

**PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* MENGGUNAKAN
ALGORITMA GENETIKA DAN ALGORITMA *CHEAPEST INSERTION*
HEURISTIC UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PADA
PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM DALAM KEMASAN**

(Skripsi)

Oleh

RANI AGUSTINA SIREGAR



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

ABSTRACT

SOLVING THE TRAVELING SALESMAN PROBLEM USING A GENETIC ALGORITHM AND THE CHEAPEST INSERTION HEURISTIC ALGORITHM TO DETERMINE THE SHORTEST ROUTE ON DISTRIBUTION OF PACKAGED WATER

By

RANI AGUSTINA SIREGAR

The Traveling Salesman Problem (TSP) is a problem which describes how sales have to visit all locations, where each location is only visited once, and must start and return to the first location. The goal of TSP is to determine the distribution route with the minimum total distance. In this research, the case is a distribution of packaged water. To solve the problem, use the Genetic Algorithm (GA) and the Cheapest Insertion Heuristic (CIH) Algorithm manually while using Python then compare which algorithm gives the shortest route. The results obtained the CIH Algorithm is better than GA both manually or using Python.

Keywords : TSP, shortest route, Genetic Algorithm, Cheapest Insertion Heuristic Algorithm, Python.

ABSTRAK

PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA DAN ALGORITMA *CHEAPEST INSERTION HEURISTIC* UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PADA PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM DALAM KEMASAN

Oleh

RANI AGUSTINA SIREGAR

Traveling Salesman Problem (TSP) merupakan sebuah permasalahan yang mendeskripsikan seorang *sales* harus mengunjungi semua lokasi dimana tiap lokasi hanya dikunjungi sekali, harus mulai dan kembali ke lokasi asal. Tujuan TSP adalah menentukan rute pendistribusian dengan jarak total yang paling minimum. Dalam penelitian ini, kasus yang digunakan adalah pendistribusian air minum dalam kemasan. Untuk menyelesaikan permasalahan tersebut, digunakan Algoritma Genetika (AG) dan Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) secara manual dengan menggunakan aplikasi pemrograman Python. Kemudian dibandingkan algoritma mana yang akan memberikan solusi rute terpendek. Diperoleh hasil Algoritma CIH lebih baik dari pada AG secara manual maupun menggunakan aplikasi pemrograman Python.

Kata Kunci : TSP, rute terpendek, Algoritma Genetika, Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic*, Python.

**PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN PROBLEM* MENGGUNAKAN
ALGORITMA GENETIKA DAN ALGORITMA *CHEAPEST INSERTION*
HEURISTIC UNTUK MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PADA
PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM DALAM KEMASAN**

Oleh

RANI AGUSTINA SIREGAR

Skripsi

**Sebagai Salah Satu Syarat untuk Memperoleh Gelar
SARJANA MATEMATIKA**

Pada

**Jurusan Matematika
Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**



**FAKULTAS MATEMATIKA DAN ILMU PENGETAHUAN ALAM
UNIVERSITAS LAMPUNG
BANDAR LAMPUNG
2024**

Judul Skripsi

: **PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN*
PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA
GENETIKA DAN ALGORITMA *CHEAPEST*
INSERTION HEURISTIC UNTUK
MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PADA
PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM DALAM
KEMASAN**

Nama Mahasiswa

: **Rani Agustina Siregar**

Nomor Pokok Mahasiswa

: **2017031055**

Jurusan

: **Matematika**

Fakultas

: **Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam**

MENYETUJUI

1. **Komisi Pembimbing**

Dr. Notiragayu, S.Si., M.Si.
NIP. 19731109 200012 2 001

Dr. Agus Sutrisno, S.Si., M.Si.
NIP. 19700831 199903 1 002

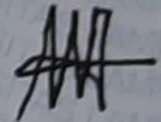
2. **Ketua Jurusan Matematika**

Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si.
NIP. 19740316 200501 1001

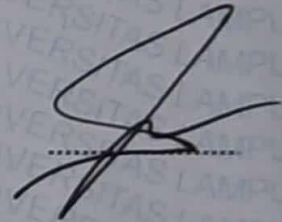
MENGESAHKAN

1. Tim Penguji

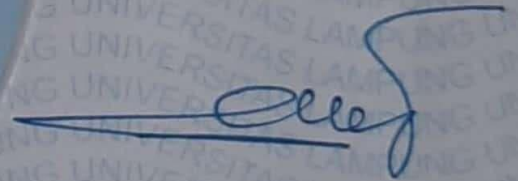
Ketua : **Dr. Notiragayu, S.Si., M.Si.**



Sekretaris : **Dr. Agus Sutrisno, S.Si., M.Si.**



Penguji
Bukan Pembimbing : **Prof. Dr. La Zakaria, S.Si., M.Sc.**

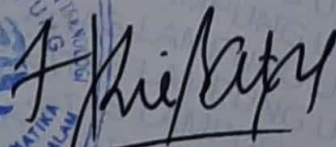


2. Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung



Dr. Eng. Heri Satria, S.Si., M.Si.

NIP. 19711001 200501 1 002



Tanggal Lulus Ujian Skripsi : **19 Juni 2024**

PERNYATAAN SKRIPSI MAHASISWA

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama Mahasiswa : **Rani Agustina Siregar**
Nomor Pokok Mahasiswa : **2017031055**
Jurusan : **Matematika**
Judul Skripsi : **PENYELESAIAN *TRAVELING SALESMAN*
PROBLEM MENGGUNAKAN ALGORITMA
GENETIKA DAN ALGORITMA *CHEAPEST*
INSERTION HEURISTIC UNTUK
MENENTUKAN RUTE TERPENDEK PADA
PENDISTRIBUSIAN AIR MINUM DALAM
KEMASAN**

Dengan ini menyatakan bahwa skripsi ini adalah hasil pekerjaan saya sendiri. Apabila dikemudian hari terbukti bahwa skripsi ini merupakan hasil salinan atau dibuat oleh orang lain, maka saya bersedia menerima sanksi sesuai dengan ketentuan akademik yang berlaku.

Bandar Lampung, 19 Juni 2024
Penulis,



Rani Agustina Siregar

RIWAYAT HIDUP

Penulis bernama Rani Agustina Siregar, dilahirkan di Lampung Tengah pada tanggal 2 Agustus 2002 sebagai anak ketiga dari empat bersaudara dari pasangan Bapak Ali dan Ibu Sartiyah.

