PERBANDINGAN ALGORITMA *TABU SEARCH* DAN *SIMULATED ANNEALING* PADA *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM* BERBASIS RUTE JALAN KOTA PONTIANAK

SKRIPSI

Program Studi Sarjana Teknik Industri

Jurusan Teknik Industri

Oleh:

FARHAN ALI GIBRAN

NIM D1061211038

FAKULTAS TEKNIK

UNIVERSITAS TANJUNGPURA

KOTA PONTIANAK

2025

HALAMAN PERNYATAAN

Yang bertanda tangan di bawah ini:
Nama : Farhan Ali Gibran
NIM : D1061211038

Menyatakan bahwa dalam SKRIPSI yang berjudul "Perbandingan Algoritma *Tabu Search* Dan *Simulated Annealing* Pada *Capacitated Vehicle Routing Problem* Berbasis Rute Jalan Kota Pontianak" tidak terdapat karya yang pernah diajukan untuk memperoleh gelar sarjana di suatu perguruan tinggi manapun. Sepanjang pengetahuan saya, tidak terdapat karya atau pendapat yang pernah ditulis atau diterbitkan oleh orang lain, kecuali yang secara tertulis diacu dalam naskah ini dan disebutkan dalam Daftar Rujukan.

Demikian pernyataan ini dibuat dengan sebenar-benarnya. Saya sanggup menerima konsekuensi akademis dan hukum di kemudian hari apabila pernyataan yang dibuat ini tidak benar.

Pontianak, 30 Juli 2025

Farhan Ali Gibran
NIM. D1061211038

KEMENTERIAN PENDIDIKAN TINGGI, SAINS, DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS TANJUNGPURA
FAKULTAS TEKNIK
Jalan Prof.Dr. H. Hadari Nawawi Pontianak 78124
Telepon (0561) 740186, WA : +628152280907
Email : ft@untan.ac.id Website : http://teknik.untan.ac.id

HALAMAN PENGESAHAN

PERBANDINGAN ALGORITMA *TABU SEARCH* DAN *SIMULATED ANNEALING* PADA *CAPACITATED VEHICLE ROUTING PROBLEM* BERBASIS RUTE JALAN KOTA PONTIANAK

Jurusan Teknik Industri
Program Studi Sarjana Teknik Industri
Oleh:
Farhan Ali Gibran
D1061211038

Telah dipertahankan di depan Penguji Skripsi pada tanggal 30 Juli 2025 dan diterima sebagai salah satu persyaratan untuk memperoleh gelar sarjana teknik.

Susunan Pembimbing dan Penguji Skripsi

Dosen Pembimbing Utama	: Dr. Eng Mohamad Sofitra, S.T., M.T.
	NIP. 197406161999031003
Dosen Pembimbing Kedua	: Famelga Clea Putri, S.T., M.T.
	NIP. 199709042024062001
Dosen Penguji Utama	: Dr. Ir. Yopa Eka Prawatya, S.T., M.Eng., IPM
	NIP. 19850408 201012 009
Dosen Penguji Kedua	: Silvia Uslianti, S.T., M.T.
	NIP. 1972083 1199802 2 001

Pontianak, 30 Juli 2025

Dekan

Dr. Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM
NIP. 196712231992031002

Pembimbing Utama,

Dr. Eng Mohamad Sofitra, S.T., M.T.
NIP. 197406161999031003

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur dan kerendahan hati,
karya ini kupersembahkan kepada:

Allah SWT

Atas segala rahmat, kasih sayang, dan kekuatan yang tak pernah putus mengiringi setiap langkahku.

Ayah dan Ibu tercinta

Untuk cinta, doa, dan dukungan dari ibu ku yang tercinta dan
ayah semoga kamu bangga melihat anak laki-lakimu sekarang yang sudah dewasa, Al-Fatihah untuk mu.

Saudari-saudariku dan keluarga besar

Terimakasih untuk kakak-kakak ku yang selalu jadi pengingat bahwa aku gak sendiri. Terima kasih atas semangat dan dukungan yang membuat semuanya terasa ringan.

