun	Taobun, Jl. Kamboja No.2 Kost Depan Cafe Taobun

JX5575346175

Kost Taobun

Taobun, Jl. Kamboja No.2 Kost Depan Cafe

Taobun

Berdasarkan Tabel 2, dapat dilihat bahwa Dari titik tujuan selanjutnya dari titik L41 Menuju titik tujuan Kedua yaitu J31(Jl. Kamboja).

- c. Data Titik Tujuan Pengantaran di tunjukkan pada Tabel 3, Titik J31 → Titik I50 (Jl. Nuri Baru)

Table 3. Invoice Barang Jl. Nuri Baru

Kode Invoice	Nama Penerima	Alamat
JX5627816852	Rahmat	Coto Depag Jl. Nuri Baru
JX5587512188	Riska Amalia	Jl. Nuri Baru No.121
JX5616356838	Andi Awaluddin	Jl. Nuri No.4a Bengkel Trijaya
JX5594823646	Dani	Jl. Nuri Baru No.48
JX5584641438	Break Means	Jl. Nuri Baru

Berdasarkan Tabel 3, dapat dilihat bahwa Dari titik tujuan selanjutnya dari titik J31 Menuju titik tujuan Kedua yaitu I50(Jl. Nuri Baru). Table a, b, c adalah table titik tujuan pengantaran setiap table mewakili titik tujuan table (a) Mewakili titik Tujuan L41, Table (b) Mewakili Titik tujuan J31, dan Table (c) Mewakili Titik Tujuan I50 rute ini merupakan urutan rute manual yang di lalui kurir tanpa menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*.

1. Energi: didefinisikan sebagai seberapa besar fungsi tujuan minimal dari suatu kombinasi state. Dalam permasalahan TSP, energi didefinisikan sebagai jarak yang harus dilalui pada suatu jalur yang dinyatakan sebagai urutan nomor Kota yang dilalui. Energi dapat dinyatakan dengan persamaan:

$$E = \sum_{i=1}^n d \quad (1)$$

Di mana E adalah energi dan d adalah jarak Kota ke $s(i)$ dan $s(i + s)$. Sedangkan jarak (d) dinyatakan dengan:

$$d = \sqrt{\{(s_{x(i)} - s_{x(i+1)})^2 + (s_{y(i)} - s_{y(i+1)})^2\}} \quad (2)$$

2. Temperatur didefinisikan sebagai suatu nilai kontrol yang membuat suatu state acak bisa bergerak naik atau tidak. Seperti halnya analogi pada kejadian thermal, ion-ion akan bergerak bebas pada temperatur yang tinggi dan semakin terbatas gerakannya ketika temperatur turun.
3. Proses update state; pada proses ini, state akan diterima simulated annealing ini dengan probabilitas menggunakan prinsip distribusi Boltzman. Algoritma *Simulated Annealing* secara umum untuk penyelesaian masalah optimasi adalah:
 - a. Bangkitkan State awal S_0 yang di proleh dengan membangkitkan bilangan acak pada komputer dan tidak boleh ada angka yang kembar.
 - b. Hitung energi awal $E_1 = f(S_0)$
 - c. Bangkitkan bilangan acak $P \in [0,1]$
 - d. Jika $\Delta E < 0$, maka solusi S_1 diterima. Jika $\Delta E \geq 0$, maka solusi S_1 diterima dengan probabilitas

$$P = e^{-\frac{\Delta E}{kT}} \quad (3)$$

Kelebihan simulated annealing dibandingkan dengan metode lain adalah kemampuannya untuk menghindari jebakan optimal lokal. Algoritmanya merupakan Algoritma pencarian acak, tetapi tidak hanya menerima nilai obyektif yang selalu turun, melainkan terkadang menerima nilai obyektif yang naik juga. [14]