Penulis telah menempuh pendidikan formal di Taman Kanak-kanak (TK) Permata Bunda pada tahun 2007-2008, Sekolah Dasar (SD) Negeri 1 Poncowati pada tahun 2008-2014, Sekolah Menengah Pertama (SMP) Negeri 1 Terbanggi Besar pada tahun 2014-2017, dan Sekolah Menengah Atas (SMA) Islam Terpadu Smart Insani pada tahun 2017-2020.

Pada tahun 2020, penulis melanjutkan pendidikan di perguruan tinggi dan terdaftar sebagai mahasiswi S1 Jurusan Matematika Fakultas MIPA Universitas Lampung melalui jalur Seleksi Bersama Masuk Perguruan Tinggi Negeri (SBMPTN). Selama menjadi mahasiswi, penulis aktif berorganisasi di Himpunan Mahasiswa Jurusan Matematika periode 2021-2022, UKM-U English Society Unila periode 2022, dan UKM-U PIK R RAYA Unila periode 2022.

Sebagai bentuk pengabdian mahasiswa dan menjalankan Tri Dharma Perguruan Tinggi, pada tahun 2023 penulis melaksanakan kegiatan Kerja Praktik (KP) di Badan Pendapatan Daerah Provinsi Lampung dan Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Desa Pesawaran, Kecamatan Kedondong, Kabupaten Pesawaran.

KATA INSPIRASI

“Sesungguhnya bersama kesulitan ada kemudahan. Maka, apabila engkau telah selesai (dari suatu urusan), tetaplah bekerja keras.”

(Q.S. Al-Insyirah, 94: 6-7)

“Boleh jadi kamu tidak menyenangi sesuatu, padahal itu baik bagimu, dan boleh jadi kamu menyukai sesuatu, padahal itu tidak baik bagimu. Allah mengetahui, sedangkan kamu tidak.”

(Q.S. Al-Baqarah, 2: 216)

“Keberhasilan bukanlah milik orang yang pintar, keberhasilan adalah kepunyaan mereka yang senantiasa berusaha.”

(B.J. Habibie)

“Where dry desert ends, green grass grows”

PERSEMBAHAN

Dengan mengucap rasa syukur atas segala puji dan kehadiran Allah SWT. yang telah melimpahkan nikmat dan hidayah-Nya sehingga skripsi ini dapat diselesaikan dengan baik. Tak lupa pula shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada junjungan kita Nabi Muhammad SAW. Dengan penuh syukur, penulis persembahkan karya ini kepada:

Keluarga Tercinta

Ibu, kakak, dan adik yang selalu memberikan do'a serta dukungannya dalam setiap proses yang dilalui sejak awal sampai akhir perkuliahan.

Dosen Pembimbing dan Pembahas

Terima kasih atas bimbingan, bantuan, serta arahan yang telah diberikan.

Sahabat-sahabatku

Terima kasih kepada semua sahabatku yang telah mendampingi, memberi semangat, dan membawa energi positif selama proses penyusunan skripsi.

Almamater Tercinta Universitas Lampung

SANWACANA

Puji syukur kehadiran Allah SWT. atas rahmat dan hidayah-Nya, shalawat serta salam selalu tercurahkan kepada baginda besar Nabi Muhammad SAW. sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi dengan judul “Penyelesaian *Traveling Salesman Problem* Menggunakan Algoritma Genetika dan Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* Untuk Menentukan Rute Terpendek pada Pendistribusian Air Minum dalam Kemasan”.

Penulis menyadari bahwa skripsi ini tidak dapat diselesaikan tanpa adanya bantuan, bimbingan serta saran dari berbagai pihak. Oleh karena itu, penulis ingin menyampaikan terima kasih kepada:

1. Ibu Dr. Notiragayu, S.Si, M.Si. selaku dosen pembimbing utama yang selalu bersedia memberikan bimbingan, arahan, bantuan, dan saran yang mendukung sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
2. Bapak Dr. Agus Sutrisno, S.Si., M.Si. selaku dosen pembimbing kedua atas saran dan masukan kepada penulis sehingga penulis dapat menyelesaikan skripsi ini.
3. Bapak Prof. Dr. La Zakaria, S.Si., M.Sc. selaku dosen pembahas dan dosen pembimbing akademik yang telah bersedia memberikan kritik, saran, dan evaluasi yang membangun kepada penulis selama proses penyusunan skripsi.
4. Bapak Dr. Aang Nuryaman, S.Si., M.Si. selaku Ketua Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
5. Bapak Mulyono, S.Si., M.Si., Ph.D. selaku Dekan Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
6. Seluruh dosen, staff, dan karyawan Jurusan Matematika Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam Universitas Lampung.
7. Ibu, kakak, dan adik yang selalu memberikan doa dan dukungan kepada penulis.

8. Sahabat penulis, Meta yang memberikan dukungan, motivasi, serta selalu bersedia mendengar keluh kesah penulis.
9. Teman seperjuangan selama kuliah, Anggita, Arinda, Arlinda, Demi, dan Micelle yang memberikan dukungan, semangat, dan motivasi selama proses penyusunan skripsi ini.
10. Callista, Yazid, Salsa, Lia, Margel, Erwin, Ridho, Rara, Eri, Najia, Falen, dan Arvi yang telah menemani penulis menjalani dunia perkuliahan hingga menjadi lebih menyenangkan.
11. Seluruh pihak terkait yang telah banyak membantu dalam proses penyelesaian skripsi ini.

Penulis menyadari bahwa dalam penyusunan skripsi ini masih terdapat banyak kekurangan. Oleh karena itu, penulis mengharapkan kritik dan saran yang membangun untuk menjadikan skripsi ini lebih baik lagi.