Para dosen, pembimbing, dan seluruh staf akademik

Atas ilmu, arahan, dan kesabaran kalian terkhusus dospem sekaligus dosen mata kuliah MTG dan SDT sehingga skripsi ini bisa terbentuk, semoga segala ilmu dan nasehatnya akan selalu senantiasa bermanfaat serta berkah untukku.

Teman-teman PPP

Terimakasih untuk Wisnu, Glen, Ican, Valen, Dipra, Ridho, Bintang dan Dias serta Rere yang rela begadang bareng, skripsian bareng, stres bareng, healing bareng. Kalian bukti bahwa *support system* itu nyata.

"Pendidikan Adalah Perang Terhadap Kedunguan"
-Rocky Gerung-

Semua orang lahir merdeka. Sebagian tidak mempercayainya, sebagian lain berusaha merenggutnya. Jadi berjuanglah untuk mempertahankannya! Pertaruhkan segalanya meski untuk secercah kebebasan yang nyata
-Eren Yeager-

PRAKATA

Puji syukur atas kehadirat Allah Swt yang telah melimpahkan karunia beserta rahmat-Nya sehingga skripsi yang berjudul "Perbandingan Algoritma *Tabu Search* Dan *Simulated Annealing* Pada *Capacitated Vehicle Routing Problem* Berbasis Rute Jalan Kota Pontianak" dapat terselesaikan dengan baik. Penyusunan skripsi ini merupakan satu diantara pemenuhan syarat tugas akhir. Hal ini merupakan persyaratan terakhir untuk menyelesaikan pendidikan Jurusan S-1 Teknik Industri, Fakultas Teknik, Universitas Tanjungpura.

Selama proses penyusunan skripsi ini, penulis menyadari bahwa pencapaian ini tidak akan terwujud tanpa bantuan dan dukungan dari berbagai pihak. Oleh karena itu, dengan penuh rasa hormat dan terima kasih, penulis ingin menyampaikan apresiasi yang mendalam kepada:

1. Bapak Dr.-Ing. Ir. Slamet Widodo, M.T., IPM. selaku Dekan Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
2. Bapak Ir. Noveicalistus H. Djanggu, S.T., M.T. selaku Ketua Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
3. Bapak Ir. Dedi Wijayanto, S.T., M.T. selaku Ketua Program Studi Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura.
4. Bapak Dr. Eng. Mohamad Sofitra, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing I yang telah memberikan bimbingan, arahan, saran, dan diskusi intensif selama proses penyusunan skripsi ini. Terima kasih atas kesabaran, ilmu, dan motivasi yang senantiasa diberikan kepada penulis.
5. Ibu Famelga Clea Putri, S.T., M.T. selaku Dosen Pembimbing II yang telah memberikan saya banyak bimbingan, masukan, dan arahan selama proses penyusunan dan pengerjaan skripsi.
6. Bapak Dr. Ir. Yopa Eka Prawatya, S.T., M.Eng., IPM selaku Dosen Pembimbing Akademik (PA) sekaligus Dosen Penguji I yang telah memberikan arahan, serta masukan dalam proses penyusunan dan penyempurnaan skripsi.
7. Ibu Silvia Uslianti, S.T., M.T. selaku Dosen Penguji II yang telah memberikan bimbingan dan masukan dalam perbaikan skripsi.

8. Dosen dan Staf Jurusan Teknik Industri Fakultas Teknik Universitas Tanjungpura yang telah memberikan ilmu, dukungan, serta bantuan kepada penulis selama masa perkuliahan hingga menyelesaikan pendidikan sarjana.
9. Teman-teman Jurusan Teknik Industri angkatan 2021, yang telah berjuang bersama dari awal hingga selesai masa perkuliahan.

Penulis mengharapkan masukan yang positif agar dapat menyempurnakan penelitian ini. Semoga hasil penelitian ini dapat memberikan manfaat dan kontribusi yang berarti bagi penulis dan pembaca, serta dapat menjadi dasar untuk pengembangan penelitian lebih lanjut dalam perkembangan ilmu pengetahuan.