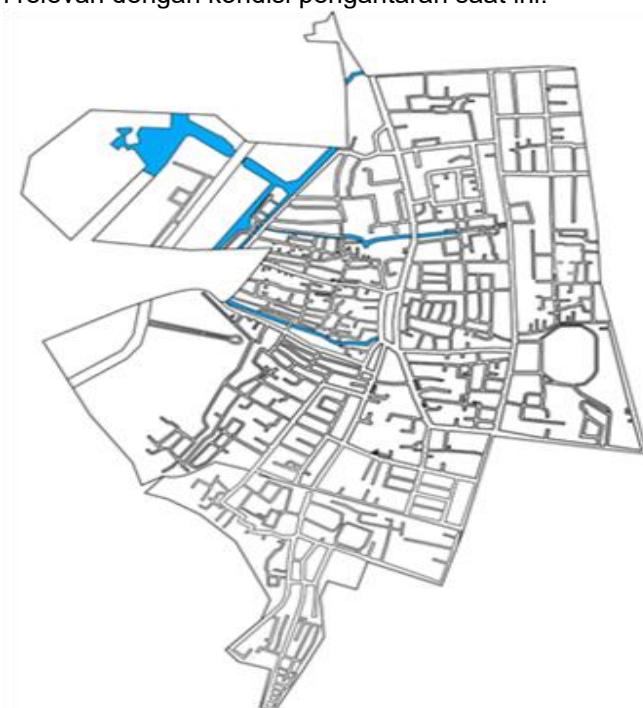
3. Hasil dan Pembahasan

Setelah memperoleh persetujuan dan dukungan dari pihak J&T Express, kegiatan penelitian dapat dilaksanakan langsung di lapangan. Prosedur ini dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh proses penelitian berjalan secara resmi dan sesuai dengan ketentuan yang berlaku, sehingga data yang diperoleh memiliki tingkat validitas yang tinggi, dapat dipertanggungjawabkan secara ilmiah, serta bermanfaat bagi pengembangan sistem distribusi logistik yang lebih efisien.

Selain itu, proses pengumpulan data juga dilakukan melalui wawancara dengan kurir J&T Express yang bertugas di wilayah Kecamatan Mariso. Dari wawancara tersebut, diperoleh informasi penting mengenai rute-rute yang paling sering dilalui, kendala yang dihadapi selama proses pengantaran, serta strategi yang digunakan oleh kurir dalam menentukan rute tercepat berdasarkan pengalaman langsung di lapangan. Data tersebut menjadi komponen utama dalam proses pemodelan rute untuk dianalisis lebih lanjut menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*.

3.1 Penggambaran Peta Wilayah

Proses pemetaan dilakukan dengan memadukan data sekunder dari peta digital (seperti Google Maps) dengan hasil observasi langsung di lapangan. Selain memverifikasi informasi yang sudah ada, pemetaan ini juga memperhatikan dinamika perubahan infrastruktur, seperti pembangunan jalan baru, perubahan arah jalan, atau akses yang tidak dapat dilalui akibat kemacetan atau penutupan jalan sementara. Dengan pendekatan ini, data yang diperoleh menjadi lebih representatif dan relevan dengan kondisi pengantaran saat ini.



(a). Pemetaan Wilayah Mariso
Gambar 1. Penggambaran Peta

Peta yang dihasilkan dari pemetaan ulang ini digunakan sebagai dasar untuk membentuk struktur graf berbobot yang merepresentasikan hubungan antar titik pengantaran. Bobot pada setiap sisi dalam graf dihitung berdasarkan estimasi waktu tempuh, jarak antar titik, serta jumlah lampu lalu lintas yang dilalui. Representasi ini menjadi bagian penting dalam penerapan Algoritma *Simulated Annealing* untuk menentukan rute pengiriman yang cepat.