Bandar Lampung, 19 Juni 2024

Penulis,

Rani Agustina Siregar

DAFTAR ISI

DAFTAR GAMBAR	xv
DAFTAR TABEL	xvii
I. PENDAHULUAN	1
1.1 Latar Belakang Masalah	1
1.2 Tujuan Penelitian	3
1.3 Manfaat Penelitian	3
II. TINJAUAN PUSTAKA	4
2.1 Graf	4
2.2 <i>Traveling Salesman Problem</i> (TSP)	5
2.3 Algoritma Genetika	6
2.3.1 Teknik <i>Encoding</i>	6
2.3.2 Proses Seleksi	6
2.3.3 Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>)	8
2.3.4 Proses Mutasi	8
2.4 Algoritma <i>Cheapest Insertion Heuristic</i> (CIH)	9
2.4.1 Implementasi Algoritma CIH	10
III. METODE PENELITIAN	12
3.1 Waktu dan Tempat Penelitian	12
3.2 Metode Penelitian	12
3.3 <i>Flowchart System</i>	13
IV. HASIL DAN PEMBAHASAN	14
4.1 Data Penelitian TSP	14
4.2 Penyelesaian TSP Menggunakan AG	16
4.2.1 AG Generasi Pertama	16
4.2.1.1 Teknik <i>Encoding</i>	16
4.2.1.2 Proses Seleksi	20

4.2.1.3 Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>).....	29
4.2.1.4 Proses Mutasi.....	36
4.2.2 AG Generasi Kedua.....	38
4.2.2.1 Teknik <i>Encoding</i>	38
4.2.2.2 Proses Seleksi.....	39
4.2.2.3 Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>).....	48
4.2.2.4 Proses Mutasi.....	55
4.2.3 AG Generasi Ketiga.....	57
4.2.3.1 Teknik <i>Encoding</i>	57
4.2.3.2 Proses Seleksi.....	58
4.2.3.3 Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>).....	67
4.2.3.4 Proses Mutasi.....	73
4.3 Penyelesaian TSP Menggunakan AG dalam Bahasa Pemrograman Python.....	75
4.4 Penyelesaian TSP Menggunakan Algoritma CIH.....	78
4.5 Penyelesaian TSP Menggunakan Algoritma CIH dalam Bahasa Pemrograman Python.....	81
V. KESIMPULAN DAN SARAN.....	83
5.1 Kesimpulan.....	83
5.2 Saran.....	84
DAFTAR PUSTAKA.....	85

DAFTAR GAMBAR

Gambar	Halaman
1. Contoh graf G dengan lima titik dan tujuh sisi.....	4
2. Contoh graf berbobot.....	4
3. <i>Flowchart</i> TSP menggunakan AG dan CIH.....	13
4. Sketsa Lokasi pada <i>Google Earth</i>	15
5. Representasi ke dalam bentuk graf.....	16
6. Bilangan Acak Menggunakan <i>Syntax</i> Python.....	17
7. Kromosom Z_1	17
8. Kromosom Z_2	18
9. Kromosom Z_3	19
10. Probabilitas Kumulatif Generasi Pertama dalam <i>Roulette Wheel</i>	25
11. Bilangan Bulat Acak Menggunakan Python.....	36
12. Rute Terpendek Generasi Pertama.....	38
13. Probabilitas Kumulatif Generasi Kedua dalam <i>Roulette Wheel</i>	44
14. Rute Terpendek Generasi Kedua.....	56
15. Probabilitas Kumulatif Generasi Ketiga dalam <i>Roulette Wheel</i>	63
16. Rute Terpendek Generasi Ketiga.....	74
17. Impor <i>Script</i>	75
18. Input Data.....	75
19. Pembangkitan Populasi Awal.....	76
20. Perhitungan Nilai <i>Fitness</i>	76
21. Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>).....	76
22. Proses Mutasi.....	77
23. <i>Syntax</i> Pengujian Data.....	77
24. Rute Terpendek Generasi ke-100.....	78

25. Rute Terpendek Algoritma CIH.....	81
26. <i>Script</i> Algoritma CIH pada Python.....	81
27. Rute Terpendek Algoritma CIH dalam Python.....	82

DAFTAR TABEL

Tabel	Halaman
1. Jarak Antar Kota (km).....	10
2. Arc Penambahan <i>Subtour</i> ke-1 (1,5) – (5,1).....	10
3. Arc Penambahan <i>Subtour</i> ke-2 (1,2) – (2,5) – (5,1).....	10
4. Arc Penambahan <i>Subtour</i> ke-3 (1,2) – (2,4) – (4,5) – (5,1).....	11
5. Data Lokasi Pendistribusian AMDK Toko Ibu Tiwi.....	14
6. Matriks Jarak Antar <i>Node</i> (km).....	15
7. Populasi Awal pada Teknik <i>Encoding</i>	19
8. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Seleksi Generasi Pertama.....	29
9. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>) Generasi Pertama.....	35
10. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Mutasi Generasi Pertama.....	37
11. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Seleksi Generasi Kedua.....	48
12. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>) Generasi Kedua.....	54
13. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Mutasi Generasi Kedua.....	55
14. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Seleksi Generasi Ketiga.....	66
15. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Rekombinasi (<i>Crossover</i>) Generasi Ketiga.....	72
16. Populasi Sebelum dan Sesudah Proses Mutasi Generasi Ketiga.....	73
17. Proses Penyisipan ke-1.....	78
18. Proses Penyisipan ke-2.....	79

I. PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang Masalah

Air merupakan salah satu penunjang kehidupan manusia yang berperan penting bagi kehidupan manusia. Menurut Peraturan Menteri Kesehatan RI No. 416/MENKES/PER/IV/2010, Air minum adalah air yang melalui proses pengolahan atau tanpa proses pengolahan yang memenuhi syarat kesehatan dan dapat langsung dikonsumsi.

Air minum dalam kemasan (AMDK) merupakan air minum yang dipasarkan dengan berbagai variasi yaitu kemasan cup, botol, dan galon (Widyarto dkk., 2019). Kebutuhan AMDK tentunya cenderung meningkat. Berdasarkan data Badan Pusat Statistik (BPS) konsumsi air kemasan dalam satu dekade terakhir meningkat secara signifikan. Pada tahun 2009 sekitar 13% penduduk Indonesia mengkonsumsi air kemasan dan pada tahun 2018 mencapai lebih dari 36%. Kemudian, menurut penelitian (Ikhsan, dkk., 2022) pada tahun 2026 mendatang, terdapat sebanyak 50% penduduk Indonesia akan mengkonsumsi air kemasan. Peningkatan ini berhubungan dengan persentase penduduk yang juga mengalami peningkatan. Karena adanya peningkatan kebutuhan AMDK di kalangan masyarakat, tentu diperlukan agen-agen yang dapat mendistribusikan AMDK supaya mempermudah masyarakat dalam melakukan transaksinya. Namun, dalam proses pendistribusian suatu produk belum tentu berjalan dengan lancar, hal ini dapat menyebabkan terhambatnya transaksi dengan konsumen. Sehingga sangat perlu diperhatikan pendistribusian AMDK tersebut.