Pontianak, 30 Juli 2025

Farhan Ali Gibran
NIM D1061211038

ABSTRAK

Permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) menjadi krusial dalam dunia logistik *modern*, khususnya dalam konteks distribusi barang secara efisien pada wilayah dengan karakteristik geografis nyata. Penelitian ini membandingkan kinerja dua algoritma metaheuristik, yaitu *Simulated Annealing* (SA) dan *Tabu Search* (TS), dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada peta nyata Kota Pontianak. Penelitian menggunakan pendekatan eksperimen *full factorial design* dengan kombinasi 4^2 yang melibatkan empat faktor yang dilakukan lima replikasi untuk setiap kombinasi. Empat faktor eksperimen yaitu: algoritma, *layout* pelanggan, jumlah pelanggan, dan posisi depot. Data jarak antar titik dihitung menggunakan *OpenRouteService* berbasis peta *OpenStreetMap*. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa TS memiliki hasil yang stabil pada keseluruhan skenario, sedangkan SA hanya unggul pada skenario ketika jumlah pelanggan 20 dan *layout* pelanggan tersebar secara acak (*Spread*). Secara keseluruhan algoritma TS menghasilkan jarak tempuh yang lebih pendek dibandingkan SA dengan *winrate* masing -masing 82.5% dan 17.5%. Uji ANOVA dilakukan untuk menganalisis signifikansi faktor dan interaksinya terhadap performa solusi. Layout dan jumlah pelanggan terbukti memberikan pengaruh signifikan, sementara faktor algoritma dan posisi depot berpengaruh lebih rendah. *Effect Size Analysis* juga dilakukan untuk mengukur kekuatan pengaruh tiap faktor terhadap variabel respon, serta *Power Analysis* untuk mengevaluasi kecukupan desain eksperimen. Visualisasi rute di atas peta digunakan sebagai validasi spasial solusi yang dihasilkan. Penelitian ini memberikan wawasan dalam pemilihan algoritma optimal untuk permasalahan distribusi nyata berbasis peta geografis.

Kata kunci: ANOVA, *Full Factorial Design, Simulated Annealing, Tabu Search, Vehicle Routing Problem*

ABSTRACT

The Capacitated Vehicle Routing Problem (VRP) has become a critical issue in modern logistics, especially in the context of efficient goods distribution across regions with real-world geographical characteristics. This study compares the performance of two metaheuristic algorithms, Simulated Annealing (SA) and Tabu Search (TS), in solving the Capacitated Vehicle Routing Problem (CVRP) using real map data of Pontianak City. A full factorial design experiment was conducted, involving 42 treatment combinations across four experimental factors: algorithm type, customer layout, number of customers, and depot location. Each combination was replicated five times. Distance calculations between points were obtained using OpenRouteService based on OpenStreetMap data. The results show that TS consistently performed well across all scenarios, whereas SA only outperformed TS in cases involving 20 customers and a randomly spread customer layout. Overall, TS achieved shorter route distances than SA, with win rates of 82.5% and 17.5%, respectively. ANOVA was performed to analyze the significance of each factor and their interactions, revealing that customer layout and number of customers had the most significant impact, while algorithm type and depot location had weaker effects. Additional analyses, including Effect Size and Power Analysis, were conducted to assess the strength of each factor's influence and the adequacy of the experimental design. Route visualizations on geographic maps were used for spatial validation of the solutions. This study provides insights into the optimal algorithm selection for real-world distribution problems based on geographic maps.

Keywords: ANOVA, *Full Factorial Design, Simulated Annealing, Tabu Search, Vehicle Routing Problem*

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PERNYATAAN ii
HALAMAN PENGESAHAN iii
HALAMAN PERSEMBAHAN iv
PRAKATA v
ABSTRAK vii
ABSTRACT viii
DAFTAR ISI ix
DAFTAR GAMBAR xii
DAFTAR TABEL xiii
DAFTAR *PSEUDOCODE* xiv
DAFTAR PERSAMAAN xv
DAFTAR LAMPIRAN xvi
GLOSARIUM xvii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Perumusan Masalah 4
1.3 Tujuan Penelitian 4
1.4 Pembatasan Masalah dan Asumsi 5
1.5 Sistematika Penulisan 6
BAB II TINJAUAN PUSTAKA 8
2.1 Manajemen Distribusi dan Transportasi 8
2.2 *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) 9
2.3 *Tabu Search* 10
2.4 *Simulated Annealing* 11