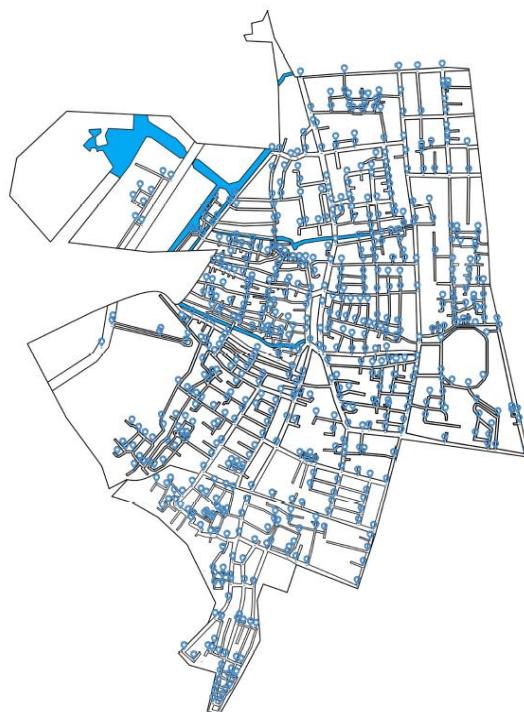
3.2 Penentuan titik graf

Teori graf merupakan cabang dari matematika yang telah ada lebih dari dua puluh dekade yang lalu. Jurnal pertama tentang teori graf pada tahun 1736 oleh Euler dari Swiss. Pergerakan lalu lintas ini dikendalikan berbagai cara, bergantung pada jenis persimpangannya. Dilihat dari bentuknya ada beberapa macam jenis persimpangan sebidang, sebagai berikut:

- a. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabangtiga.
- b. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabangempat.
- c. Pertemuan atau persimpangan sebidang bercabangbanyak.
- d. Bundaran (RotaryIntersection)[15]

Pemetaan simpul dilakukan secara sistematis melalui pengamatan langsung serta referensi dari peta digital, dengan memperhatikan karakteristik jalan utama di Kecamatan Mariso yang menjadi jalur pengantaran. Dalam visualisasi graf yang dibangun, simpul-simpul ini dihubungkan oleh sisi (edge) yang mewakili ruas jalan antar titik. Setiap edge memiliki bobot tertentu yang merepresentasikan parameter penting seperti jarak antar titik, estimasi waktu tempuh berdasarkan data historis, serta jumlah lampu lalu lintas yang dilalui pada segmen tersebut.

Gambar peta kawasan di bawah ini memperlihatkan representasi visual dari simpul dan sisi yang membentuk struktur graf pengantaran. Setiap titik biru pada peta menunjukkan lokasi persimpangan atau pembelokan yang telah ditetapkan sebagai simpul. Struktur graf ini menjadi dasar dalam pemodelan permasalahan Travelling Salesman Problem (TSP) dan dioptimalkan menggunakan Algoritma *Simulated Annealing* untuk menentukan rute dengan waktu tempuh minimum dalam sistem pengantaran J&T Express di Kecamatan Mariso:



(b). Penentuan Titik

Gambar 2. Penempatan Titik di Belokan dan Perempatan

Dalam konteks sistem pengantaran J&T Express di Kecamatan Mariso, setiap titik pembelokan dan persimpangan jalan direpresentasikan sebagai simpul (node) dalam struktur graf. Titik-titik ini merupakan lokasi strategis di mana kurir memiliki kemungkinan untuk memilih jalur berbeda berdasarkan arah pengantaran dan kondisi lalu lintas yang dihadapi di lapangan.