Pada dasarnya, distribusi merupakan kegiatan penyampaian produk dari tangan produsen ke tangan konsumen atau pelanggan dalam kondisi baik, tepat waktu serta sesuai dengan keinginan pembeli (Rachman dan Yuningsih, 2010). Pada proses pendistribusian, perusahaan tentu harus tepat mengatur strategi dalam mendistribusikan produknya supaya konsumen puas dengan pelayanan yang diberikan. Salah satu proses yang perlu diperhatikan adalah rute yang digunakan dalam proses distribusi. Rute pendistribusian menjadi salah satu masalah yang banyak ditemui oleh distributor. Jika rute yang dipilih belum efisien, maka jarak yang ditempuh oleh distributor tentu bukanlah jarak yang optimal, hal ini dapat mengakibatkan terjadinya keterlambatan pendistribusian barang kepada konsumen. Oleh karena itu, rute yang belum efisien ini menjadi masalah yang memerlukan solusi supaya distribusi yang dilakukan dapat berjalan dengan baik.

Penentuan rute pendistribusian oleh distributor merupakan permasalahan *Traveling Salesman Problem* (TSP) dimana seorang *sales* harus mengunjungi semua kota dimana tiap kota hanya dikunjungi sekali, harus mulai dan kembali ke kota asal. Tujuannya adalah menentukan rute pendistribusian dengan jarak total yang paling minimum (Yumalia, 2017).

Permasalahan TSP dapat diselesaikan dengan Algoritma Genetika (AG) dan Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH). AG memiliki kelebihan yaitu waktu komputasi yang dibutuhkan cenderung stabil dan memberikan jarak terpendek walaupun dengan jumlah tempat yang banyak (Tohari dan Astuti, 2023). Begitu pula dengan algoritma CIH, kelebihan algoritma *CIH* adalah algoritma ini masih stabil digunakan untuk jumlah tempat yang dikunjungi relatif banyak (Hignasari, 2019).

Telah dilakukan penelitian TSP dengan menggunakan AG seperti (Hasibuan dan Lusian, 2015) meneliti tentang pencarian rute terbaik pada TSP menggunakan AG pada dinas kebersihan dan pertamanan kota Pekanbaru, (Zahro dan Wahyuni, 2020) dengan penelitian mengenai optimasi rute pengantaran paket menggunakan metode AG. Telah dilakukan pula penelitian TSP dengan Algoritma CIH seperti (Hilman

dan Sidik, 2022) yang meneliti penentuan rute distribusi menggunakan metode CIH guna meminimalkan pengeluaran biaya pada UMKM Aren Creativity di Kabupaten Ciamis, serta penelitian oleh (Ananda, dkk., 2023) mengenai penentuan lintasan terpendek perjalanan jasa pengiriman barang menggunakan algoritma CIH (studi kasus PT. Indah Logistik Cargo Bandar Lampung).

Berdasarkan uraian di atas, akan dilakukan penelitian mengenai TSP terhadap pendistribusian AMDK dari Toko Ibu Tiwi ke warung-warung yang ada disekitar Yukum Jaya, Kabupaten Lampung Tengah dengan metode AG dan Algoritma CIH.

1.2 Tujuan Penelitian

Berdasarkan latar belakang di atas, diperoleh tujuan penelitian sebagai berikut:

1. Memperoleh solusi TSP pada pendistribusian AMDK dari Toko Ibu Tiwi ke warung-warung di Yukum Jaya, Kabupaten Lampung Tengah menggunakan AG dan Algoritma CIH.
2. Membandingkan hasil yang diperoleh menggunakan AG dan Algoritma CIH.

1.3 Manfaat Penelitian

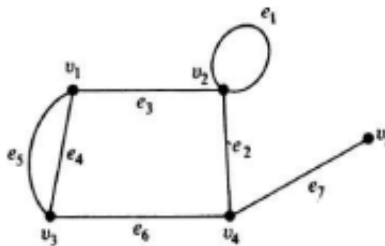
Adapun manfaat dari penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Menerapkan AG dan Algoritma CIH untuk memperoleh solusi dari masalah TSP.
2. Mempermudah Toko Ibu Tiwi untuk menemukan solusi pendistribusian AMDK ke warung-warung dengan memperoleh rute terpendeknya.

II. TINJAUAN PUSTAKA

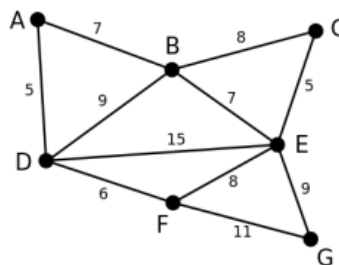
2.1 Graf

Sebuah graf linier (atau secara sederhana disebut graf) $G = (V, E)$ merupakan suatu sistem yang terdiri dari suatu himpunan objek $V = \{v_1, v_2, \dots\}$ yang disebut himpunan titik dan sebuah koleksi $E = \{e_1, e_2, \dots\}$ yang merupakan koleksi sisi sedemikian sehingga tiap sisi ek dikaitkan dengan suatu pasangan tak-terurut (v_i, v_j) (Buhaerah, dkk., 2022).



Gambar 1. Contoh graf G dengan lima titik dan tujuh sisi

Graf berbobot adalah graf yang setiap sisinya diberi sebuah bobot. Bobot pada tiap sisi dapat menyatakan jarak antara dua buah kota, waktu tempuh antara dua buah kota, biaya perjalanan yang kita tempuh dan sebagainya.



Gambar 2. Contoh graf berbobot

Jalan (*walk*) adalah barisan berhingga dari titik dan garis, diawali dan diakhiri dengan titik sehingga setiap garis menempel dengan titik sebelum dan sesudahnya. Tidak ada sisi yang muncul lebih dari satu kali. Namun, titik diperbolehkan muncul lebih dari satu kali. Berdasarkan Gambar 1., contoh *walk* pada graf G adalah $v_3 - e_5 - v_1 - e_3 - v_2 - e_1 - v_2 - e_2 - v_4 - e_7 - v_5$. Lintasan (*path*) adalah suatu jalan dimana tidak ada titik yang dilewati lebih dari satu kali dan jika titik awal dan akhir sama, maka lintasan tersebut disebut lintasan tertutup. Contoh *path* pada Gambar 1. adalah $v_3 - e_4 - v_1 - e_3 - v_2 - e_2 - v_4 - e_7 - v_5$, sedangkan contoh lintasan tertutup adalah $v_3 - e_4 - v_1 - e_3 - v_2 - e_2 - v_4 - e_6 - v_3$ (Deo, 2016).