2.5 *Python* 12
2.6 *Full Factorial Design* 13
2.7 Teori *Stochastic* dalam Algoritma Metaheuristik 14
2.8 ANOVA 16
2.9 *Size effect analysis* 18
2.10 *Power analysis* 20
2.11 Penelitian Terdahulu 23
2.12 Posisi Penelitian 26
BAB III METODOLOGI PENELITIAN 29
3.1 Objek Penelitian 29
3.2 Alat dan Bahan yang Digunakan 29
3.3 Diagram Alir Penelitian 30
3.4 Rancangan Penelitian 35
3.2 Variabel Penelitian 35
3.3 Desain Eksperimen 37
3.4 Gambaran Umum Eksperimen 41
3.5 Analisis *Varians* (ANOVA) 44
3.6 *Effect size Analysis* 45
3.7 *Power Analysis* 46
3.8 Prosedur Analisis 47
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 48
4.1 Pengumpulan Data 48
4.2 Asumsi Perancangan Metode Solusi 48
4.2.1. Perancangan dan Pengembangan Solusi 49
4.2.2. Implementasi Algoritma *Tabu Search* 50
4.2.3. Implementasi Algoritma *Simulated Annealing* 51

4.2.4. Verifikasi Metode Solusi 52
4.2.5. Implementasi Data Ke dalam Metode Solusi.....56
4.3 Penyelesaian Masalah Menggunakan Metode Solusi 56
4.3.1. Sebaran Titik Distribusi Pelanggan 56
4.3.2. Hasil Optimasi Algoritma TS dan SA 56
4.4 Analisa Hasil.....61
4.4.1. ANOVA 61
4.4.2. *Effect size Analysis*.....65
4.4.3. *Power Analysis*.....67
BAB V PENUTUP 71
5.1 Kesimpulan 71
5.2 Saran 72
DAFTAR RUJUKAN.....73

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 Sistem Kerja *Tabu Search*.....10
Gambar 2.2 Logo *Python*.....12
Gambar 2.3 Konsep Metaheuristik 15
Gambar 3.1 Diagram Alir Penelitian 30
Gambar 4.1 Visualisasi Algoritma *Tabu Search* 54
Gambar 4.2 Visualisasi Algoritma *Simulated Annealing* 55
Gambar 4.3 Grafik Perbandingan Jarak Algoritma TS dan SA per Skenario.....60
Gambar 4.4 Grafik Presentase Kemenangan Algoritma TS vs SA.....60
Gambar 4.5 Grafik Jumlah Sampel Minimum.....70

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terdahulu 24
Tabel 2.2 Posisi Penelitian 27
Tabel 3.1 Faktor dan Level 38
Tabel 3.2 Hipotesis Utama 38
Tabel 3.3 Interaksi Antar Faktor 39
Tabel 3.4 Rancangan Eksperimen 42
Tabel 4.1 Data Verifikasi 53
Tabel 4.2 Hasil Verifikasi Solusi 54
Tabel 4.3 Hasil Optimasi Algoritma 56
Tabel 4.4 Jumlah Sampel Minimum (*Approximation*) 69

DAFTAR *PSEUDOCODE*

Pseudocode 4.1 Inisiasi Solusi Awal 50
Pseudocode 4.2 Algoritma *Tabu Search*.....51
Pseudocode 4.3 Algoritma *Simulated Annealing*.....52
Pseudocode 4.4 Evaluasi Rute 53

DAFTAR PERSAMAAN

Persamaan 2.1 CVRP 10
Persamaan 2.2 Algoritma *Simulated Annealing* 11
Persamaan 2.3 ANOVA 16
Persamaan 2.4 *Size Effect Analysis* 18
Persamaan 2.5 *Power Analysis*.....20