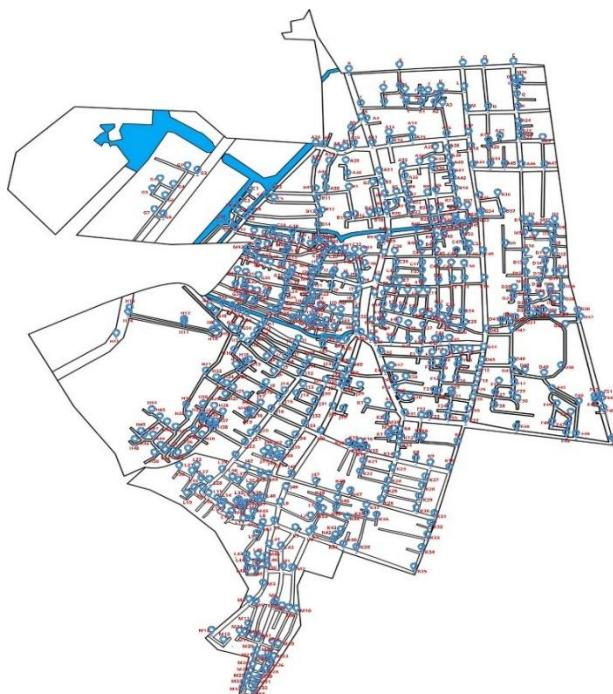
Setiap simpul dibentuk berdasarkan lokasi pertemuan dua atau lebih ruas jalan yang memiliki potensi sebagai titik pengambilan keputusan dalam penentuan rute. Hal ini penting karena pada setiap simpul tersebut, kurir dihadapkan pada opsi untuk melanjutkan perjalanan ke berbagai arah, yang masing-masing memiliki konsekuensi terhadap waktu tempuh, jumlah lampu lalu lintas yang dilalui, serta tingkat kemacetan.

Pemetaan simpul dilakukan secara sistematis melalui pengamatan langsung serta referensi dari peta digital, dengan memperhatikan karakteristik jalan utama di Kecamatan Mariso yang menjadi jalur pengantaran. Dalam visualisasi graf yang dibangun, simpul-simpul ini dihubungkan oleh sisi (edge) yang mewakili ruas jalan antar titik. Setiap edge memiliki bobot tertentu yang merepresentasikan parameter penting seperti jarak antar titik, estimasi waktu tempuh berdasarkan data historis, serta jumlah lampu lalu lintas yang dilalui pada segmen tersebut.

3.3 Penanaman Struktur Graf

Penamaan Titik dalam Struktur Graf Penamaan titik-titik dalam graf pengantaran J&T Express di Kecamatan Mariso dilakukan secara sistematis untuk memastikan setiap simpul (node) dalam graf dapat diidentifikasi dengan jelas, unik, dan konsisten. Proses penamaan ini menggunakan format huruf abjad yang dimulai dari huruf A hingga Z, di mana setiap titik mendapatkan label unik tanpa pengulangan pada tahap awal. Setelah abjad mencapai huruf Z, penamaan dilanjutkan dengan menambahkan angka di belakang huruf, seperti A1, A2, A3, dan seterusnya. Penamaan terus berlanjut hingga jumlah simpul terpenuhi, mengikuti pola bertahap seperti B1, B2, B3, dan sebagainya, dengan tetap menjaga struktur berurutan untuk memudahkan pelacakan serta pemetaan graf.

Secara keseluruhan, graf pengiriman ini terdiri dari 675 titik simpul, yang masing-masing merepresentasikan persimpangan, pembelokan, maupun titik keputusan dalam jaringan pengantaran. Titik terakhir dalam sistem penamaan ini diberi label M53, menunjukkan urutan akhir dari proses identifikasi simpul yang dilakukan.



Gambar 3. Penamaan titik graf Kecamatan Mariso

Gambar 3 menampilkan peta kawasan dengan penanda berwarna biru dan penamaan titik berwarna merah, di mana setiap titik biru merepresentasikan titik graf yang berjumlah 671 titik. Penamaan titik dimulai dari titik A hingga titik M53, dengan titik F37 merupakan lokasi Kantor Pos Kecamatan Mariso.