2.2 Traveling Salesman Problem (TSP)

Traveling Salesman Problem (TSP) merupakan masalah optimasi kombinatorial. Dengan tujuannya adalah bagaimana menemukan rute perjalanan paling pendek dari suatu kota dan mengunjungi semua kota lainnya, dimana masing-masing kota dikunjungi tepat satu kali, dan harus kembali ke kota asal tersebut (Permanasari dan Salim, 2006).

TSP awalnya berkembang sebagai bagian masalah logistik dan transportasi. Logistik dan *Supply Chain* memiliki arti sebagai suatu sistem untuk mengelola orang, sumber daya, teknologi, aktivitas, dan sebagainya yang digunakan untuk mengantar barang dan jasa dari titik supplier ke titik tujuan. Penggunaan TSP dalam sektor logistik sangat penting bagi perusahaan pengiriman barang dan jasa, perusahaan travel, dan biro perjalanan, distribusi dan pemasaran bahan baku atau bahan jadi suatu perusahaan. Dari definisi tersebut dapat disimpulkan bahwa konsep TSP memiliki aturan sebagai berikut (Tohari dan Astuti, 2023):

1. Harus mengunjungi setiap kantor satu kali tidak boleh kurang atau lebih,
2. Semua kantor harus dikunjungi dalam satu kali perjalanan,
3. Dimulai dan diakhiri pada kantor yang sama.

2.3 Algoritma Genetika (AG)

Algoritma Genetika (AG) dikembangkan pada tahun 1975 di Universitas Michigan oleh Jhon Holland. AG diartikan sebagai algoritma yang menggunakan proses seleksi alam atau bisa juga disebut proses evolusi sesuai dengan yang diutarakan oleh Charles Darwin. Individu yang ada akan melakukan perubahan gen secara terus-menerus hingga sesuai dengan lingkungannya (Mubarok dan Chotijah, 2021).

Menurut (Lukas, dkk., 2005), proses AG terdapat beberapa langkah, yaitu pengkodean (*encoding*), seleksi (*selection*), persilangan (*crossover*), dan mutasi (*mutation*).

2.3.1 Teknik *Encoding*

Proses *encoding* adalah salah satu proses yang sulit dalam AG. Hal ini disebabkan karena proses *encoding* untuk setiap permasalahan berbeda-beda karena tidak semua teknik *encoding* cocok untuk setiap permasalahan. Proses *encoding* menghasilkan *string* yang kemudian disebut kromosom. *String* terdiri dari sekumpulan bit. Bit ini dikenal sebagai gen. Sehingga, satu kromosom terdiri dari sejumlah gen (Lukas, dkk., 2005).

Pada TSP, kromosom mewakili urutan kota yang dikunjungi *salesman*. Jadi, apabila satu kromosom berbentuk sebagai berikut $P1 = (X_1, X_2, X_3, \dots, X_n)$ berarti *salesman* bergerak dari kota X_1 ke X_2 dan seterusnya hingga ke kota ke X_n (Lukas, dkk., 2005).

2.3.2 Proses Seleksi

Proses seleksi merupakan proses penting dalam AG. Proses seleksi digunakan supaya hanya kromosom-kromosom yang berkualitas yang dapat melanjutkan peranannya dalam proses AG berikutnya. Terdapat bermacam-macam teknik seleksi,

diantaranya adalah *Roulette Wheel Selection*, *Rank Base Selection*, dan *Steady State Selection* (Lukas, dkk., 2005).

Proses seleksi yang digunakan adalah *Roulette Wheel Selection* karena proses seleksi menggunakan probabilitas nilai *fitness* sehingga nilai *fitness* yang besar memiliki kesempatan untuk terpilih lebih besar dibandingkan dengan nilai *fitness* yang memiliki nilai lebih kecil. Caranya adalah membangkitkan bilangan acak R dari 0 sampai 1 sebanyak jumlah populasi kromosom (Setiawan, dkk., 2019).

AG biasanya digunakan untuk masalah maksimasi. Untuk masalah maksimasi, fungsi *fitness* adalah sama dengan fungsi objektifnya. Tetapi, untuk masalah minimasi, fungsi *fitness* didefinisikan sebagai

$$F(x) = \frac{1}{f(x)}$$

dimana $f(x)$ adalah fungsi objektif. Karena TSP termasuk masalah minimasi, maka digunakan fungsi *fitness* tersebut dimana $f(x)$ merupakan jarak dari rute yang direpresentasikan oleh sebuah kromosom (Ahmed, 2010).

Menurut (Sarwadi dan KSW, 2004), tahap perhitungan *fitness* adalah sebagai berikut:

1. Mencari jarak tempuh tiap kromosom (mZ_i), $\forall i = 1, 2, 3, \dots$
2. Mencari nilai *fitness* tiap kromosom (f_i)

$$f_i = \frac{1}{mZ_i}, \forall i = 1, 2, 3, \dots$$

3. Mencari total *fitness*

$$\left(\sum_{i=1}^n f_i \right)$$

4. Mencari probabilitas masing-masing kromosom (p_i)

$$p_i = \frac{f_i}{\sum_{i=1}^n f_i}, \forall i = 1, 2, 3, \dots$$

5. Mencari probabilitas kumulatif tiap kromosom (q_i)

$$q_i = \sum_{k=1}^i p_k, \forall i = 1, 2, 3, \dots$$

Selanjutnya, pemilihan rute yang menghasilkan populasi berikutnya dilakukan dengan cara mengambil N buah bilangan random r dengan $0 < r < 1$ dan membandingkan bilangan *random* tersebut dengan probabilitas kumulatif *fitness* tiap rute.

2.3.3 Proses Rekombinasi (*Crossover*)

Proses rekombinasi atau yang dikenal dengan nama *crossover* adalah proses menyilangkan dua kromosom sehingga membentuk kromosom baru yang harapannya lebih baik dari induknya. Tidak semua kromosom pada suatu populasi akan mengalami proses rekombinasi. Kemungkinan suatu kromosom mengalami proses rekombinasi didasarkan pada probabilitas *crossover* yang telah ditentukan terlebih dahulu. (Lukas, dkk., 2005).

Pada proses *crossover*, kromosom yang akan melakukan *crossover* dipilih secara acak. Jika *crossover* tidak dilakukan, maka nilai dari induk akan diturunkan pada keturunannya. (Ayuningrum & Saptaningtyas, 2017).