DAFTAR LAMPIRAN

Lampiran A 76
Lampiran B 84
Lampiran C 88
Lampiran D 92
Lampiran E..... 112

GLOSARIUM

Capacitated Vehhicle Routing Problem (CVRP)	:	Varian VRP di mana setiap kendaraan memiliki kapasitas maksimum dan tidak boleh melayani permintaan melebihi batas tersebut.
Simulated Annealing (SA)	:	Algoritma metaheuristik yang terinspirasi dari proses pendinginan logam secara perlahan untuk menemukan solusi mendekati optimal dengan cara mengizinkan solusi buruk di awal dan mengecilkan peluang itu seiring waktu.
Tabu Search (TS)	:	Algoritma pencarian berbasis tetangga (*neighborhood search*) yang menghindari solusi yang telah dikunjungi sebelumnya dengan menyimpan riwayat dalam daftar tabu agar tidak terjebak dalam *local optimum*.
Metaheuristik	:	Strategi algoritmik generik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi kompleks yang tidak dapat diselesaikan secara eksak dalam waktu wajar.
Full Factorial Design	:	Desain eksperimen yang menguji semua kombinasi faktor dan level yang memungkinkan, memungkinkan analisis interaksi antara faktor.
Depot *Edge*	:	Lokasi depot di tepi persebaran pelanggan.
Depot *Center*	:	Lokasi depot di pusat persebaran pelanggan.
OpenRouteService (ORS)	:	Layanan *open-source* berbasis *OpenStreetMap* yang digunakan untuk menghitung jarak atau rute antar koordinat secara akurat.
Layout Cluster	:	Pola penyebaran pelanggan yang mengelompok dalam wilayah ≤ 1.5 km.
Layout Spread	:	Pola distribusi pelanggan yang tersebar dalam wilayah ≥ 5 km.
Python	:	Bahasa pemrograman yang digunakan dalam penelitian ini untuk mengimplementasikan algoritma optimasi dan pemrosesan data.

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Distribusi merupakan elemen fundamental dalam rantai pasok yang berfungsi sebagai jembatan antara produsen dan konsumen. Keberhasilan distribusi tidak hanya bergantung pada ketersediaan produk, tetapi juga pada efisiensi perencanaan rute pengiriman, kapasitas kendaraan, serta biaya operasional yang dikeluarkan. Optimasi distribusi menjadi krusial guna memastikan bahwa barang dapat dikirimkan ke pelanggan secara tepat waktu dengan biaya seminimal mungkin.

Tantangan utama dalam distribusi barang adalah *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP), yang mempertimbangkan batasan kapasitas kendaraan dalam menentukan rute optimal. CVRP merupakan permasalahan kombinatorial yang kompleks dan sering dihadapi oleh perusahaan logistik, *e-commerce*, serta sektor manufaktur yang mengandalkan sistem distribusi multi-kendaraan. Kompleksitas permasalahan ini semakin meningkat ketika diterapkan pada jaringan jalan nyata, yang memiliki berbagai kendala seperti kemacetan, kondisi infrastruktur, dan peraturan lalu lintas. Oleh karena itu, pengembangan metode optimasi yang efektif dan efisien untuk menyelesaikan CVRP dalam skenario dunia nyata menjadi fokus utama dalam penelitian terkini.

Permasalahan VRP menjadi lebih kompleks ketika diterapkan pada peta jalan nyata, di mana jarak *Euclidean* sering kali tidak mencerminkan jarak sebenarnya akibat struktur jalan yang tidak teratur serta hambatan fisik seperti bangunan dan sungai. Penyelesaian masalah ini dapat menggunakan pendekatan *exact, heuristic,* atau *metaheuristic*. Algoritma *exact* seperti *Dynamic Programming* memberikan solusi optimal tetapi kurang efisien untuk skala besar karena waktu komputasi yang tinggi. Sebaliknya, algoritma *heuristic* dan *metaheuristic* seperti *Tabu Search* dan *Simulated Annealing* lebih fleksibel dan mampu menghasilkan solusi mendekati optimal dalam waktu yang lebih singkat [1].