3.4 Pemilihan Jalur Berdasarkan Algoritma SA

Titik Utama K35:

- K35 → L41 Jalur yang dihasilkan adalah:
K35 → K39 → K40 → K41 → L4 → L5 → L42 → L41

Rute ini melewati Jl. Baji Minasa dan Jl. Nuri Baru, yang sebagian besar statusnya macet, dengan satu titik berhenti di L42 ke L41 menyebabkan delay berhenti selama 3 menit.

b. L41 → J31 Jalur yang dihasilkan adalah:

L41 → L7 → L6 → L40 → J44 → J43 → J42 → L31 → L30 → L29 → J22 → J21 → J20 → J16 → J15 → J32 → J31

Rute ini melalui jalan alternatif seperti Jl. Nuri Baru, Jl. Anggrek I & II, dan Jl. Dahlia. Secara umum, rute ini lancar meskipun tidak terdapat titik kemacetan yang menyebabkan penurunan kecepatan di J15, namun menyebabkan delay berhenti 3 menit.

c. J32 → I50 Jalur yang dihasilkan adalah:

J32 → J31 → J30 → J25 → J27 → J26 → J24 → I50

Rute ini melewati Jl. Matahari, Jl. Nusa Indah 1, dan Jl. Nuri, dengan beberapa titik macet dan mengalami penurunan kecepatan namun tidak berdampak pada waktu tempuh. Berikut Jalur Pengantar yang dihasilkan oleh Algoritma *Simulated Annealing* Pada Tabel 4:

Tabel 4. Urutan Jalur Pengantar Menggunakan Algoritma Simulated Annealing

Titik Asal	Titik Tujuan	Nama Jalan	Jarak (m)	Macet	Waktu Tempuh (mnt)	Delay Berhenti (mnt)
K35	K39	Jl. Baji Minasa	216	Ya	1.3	0
K39	K40	Jl. Baji Minasa	44	Ya	0.26	0
K40	K41	Jl. Baji Minasa	34	Ya	0.2	0
K41	L4	Jl. Baji Minasa	80	Ya	0.48	0
L4	L5	Jl. Baji Minasa	48	Ya	0.29	0
L5	L42	Jl. Baji Minasa 2	88	Tidak	0.13	0
L42	L41	Jl. Nuri Baru	41	Ya	0.25	6
L41	L7	Jl. Nuri Baru	95	Ya	0.57	0
L7	L6	Jl. Nuri Baru	82	Ya	0.49	0
L6	L40	Jl. Nuri Baru	55	Tidak	0.08	0
L40	J44	Jl. Anggrek I	85	Tidak	0.13	0
J44	J43	Jl. Anggrek I	32	Tidak	0.05	0

J43	J42	Jl. Anggrek I	44	Tidak	0.07	0
J42	L31	Jl. Anggrek II	59	0.09	0	0
L31	L30	Jl. Anggrek II	25	0.04	0	0
L30	L29	Jl. Anggrek II	42	0.06	0	0
L29	J22	Jl. Dahlia	68	0.1	0	0
J22	J21	Jl. Dahlia	37	0.06	0	0
J21	J20	Jl. Dahlia	25	0.04	0	0
J20	J16	Jl. Dahlia	93	0.14	0	0
J16	J15	Jl. Dahlia	49	0.07	0	0
J15	J32	Jl. Seruni	110	0.16	0	3
J32	J31	Jl. Matahari	45	0.07	0	0
J31	J30	Jl. Matahari	43	0.06	0	0
J30	J25	Jl. Matahari	49	0.07	0	0
J25	J27	Jl. Nusa Indah 1	54	0.08	0	0
J27	J26	Jl. Nuri	15	0.02	0	0
J26	J24	Jl. Nuri	23	0.03	0	0
J24	I50	Jl. Nuri	25	0.04	0	4

Delay Berhenti Pada Tabel 4 Merupakan Titik Kunjuangan Kurir J&T Express Untuk Mendrop barang bawaan kepada konsumen.

Tabel 5 Ringkasan Perjalanan pertujuan

Tujuan	Titik Awal	Titik Akhir	Jarak(m)	Waktu Tempuh Algoritma Simulated Annealing
Tujuan 1	K35	L41	646	
Tujuan 2	L41	J31	915	6 Menit 12 detik
Tujuan 3	J31	I50	145	
Total	-		1706	

Berdasarkan hasil implementasi Algoritma *Simulated Annealing*, diperoleh urutan rute pengantaran paket yang berbeda dibandingkan rute manual yang biasa digunakan kurir J&T Express di Kecamatan Mariso. Algoritma membangkitkan solusi awal secara acak, kemudian melakukan pertukaran titik pengantaran secara iteratif untuk mencari kombinasi rute yang menghasilkan total waktu tempuh minimum.