2.3.4 Proses Mutasi

Mutasi adalah operator pendukung dalam AG yang berperan mengubah struktur kromosom secara spontan. Perubahan spontan ini menyebabkan terbentuknya suatu kromosom baru yang secara genetik berbeda dari kromosom sebelumnya. Operator mutasi bekerja pada satu kromosom, tidak pada sepasang kromosom seperti halnya yang dilakukan operator penyilangan (Arkeman, dkk., 2012).

2.4 Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH)

Algoritma *Cheapest Insertion Heuristic* (CIH) adalah algoritma yang membentuk suatu *tour* dengan membuat rute jalur terpendek dengan bobot minimal dan secara berturut-turut ditambah dengan tempat baru. Pemilihan titik baru tersebut dilakukan bersamaan dengan pemilihan sisi sehingga didapatkan nilai penyisipan minimum. Selanjutnya tempat baru tersebut disisipkan di antara dua tempat yang membentuk sisi yang telah terpilih. Algoritma ini seringkali memberikan solusi yang cukup baik karena untuk proses seleksi tempat yang akan disisipkan dilakukan pada setiap tempat di luar *tour* dan setiap sisi di dalam *tour* (Saleh, dkk., 2015).

Berikut merupakan langkah yang harus dilakukan jika menggunakan algoritma CIH (Hilman dan Sidik, 2022):

1. Penelusuran dimulai dari sebuah lokasi yang dianggap pertama dihubungkan dengan sebuah lokasi yang dianggap terakhir.
2. Bangun *subtour* antara 2 lokasi tersebut. Yang dimaksud *subtour* adalah perjalanan dari lokasi pertama dan berakhir di lokasi pertama.
3. Ganti salah satu arah hubungan busur dari dua lokasi dengan kombinasi dua busur, yaitu busur (i, j) dengan busur (i, k) dan busur (k, j) , i merupakan titik busur awal, j merupakan titik busur yang yang dituju dan k merupakan titik busur yang belum masuk *subtour*, dan dengan nilai sisipan terkecil. Penentuan nilai sisipan dengan cara: $C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}$, dengan
 C_{ik} adalah jarak dari lokasi i ke lokasi k
 C_{kj} adalah jarak dari lokasi k ke lokasi j
 C_{ij} adalah jarak dari lokasi i ke lokasi j
4. Ulangi langkah 3 sampai seluruh kota masuk dalam *subtour*.

2.4.1 Implementasi Algoritma CIH

Tabel 1. Jarak Antar Kota (km)

Kota	1	2	3	4	5
1	0	2.3	4.8	4.9	6.2
2	2.3	0	2.5	2.5	3.9
3	4.8	2.5	0	4.5	6.5
4	4.9	2.5	4.5	0	2.4
5	6.2	3.9	6.5	2.4	0

Tabel 2. Arc Penambahan *Subtour* ke-1 (1,5) – (5,1)

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan ke <i>subtour</i>	Tambahan Jarak $C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}$
(1,5)	(1,2) – (2,5)	$C_{12} + C_{25} - C_{15} = 0$
	(1,3) – (3,5)	$C_{13} + C_{35} - C_{15} = 5.1$
	(1,4) – (4,5)	$C_{14} + C_{45} - C_{15} = 1.1$
(5,1)	(5,2) – (2,1)	$C_{52} + C_{21} - C_{51} = 0$
	(5,3) – (3,1)	$C_{53} + C_{31} - C_{51} = 5.1$
	(5,4) – (4,1)	$C_{54} + C_{41} - C_{51} = 1.1$

Dari tabel tersebut terdapat dua *subtour* yang memiliki jarak terpendek. Karena jaraknya sama oleh sebab itu dapat dipilih salah satu dari keduanya. Jadi dipilih untuk arc (1,5) diganti dengan arc (1,2) dan arc (2,5) atau arc (5,1) diganti dengan arc (5,2) dan arc (2,1). Dari penggantian *subtour* tersebut maka diperoleh *subtour* yang baru adalah (1,2) – (2,5) – (5,1).

Tabel 3. Arc Penambahan *Subtour* ke-2 (1,2) – (2,5) – (5,1)

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan ke <i>subtour</i>	Tambahan Jarak $C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}$
(1,2)	(1,3) – (3,2)	$C_{13} + C_{32} - C_{12} = 5$
	(1,4) – (4,2)	$C_{14} + C_{42} - C_{12} = 5.1$
(2,5)	(2,3) – (3,5)	$C_{23} + C_{35} - C_{25} = 5.1$

	(2,4) – (4,5)	$C_{24} + C_{45} - C_{25} = 1$
(5,1)	(5,3) – (3,1)	$C_{53} + C_{31} - C_{51} = 5.1$
	(5,4) – (4,1)	$C_{54} + C_{41} - C_{51} = 1.1$

Tabel 4. Arc Penambahan *Subtour* ke-3 (1,2) – (2,4) – (4,5) – (5,1)

Arc yang akan diganti	Arc yang akan ditambahkan ke <i>subtour</i>	Tambahan Jarak $C_{ik} + C_{kj} - C_{ij}$
(1,2)	(1,3) – (3,2)	$C_{13} + C_{32} - C_{12} = 5$
(2,4)	(2,3) – (3,4)	$C_{23} + C_{34} - C_{24} = 4.5$
(4,5)	(4,3) – (3,5)	$C_{43} + C_{35} - C_{45} = 8.6$
(5,1)	(5,3) – (3,1)	$C_{53} + C_{31} - C_{51} = 5.1$

Berdasarkan Tabel 2, 3, dan 4, lintasan yang terbentuk adalah (1,2) – (2,3) – (3,4) – (4,5) – (5,1). Ini adalah akhir perhitungan dikarenakan semua titik telah dilewati tepat satu kali dan kembali ke titik awal. Sehingga, diperoleh rute terpendeknya adalah 1 – 2 – 3 – 4 – 5 – 1 dengan jarak tempuh 17.9 km.