Algoritma *Tabu Search* bekerja dengan menjelajahi ruang solusi secara lebih luas dibandingkan metode *greedy* yang hanya mencari solusi terbaik di sekitar titik saat ini. Salah satu fitur utama dari *Tabu Search* adalah penggunaan daftar tabu, yaitu mekanisme penyimpanan solusi yang telah dikunjungi untuk mencegah

algoritma kembali ke solusi yang sama dalam waktu dekat. Hal ini memungkinkan eksplorasi ruang solusi yang lebih baik serta menghindari jebakan dalam lokal optimum. Selain itu, algoritma ini memiliki mekanisme yang disebut *aspiration criteria*, yang memungkinkan solusi dalam daftar tabu tetap dipilih jika terbukti jauh lebih baik daripada solusi terbaik yang ditemukan sebelumnya. Sementara itu, *Simulated Annealing* menggunakan mekanisme probabilistik untuk menerima solusi yang lebih buruk dalam tahap awal pencarian. Awalnya, algoritma ini bekerja dengan suhu tinggi, yang memungkinkan penerimaan solusi yang kurang optimal agar eksplorasi ruang pencarian lebih luas. Seiring berjalannya iterasi, suhu akan berangsur-angsur menurun, membuat algoritma semakin selektif dalam menerima solusi baru hingga akhirnya konvergen pada solusi terbaik yang ditemukan. Pendekatan ini membuat *Simulated Annealing* lebih fleksibel dalam menghindari perangkap lokal optimum dibandingkan dengan metode pencarian lokal biasa.

Beberapa penelitian terkini telah mengeksplorasi berbagai permasalahan optimasi diantaranya penelitian Nono at al menerapkan *algoritma Sweep* untuk menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) pada PT. ABC di Kubu Raya. Hasilnya menunjukkan bahwa meskipun rute distribusi yang dihasilkan bersifat *feasible* (memenuhi kapasitas kendaraan), namun jarak tempuhnya belum optimal karena pembentukan 25 klaster perjalanan tidak menghasilkan efisiensi maksimum. Hal ini menunjukkan keterbatasan algoritma *Sweep* dalam menyelesaikan kasus VRP kompleks di medan nyata [2].

Penelitian kedua oleh Heryana dan Suhaedi mengeksplorasi penggunaan algoritma *Tabu Search* untuk optimasi rute pengiriman barang. Mereka berhasil meningkatkan efisiensi pengiriman dengan menurunkan total jarak tempuh sebesar 1,71%. Kunci keberhasilan *Tabu Search* dalam studi ini terletak pada penggunaan memori tabu yang mampu menghindari solusi berulang, serta strategi pertukaran simpul (*vertex*) yang cerdas pada tiap iterasi untuk menemukan solusi yang lebih baik secara bertahap [3] .

Penelitian ketiga oleh Qaedi at al mengembangkan sebuah aplikasi berbasis *Simulated Annealing* (SA) untuk membantu pengguna dalam menentukan rute terpendek. Algoritma ini terbukti mampu mengoptimalkan waktu dan jarak

perjalanan, menjadikannya solusi yang potensial dalam konteks pemilihan rute multi-lokasi secara efisien [4].

Penelitian keempat oleh Chou at al mengusulkan penerapan algoritma *Tabu Search* untuk menyelesaikan *Probabilistic Orienteering Problem* (POP). Dalam konteks permasalahan ini, terdapat ketidakpastian terkait kebutuhan kunjungan ke lokasi pelanggan. Hasil penelitian membuktikan bahwa pendekatan *Tabu Search* yang mereka rancang mampu menghasilkan solusi yang efisien dan adaptif terhadap probabilitas kunjungan, menjadikannya alat yang potensial dalam skenario logistik yang penuh ketidakpastian [5] .

Penelitian kelima oleh Venkateswaran at al membahas penerapan algoritma *Simulated Annealing* (SA) di berbagai bidang. Studi ini menekankan fleksibilitas SA sebagai *global search algorithm* yang konsisten dalam menemukan solusi mendekati optimal di berbagai konteks aplikasi, termasuk optimasi industri, rekayasa perangkat lunak, dan penjadwalan. Penelitian ini memperkuat posisi SA sebagai salah satu algoritma metaheuristik yang andal untuk menangani masalah optimasi yang kompleks [6].