Proses optimasi menunjukkan bahwa Algoritma *Simulated Annealing* mampu keluar dari solusi lokal dengan menerima solusi yang memiliki nilai energi lebih besar pada temperatur tinggi, sehingga eksplorasi ruang solusi menjadi lebih luas. Seiring penurunan temperatur, Algoritma

semakin selektif dalam menerima solusi baru hingga akhirnya konvergen pada rute dengan total waktu tempuh yang lebih kecil.

Rute hasil optimasi menunjukkan susunan titik pengantaran yang lebih efisien, di mana lokasi-lokasi yang memiliki jarak berdekatan dan berada pada jalur yang sama dikelompokkan dalam satu lintasan. Hal ini mengurangi terjadinya pergerakan bolak-balik kurir pada ruas jalan yang sama dan meminimalkan waktu terbuang akibat jarak tempuh yang tidak perlu.

Berdasarkan perbandingan dengan rute manual, rute yang dihasilkan *Algoritma Simulated Annealing* memberikan total waktu tempuh yang lebih rendah. Penurunan waktu tempuh ini menunjukkan bahwa pendekatan Travelling Salesman Problem yang diselesaikan menggunakan Simulated Annealing efektif digunakan untuk mengoptimalkan rute pengantaran paket di Kecamatan Mariso. Dengan rute yang lebih optimal, kurir dapat menyelesaikan pengantaran lebih cepat sehingga berpotensi meningkatkan jumlah paket yang dapat diantarkan dan menekan biaya operasional.

3.5 Perbandingan dengan Penelitian Terdahulu

Penelitian ini dapat dibandingkan dengan penelitian yang dilakukan oleh Fahrin Irhamna Rahman, Titin Wahyuni, dan Mustakim yang berjudul "*Implementasi Algoritma Floyd–Warshall untuk Menentukan Jarak Terpendek dalam Sistem Pengantaran Pos di Kecamatan Mariso*". Pada penelitian tersebut, optimasi rute dilakukan dengan menggunakan Algoritma *Floyd–Warshall* untuk menentukan jarak terpendek dari satu titik ke titik lainnya dalam jaringan jalan di Kecamatan Mariso. Hasil penelitian menunjukkan bahwa Algoritma *Floyd–Warshall* mampu menghitung rute terpendek secara akurat dan efisien dalam konteks jaringan statis.

Berbeda dengan penelitian tersebut, penelitian ini memodelkan permasalahan pengantaran sebagai *Travelling Salesman Problem (TSP)* dan menyelesaiakannya menggunakan Algoritma *Simulated Annealing*. Pendekatan ini tidak hanya mencari jarak terpendek antar titik, tetapi secara langsung mengoptimalkan keseluruhan urutan rute pengantaran sehingga total waktu tempuh perjalanan kurir dapat diminimalkan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa rute yang dihasilkan oleh Algoritma *Simulated Annealing* mampu memberikan rute pengantaran yang lebih efisien dibandingkan rute manual kurir. Dibandingkan pendekatan *Floyd–Warshall* yang berfokus pada jarak terpendek antar pasangan titik, *Simulated Annealing* lebih fleksibel dalam menangani jumlah titik pengantaran yang lebih banyak dan mampu mencari solusi mendekati optimal pada permasalahan optimasi kombinatorial seperti TSP.

Dengan demikian, kontribusi utama penelitian ini dibandingkan penelitian terdahulu terletak pada penerapan Algoritma metaheuristik *Simulated Annealing* untuk optimasi rute pengantaran paket di Kecamatan Mariso, yang secara langsung mempertimbangkan urutan kunjungan seluruh titik pengantaran, bukan hanya jarak terpendek antar lokasi.