III. METODE PENELITIAN

3.1 Waktu dan Tempat Penelitian

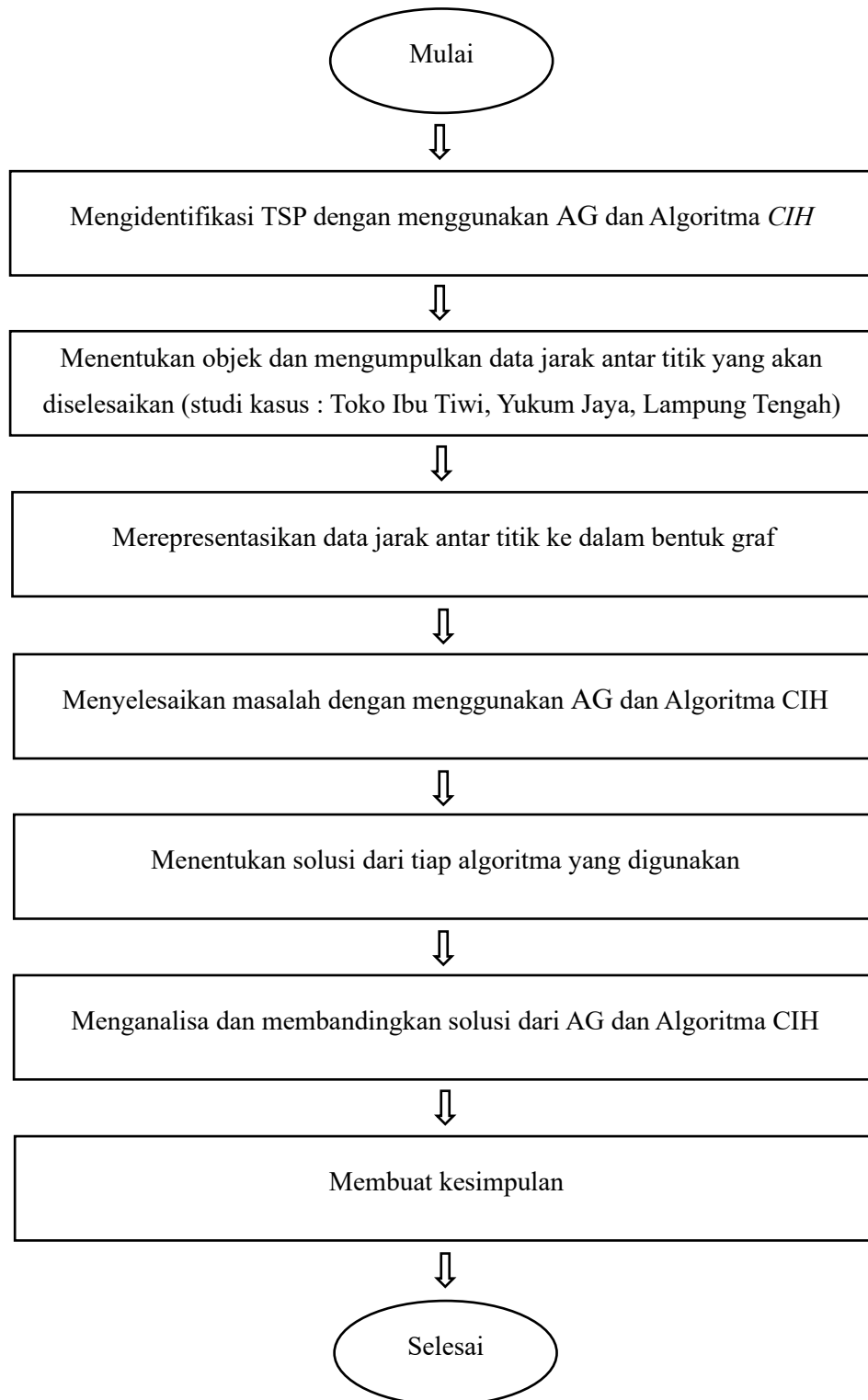
Pelaksanaan kegiatan penelitian ini dilakukan pada semester ganjil 2023/2024 di Jurusan Matematika, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Lampung.

3.2 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode pengumpulan data dengan melakukan wawancara bersama narasumber serta didukung oleh studi literatur yang diperoleh. Wawancara yang dilakukan bersama narasumber bertujuan untuk mendapatkan data terkait pendistribusian AMDK Toko Ibu Tiwi ke warung-warung di Yukum Jaya.

Tahapan dalam penelitian ini adalah identifikasi masalah, perumusan masalah, penyelesaian masalah, dan penarikan kesimpulan. Identifikasi masalah dilakukan untuk mendapat gambaran mengenai permasalahan yang akan diselesaikan. Data pada penelitian ini diperoleh dengan bantuan *Google Maps* yang kemudian direpresentasikan ke dalam bentuk graf dengan menghubungkan satu warung ke warung lainnya. Penyelesaian masalah dilakukan dengan menggunakan AG dan Algoritma CIH.

3.3 Flowchart System



Gambar 3. Flowchart TSP menggunakan AG dan CIH

V. KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Berdasarkan hasil dan pembahasan dari penelitian ini, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Solusi TSP pada pendistribusian AMDK dari Toko Ibu Tiwi ke warung-warung di Yukum Jaya, Lampung Tengah menggunakan AG secara tradisional (tanpa alat komputasi) dan menggunakan alat komputasi (Python) memiliki solusi yang berbeda. Perbedaan ini disebabkan karena AG dipengaruhi oleh bilangan acak yang dibangkitkan selama proses berlangsung. Pada perhitungan tradisional diperoleh rute terpendek dengan total jarak yang ditempuh adalah 35,71 km dan dengan pemrograman Python diperoleh rute terpendek dengan total jarak yang ditempuh adalah 31,79 km. Sedangkan, penyelesaian TSP menggunakan Algoritma CIH diperoleh rute perjalanan yang berbeda antara perhitungan tradisional dan bahasa pemrograman Python. Namun, Algoritma CIH pada perhitungan tradisional maupun dalam bahasa pemrograman Python tersebut memiliki total jarak tempuh yang sama, yaitu 19,35 km.
2. Rute terpendek yang diperoleh menggunakan AG dalam bahasa pemrograman Python terdapat pada generasi ke-100 dengan rute $16 \rightarrow 5 \rightarrow 4 \rightarrow 10 \rightarrow 6 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 9 \rightarrow 11 \rightarrow 1 \rightarrow 15 \rightarrow 12 \rightarrow 14 \rightarrow 17 \rightarrow 13 \rightarrow 3 \rightarrow 18 \rightarrow 2 \rightarrow 16$. Sedangkan rute terpendek yang diperoleh menggunakan Algoritma CIH dalam bahasa pemrograman Python adalah $1 \rightarrow 10 \rightarrow 9 \rightarrow 8 \rightarrow 7 \rightarrow 6 \rightarrow 11 \rightarrow 18 \rightarrow 14 \rightarrow 12 \rightarrow 13 \rightarrow 15 \rightarrow 16 \rightarrow 17 \rightarrow 5 \rightarrow 2 \rightarrow 3 \rightarrow 4 \rightarrow 1$. Sehingga, jika dibandingkan antara AG dan Algoritma CIH, maka Algoritma CIH merupakan algoritma yang lebih efektif dalam penelitian ini.