Untuk menjamin bahwa evaluasi performa kedua algoritma dilakukan secara sistematis dan objektif, penelitian ini menggunakan pendekatan *Design of Experiment* (DoE) berbasis rancangan faktorial penuh (*full factorial design*). Empat faktor utama digunakan dalam eksperimen, yaitu jenis algoritma *Tabu Search* dan *Simulated Annealing*, jumlah pelanggan yaitu 20 dan 40 pelanggan, dan distribusi level depot yaitu *center* dan *edge*. Setiap kombinasi diuji sebanyak lima kali replikasi, dan setiap 4 faktor memiliki 2 level sehingga total percobaan yang dilakukan adalah $4^2 \times 5 = 80$ eksperimen.

Pengumpulan data dilakukan secara komputasional dengan menggunakan peta jalan nyata di Kota Pontianak yang diekstraksi melalui *OpenStreetMap* (OSM). Titik-titik koordinat depot dan pelanggan ditentukan secara acak berdasarkan dua pola distribusi: *cluster*, depot dan pelanggan berada dalam radius ≤ 1.5 km *Spread* dengan radius $\geq$ 5km. Titik-titik ini kemudian dipetakan ke dalam graf jalan menggunakan *openrouteservice* di *Python* untuk membentuk jaringan jalan yang realistis dan akurat.

Untuk setiap percobaan, algoritma diminta menyelesaikan permasalahan CVRP berdasarkan skenario jumlah pelanggan dan distribusi lokasi yang telah ditentukan. Setiap eksekusi menghasilkan data berupa jarak tempuh total dan waktu komputasi yang dicatat untuk keperluan analisis performa algoritma.

Pendekatan DoE *full factorial design* memungkinkan eksplorasi menyeluruh terhadap pengaruh faktor-faktor utama maupun interaksi antar faktor terhadap hasil optimasi, serta meningkatkan validitas dan replikasi hasil penelitian. Pemilihan Kota Pontianak sebagai objek studi didasarkan pada karakteristik jaringan jalan yang unik, termasuk banyaknya simpang empat, jalur sempit, serta kondisi lalu lintas yang dinamis. Penelitian ini diharapkan mampu memberikan kontribusi dalam pengembangan algoritma optimasi distribusi berbasis peta jalan nyata serta mendukung pengambilan keputusan logistik di lingkungan perkotaan.

1.2 Perumusan Masalah

Permasalahan utama dalam penelitian ini adalah menentukan algoritma yang lebih efektif dalam menyelesaikan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) berbasis rute jalan nyata di Kota Pontianak. Penelitian ini mengkaji efektivitas dua algoritma metaheuristik, yaitu *Tabu Search* dan *Simulated Annealing*, dalam mengoptimalkan rute distribusi kendaraan. Evaluasi dilakukan berdasarkan kombinasi faktor-faktor seperti jenis algoritma, jumlah pelanggan, posisi geografis pelanggan (*layout*), dan posisi depot, dengan mempertimbangkan representasi graf jalan nyata yang diambil dari data *OpenStreetMap*.

1.3 Tujuan Penelitian

Tujuan dari penelitian ini adalah untuk menerapkan dan membandingkan dua algoritma metaheuristik, yaitu *Tabu Search* dan *Simulated Annealing*, dalam menyelesaikan permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) berbasis rute jalan nyata di Kota Pontianak. Penelitian ini bertujuan mengevaluasi performa kedua algoritma dalam berbagai skenario berdasarkan jarak tempuh sebagai ukuran kualitas solusi sehingga dapat memberikan rekomendasi mengenai metode yang optimal dalam menyelesaikan permasalahan optimasi rute distribusi sesuai dengan skenario ekperimen. Selain itu, penelitian ini juga bertujuan untuk

menganalisis pengaruh faktor-faktor eksperimental seperti jumlah pelanggan, posisi depot, dan layout geografis pelanggan terhadap hasil optimasi rute.