4. Kesimpulan

Berikan Kinerja Algoritma *Simulated Annealing* menunjukkan bahwa SA memberikan hasil dengan waktu tempuh 6 menit 12 detik. Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa penerapan Algoritma *Simulated Annealing* tidak hanya relevan dalam konteks akademis sebagai penyelesaian masalah Travelling Salesman Problem (TSP), tetapi juga membuktikan efektifitas dalam distribusi logistik khususnya J&T Express, dalam mendukung peningkatan kinerja distribusi barang pada wilayah dengan kepadatan lalu lintas seperti Kecamatan Mariso.

Algoritma *Simulated Annealing (SA)* menunjukkan kinerja yang baik dalam menentukan rute pengiriman dengan waktu tempuh minimum. Berdasarkan hasil simulasi pada sistem pengantaran J&T Express di Kecamatan Mariso, rute optimal yang dihasilkan adalah K35 → L41 → J31 → I50 dengan jarak total 1,7 km dan estimasi waktu tempuh sekitar 6 menit. Hal ini menunjukkan bahwa mekanisme pencarian solusi SA dalam mengoptimalkan urutan titik pengantaran dan memberikan hasil yang lebih efisien dibandingkan metode manual, meskipun masih bergantung pada data historis

Saran

Beberapa saran yang dapat diberikan untuk pengembangan lebih lanjut:

1. Integrasi Real-Time Traffic Data:

Untuk meningkatkan akurasi estimasi waktu tempuh, sebaiknya sistem diintegrasikan dengan data lalu lintas real-time seperti dari Google Traffic atau API navigasi lainnya.

2. Optimasi Berbasis Kategori Paket:

Tambahkan logika prioritas berdasarkan jenis layanan (reguler vs kilat) atau berat paket, sehingga Algoritma mempertimbangkan urutan berdasarkan urgensi pengantaran.

3. Perbandingan dengan Algoritma Lain:

Lakukan eksperimen pembanding dengan Algoritma heuristik lainnya seperti *Genetic Algorithm* atau *Ant Colony Optimization* untuk mengetahui kelebihan dan kelemahan relatif Simulated Annealing.

4. Visualisasi Hasil:

Penerapan visualisasi hasil rute dalam bentuk peta interaktif atau GUI sederhana akan sangat membantu stakeholder J&T Express dalam memahami manfaat sistem.

5. Automatisasi Sistem Logistik J&T:

Penelitian ini dapat menjadi dasar pengembangan sistem navigasi otomatis untuk kurir J&T berbasis Algoritma optimasi, yang diintegrasikan ke dalam sistem logistik mereka.

5. Notasi

n : 671 Titik (Data)

Journal:

- [1] W. Rowan, “TRAVELLING SALESMAN PROBLEM PADA OPTIMASI JALUR PENGIRIMAN,” vol. 9, no. 1, pp. 298–304, 2025.
- [2] H. Mukhtar, Y. Hendri, and S. Soni, “Implementasi Algoritma a Star Dalam Pencarian Rute Terpendek (Shortest Path Problem) Pada Sistem Pencarian Kantor Pos Di Kota Pekanbaru,” *J. Softw. Eng. Inf. Syst.*, vol. 2, no. 1, pp. 111–119, 2021, doi: 10.37859/seis.v2i1.3313.
- [3] L. A. Rachman, “PENGARUH KETEPATAN WAKTU DAN KEAMANAN BARANG TERHADAP KEPUASAN KONSUMEN PENGGUNA JASA EKSPEDISI DALAM PERSPEKTIF BISNIS ISLAM (Studi Pada J&T Express Drop Point Jl. Gatot Subroto Pahoman Bandar Lampung),” *J. Artik.*, vol. 13, no. 1, pp. 104–116, 2023.
- [4] Rizki Putra Sinaga and Faridawaty Marpaung, “Perbandingan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic Dan Nearest Neighbor Dalam Menyelesaikan Traveling Salesman Problem,” *J. Ris. Rumpun Mat. Dan Ilmu Pengetah. Alam*, vol. 2, no. 2, pp. 238–247, 2023, doi: 10.55606/jurrimipa.v2i2.1614.
- [5] indah Fatikawati, Syaripuddin, and M. N. Huda, “Implementasi Algoritma Genetika dalam Menentukan Rute Terpendek Pendistribusian Barang PT. J&T Samarinda,” *J. Ilm. Mat.*, vol. 2, no. 2, pp. 12–21, 2023.
- [6] N. Anshari, M. A. Hafizh, E. R. Putri, and A. N. Sihananto, “Metode Simulated Annealing untuk Optimasi Biaya Operasional Penerbangan,” vol. 4, pp. 33–38, 2024.
- [7] R. ARIADI, “Rahmat ariadi.”
- [8] M. H. Aliftian Nantigiri, S. Handayani, and V. Veronica, “Pengaruh Brand Image, Harga, Dan Ketepatan Waktu Pengiriman Terhadap Keputusan Pembelian Pada Jasa Pengiriman J&T Express Cabang Bekasi Tahun 2021,” *J. Manaj. Bisnis Transp. dan Logistik*, vol. 7, no. 2, pp. 181–192, 2021, doi: 10.54324/j.mbtv.v7i2.660.
- [9] H. Puja Kekal, W. Gata, S. Nurdiani, A. J. Setio Rini, and D. Sely Wita, “Analisa Pencarian Rute Tercepat Menuju Tempat Wisata Pulau Kumala Kota Tenggarong Menggunakan Algoritma Greedy,” *J. Ilm. Ilmu Komput.*, vol. 7, no. 1, pp. 9–15, 2021, doi: 10.35329/jiik.v7i1.179.
- [10] J. Mutakin, W. N. Kamilah, D. Andiani, and S. D. R. Septiani, “Aplikasi Metode Simulated Annealing Dan Metode Ant System Dalam Menyelesaikan Travelling Salesman Problem (Tsp) Pada Pt. Jet & Tony (J&T) Di Kabupaten Bandung,” *J. Ris. Mat. dan Sains Terap.*, vol. 2, no. 2, pp. 83–84, 2022.
- [11] A. Barang, P. Distribusi, D. A. N. Dampak, L. Di, D. A. N. Dampak, and L. Di, “PENGELOLAAN RUTE ANGKUTAN BARANG , PUSAT,” no. November, pp. 0–8, 2024.
- [12] M. A. Saputra, A. Rahim, M. K. Romadhoni, and M. S. Burhan, “Penyelesaian Traveling Salesman Problem Dengan Algoritma Ant Colony Menggunakan Multi Processing dan Multi Threading Parallel Programming,” vol. 4, no. 1, pp. 171–178, 2025, doi: 10.31284/p.semtek.2025-1.7008.
- [13] I. M. W. Putera, I. T. Bandung, and J. G. Bandung, “Optimasi Sistem Lampu Lalu Lintas dengan Teori Graf untuk Meningkatkan Arus Lalu Lintas di Persimpangan Buah Batu – Soekarno Hatta , Bandung,” no. 2018, 2025.
- [14] F. Tani, A. Warsito, and L. A. S. Lapono, “Kajian Optimasi Rute Terpendek Menggunakan Metode Simulated Annealing untuk Distribusi Obat pada Jaringan Apotek Kimia Farma di Kota Kupang,” *Magn. Res. J. Phys. It's Appl.*, vol. 2, no. 2, pp. 179–187, 2022.
- [15] A. Fanani, “Optimasi Waktu Tunggu Lampu Lalu Lintas Dengan Menggunakan Graf

Kompatibel Sebagai Upaya Mengurangi Kemacetan,” *Syst. Inf. Syst. Informatics J.*, vol. 2, no. 1, pp. 45–50, 2016, doi: 10.29080/systemic.v2i1.107.