5.2 Saran

Dalam penelitian ini yang dipertimbangkan hanya variabel jarak, sehingga diharapkan penelitian berikutnya mempertimbangkan variabel lain seperti biaya yang dikeluarkan agar solusi yang diperoleh tidak hanya optimal pada jarak yang ditempuh tetapi juga memiliki biaya yang murah.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, Z.H. (2010). Genetic Algorithm for the Traveling Salesman Problem using Sequential Constructive Crossover Operator. *International Journal of Biometrics & Bioinformatics*. **3**(6): 96-105.
- Ananda, A.S., Notiragayu, Wamiliana, Ansori M. (2023). *Penentuan Lintasan Terpendek Perjalanan Pengiriman Barang Menggunakan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (Studi Kasus PT. Indah Logistik Cargo Bandar Lampung)*. *Jurnal EurekaMatika*. **11**(2): 111-120.
- Arkeman, Y., Seminar, K.B., Gunawan, H. (2012). *Algoritma Genetika; Teori dan Aplikasinya untuk Bisnis dan Industri*. Bogor. PT Penerbit IPB Press.
- Ayuningrum, L.A., Saptaningtyas, F.Y. (2017). *Implementasi Algoritma Genetika Dengan Variasi Crossover dalam Penyelesaian Capacitated Vehicle Routing Problem with Time Windows (CVRPTW) pada Pendistribusian Air Mineral*. *Jurnal Matematika*. **6**(3): 62-72.
- Buhaerah, Busrah, Z., Sanjaya, H. (2022). *Teori Graf dan Aplikasinya*. Makassar. Living Spiritual Quotient (LSQ) Makassar.
- Deo, N. (2016). *Graph Theory with Applications to Engineering & Computer Science*. New York. Dover Publications.

- Hasibuan, M.D.A.C., Lusiana. (2015). *Pencarian Rute Terbaik pada Travelling Salesman Problem (TSP) Menggunakan Algoritma Genetika pada Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru. Sains dan Teknologi Informasi. 1(1): 35-46.*
- Hignasari, L.V. (2019). *Komparasi Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (CIH) dan Greedy dalam Optimasi Rute Pendistribusian Barang. Jurnal Ilmiah Vastuwidya. 2(2): 31-39.*
- Hilman, M., Sidik, Y.Y. (2022). *Penentuan Rute Distribusi Menggunakan Metode Cheapest Insertion Heuristic (CIH) Guna Meminimalkan Pengeluaran Biaya pada UKM Aren Creativity di Kabupaten Ciamis. Jurnal industrial Galuh. 4(2): 51-61.*
- Ikhsan, A.N., Thohira, M.C., Daniel, D. (2022). *Ananlisis Penggunaan Air Minum dalam Kemasan di Indonesia dalam Beberapa Dekade Terakhir: Tren, Faktor Penentu Sosial Ekonomi, dan Aspek Keamanan. Jurnal World Water Council. 24(8): 1287-1305.*
- Lukas, S., Anwar, T., Yuliani, W. (2005). *Penerapan Algoritma Genetika untuk Traveling Salesman Problem dengan Menggunakan Metode Order Crossover dan Insertion Mutation. Seminar Nasional Aplikasi Teknologi Informasi 2005. ISBN: 979-756-061-6.*
- Mubarok, A.Y., Chotijah, U. (2021). *Penerapan Algoritma Genetika untuk Mencari Optimasi Kombinasi Jalur Terpendek dalam Kasus Travelling Salesman Problem. Jurnal Teknologi Terpadu. 7(2): 77-82.*
- Permanasari, Y., Salim, R.A. (2006). *Representasi Jalur (Path) pada Travelling Salesman Problem untuk Menentukan Jarak Terpendek Menggunakan Algoritma Genetika. Jurnal Matematika. 6(1): 55-62.*

- Rachman, G.G., Yuningsih, K. (2010). *Pengaruh Biaya Distribusi dan Saluran Distribusi Terhadap Volume Penjualan (Studi pada Sari Intan Manunggal Knitting Bandung)*. *Jurnal Riset Akuntansi dan Bisnis*. **10**(2): 151-175.
- Saleh, K., Helmi, Prihandono, B. (2015). *Penentuan Rute Terpendek dengan Menggunakan Algoritma Cheapest Insertion Heuristic (Studi Kasus: PT. Wicaksana Overseas International Tbk. Cabang Pontianak)*. *Jurnal UNTAN*. **4**(3): 295-304.
- Sarwadi, KSW, A. (2004). *Algoritma Genetika untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing Problem*. *Jurnal Matematika dan Komputer*. **7**(2): 1-10.
- Setiawan, J.Y., Herwindiati, D.E., Sutrisno, T. (2019). *Algoritma Genetika dengan Roulette Wheel Selection dan Arithmetic Crossover untuk Pengelompokan*. *Jurnal Ilmu Komputer dan Sistem Informasi*. **7**(1): 58-64.
- Silagen, M.G., Tilaar, S., Sembel, A. (2020). *Pemetaan Masalah Penyediaan Air Minum di Perkotaan Tobelo Kabupaten Halmahera*. *Jurnal Spasial*. **7**(1): 70-81.
- Tohari, A., Astuti, Y.P. (2023). *Penerapan Algoritma Genetika dalam Menentukan Rute Terpendek PT. Pos Cabang Lamongan*. *Jurnal Ilmiah Matematika*. **11**(3): 458-467.
- Widyarto, W.O., Firdaus, A., Kusumawati, A. (2019). *Analisis Pengendalian Kualitas Air Minum dalam Kemasan Menggunakan Metode Six Sigma*. *Jurnal INTECH Teknik Industri Universitas Serang Raya*. **5**(1): 17-22.
- Yumalia, A. (2017). *Minimasi Biaya Distribusi dengan Menggunakan Metode Traveling Salesman Problem (TSP)*. *Seminar Nasional Sains dan Teknologi*. e-ISSN : 2460-8416.

Zahro, H.Z., Wahyuni, F.S. (2020). *Optimasi Rute Pengantaran Paket Menggunakan Metode Genetic Algorithm (GA)*. *Jurnal Teknik Industri ITN Malang*. **10**(1): 41-44.