1.4 Pembatasan Masalah dan Asumsi

Pembatasan masalah merupakan batasan yang ditetapkan untuk menentukan ruang lingkup penelitian dan menjaga fokus pada aspek-aspek tertentu dari permasalahan yang akan diteliti. Sedangkan asumsi merupakan anggapan yang digunakan sebagai dasar untuk menjalankan penelitian. Pembatasan masalah dalam penelitian ini meliputi:

1. Penelitian ini hanya berfokus pada permasalahan *Capacitated Vehicle Routing Problem* (CVRP) tanpa mempertimbangkan aspek lain seperti jendela waktu (*time windows*) atau skenario permintaan pelanggan secara dinamis.
2. Algoritma *Tabu Search* dan *Simulated Annealing* diimplementasikan menggunakan bahasa pemrograman *Python*.
3. Jumlah pelanggan dibatasi 20 dan 40 untuk mewakili kompleksitas masalah skala kecil dan menengah.
4. Jumlah kendaraan ditetapkan sebanyak 2 unit, dengan kapasitas maksimum masing-masing kendaraan sebesar 150 unit. Permintaan pelanggan dianggap acak namun tetap berada dalam rentang 1–3 unit, tetapi tetap memenuhi batas kapasitas kendaraan.
5. Kombinasi skenario eksperimen mencakup 4 faktor (algoritma, posisi depot, *layout* pelanggan, jumlah pelanggan) yang divariasikan secara faktorial penuh (*full factorial*), dengan 5 replikasi untuk tiap kombinasi.
6. Rute kendaraan dihitung berdasarkan jarak nyata antar titik di kota Pontianak menggunakan data graf jalan dari *OpenStreetMap*.
7. Waktu tempuh tidak dipertimbangkan secara eksplisit, sehingga performa solusi hanya diukur berdasarkan total jarak tempuh rute, bukan durasi atau kecepatan distribusi.
8. *Layout Cluster* dibatasi dengan jarak $\leq$ 1,5 km dari depot dan *Layout Spread* dibatasi dengan jarak $\geq$ 5 km.
9. Semua pelanggan harus dilayani dan hanya dikunjungi satu kali oleh salah satu kendaraan (tidak ada *split delivery*).

Asumsi dalam penelitian ini meliputi:

1. Tidak mempertimbangkan faktor eksternal seperti kemacetan lalu lintas, cuaca, atau kondisi jalan yang dapat mempengaruhi performa distribusi.
2. Kapasitas kendaraan dianggap tetap dan permintaan pelanggan acak dalam Rentang 1–3 unit.
3. Distribusi dilakukan dalam satu hari operasional (*single-day routing*), sehingga aspek perencanaan waktu dan penginapan pengemudi tidak diperhitungkan.
4. Biaya operasional sebanding dengan jarak tempuh, sehingga semakin pendek rute total, semakin baik solusi (asumsi *linier* terhadap efisiensi).

1.5 Sistematika Penulisan

Sistematika penulisan merupakan urutan maupun metode yang berfungsi untuk memberikan gambaran umum tentang penelitian yang akan dilaksanakan sebagai berikut.

BAB I PENDAHULUAN

Bab ini berisikan tentang latar belakang maupun perumusan masalah yang membelakangi penulis melakukan penelitian, selain itu terdapat tujuan dan sasaran penelitian, pembatasan masalah dan asumsi, serta sistematika penulisan yang menjadi acuan dalam penelitian.

BAB II TINJAUAN PUSTAKA

Bab ini menjelaskan secara sistematis metode yang digunakan dalam penelitian, mulai dari identifikasi objek penelitian, pengumpulan dan pengolahan data, rancangan eksperimen, implementasi algoritma, dan alat bantu pemrograman yang digunakan serta diagram alir penelitian.

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

Bab ini berisikan tentang tahapan sistematis penelitian yang akan dilakukan. Adapun bab ini berisi mengenai objek penelitian, teknik penelitian, diagram alir penelitian, dan jadwal penelitian berlangsung.

BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil eksperimen dan analisis terhadap kinerja algoritma berdasarkan skenario yang telah ditentukan. Pembahasan dilakukan secara kuantitatif dan komparatif untuk menunjukkan efektivitas algoritma dalam

menyelesaikan CVRP. Visualisasi rute dan interpretasi hasil analisis statistik ANOVA, *Size Effect Analysis* dan *Power Analysis* juga dijabarkan pada bagian ini.

BAB V PENUTUP

Bab ini memuat simpulan dari hasil penelitian yang telah dilakukan serta saran yang dapat diberikan untuk pengembangan penelitian selanjutnya. Simpulan mencerminkan capaian dari tujuan penelitian, sedangkan saran diarahkan untuk perbaikan atau perluasan studi ke depan.