

ALGORITMA GENETIKA UNTUK PENYELESAIAN *TRAVELLING SALESMAN PROBLEM* PADA RUTE PENDISTRIBUSIAN BARANG SICEPAT EKSPRES

Elesa Jessy Br Surbakti*

Universitas Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20155

Aghni Syahmarani

Universitas Sumatera Utara, Medan, Sumatera Utara, Indonesia, 20155

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan algoritma genetika dalam menyelesaikan masalah *Travelling Salesman Problem* (TSP) pada rute pendistribusian barang di SiCepat Ekspres, khususnya di Kota Medan. Dengan membatasi wilayah penelitian pada Kota Medan dan melibatkan 7 gudang cabang sebagai titik tujuan, algoritma genetika berhasil menemukan rute terpendek sebesar 72,6 km. Dalam penelitian ini, proses mutasi dibatasi hanya pada gen-gen urutan ke-3 hingga ke-7 untuk mengurangi kemungkinan merusak solusi yang sudah baik, sehingga menjaga kualitas solusi sambil tetap memberikan peluang untuk perbaikan lebih lanjut. Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma genetika mampu memberikan solusi rute terpendek yang efisien, sehingga dapat membantu meningkatkan efisiensi pendistribusian barang di SiCepat Ekspres.

Kata Kunci: Algoritma genetika, SiCepat Ekspres, *Travelling salesman problem*.

Abstract. This study aims to examine the application of genetic algorithms in solving the *Traveling Salesman Problem* (TSP) on the distribution route of goods at SiCepat Ekspres, especially in Medan City. Limiting the research area to Medan City and involving 7 branch warehouses as destination points, the genetic algorithm found the shortest route of 72.6 km. In this study, the mutation process is limited to genes of the 3rd to 7th order to reduce the possibility of damaging an already good solution, thus maintaining the quality of the solution while still providing opportunities for further improvement. The results show that the genetic algorithm can provide an efficient shortest route solution, so that it can help improve the efficiency of goods distribution at SiCepat Ekspres.

Keywords: Genetic algorithm, SiCepat Express, *Travelling salesman problem*

Sitasi: br Surbakti, E.J., Syahmarani, A. 2024. Algoritma Genetik Untuk Penyelesaian *Travelling Salesman Problem* Pada Rute Pendistribusian Barang SiCepat Ekspres. *MES (Journal of Mathematics Education and Science)*, 10(1): 159-165.

Submit: 27 Juni 2024	Revise: 27 Juli 2024	Accepted: 27 Agustus 2024	Publish: 31 Oktober 2024
--------------------------------	--------------------------------	-------------------------------------	------------------------------------

PENDAHULUAN

Travelling Salesman Problem (TSP) adalah salah satu permasalahan yang terkenal dalam teori graf dan kombinatorik yang pertama kali diperkenalkan pada tahun 1800-an oleh matematikawan Irlandia Sir William Rowan Hamilton dan matematikawan Inggris Thomas Penyngton Kirkman. TSP bertujuan untuk menentukan urutan rute atau jalur terpendek yang harus dilalui oleh seorang salesman dengan melewati setiap lokasi yang dituju tepat satu kali dan kembali lagi ke posisi semula (Wibawa, 2022).

Salah satu metode yang efektif untuk menyelesaikan TSP adalah Algoritma Genetika. Algoritma ini merupakan algoritma pencarian berdasarkan mekanisme seleksi alam dan proses evolusi, pertama kali dikembangkan oleh John Holland pada tahun 1975 (Setemen, 2010). Dalam konteks distribusi logistik, TSP memiliki aplikasi penting, khususnya dalam optimasi

*Corresponding Author: elesajessy30@gmail.com

rute pengiriman barang. Salah satu studi kasus yang relevan adalah pada perusahaan logistik SiCepat Ekspres di Kota Medan. Perusahaan ini menghadapi tantangan dalam menentukan rute distribusi yang optimal dari gudang pusat ke 7 gudang cabang di kota tersebut.

Penerapan algoritma genetika dalam menyelesaikan TSP telah banyak dibahas dalam berbagai penelitian. Misalnya, penelitian oleh Ahmad Tohari dan Yuliani Puji Astuti (2023) yang mengkaji penerapan algoritma genetika untuk menentukan rute terpendek pada PT. Pos Indonesia Cabang Lamongan. Dalam penelitian ini, mereka berhasil mengoptimalkan rute pengiriman barang dengan total jarak tempuh sebesar 158 km dan biaya sebesar Rp. 158.000 untuk satu kali perjalanan (Tohari & Astuti, 2023). Penelitian lain oleh Candrawati dan Kadyanan (2017) mengoptimasi rute paket wisata di Bali menggunakan algoritma genetika. Penelitian ini berhasil mengurangi total jarak tempuh dan waktu perjalanan, sehingga meningkatkan efisiensi dalam pengelolaan paket wisata (Candrawati & Kadyanan, 2017). Selain itu, Nugroho Wahyu Trianto dan rekan-rekan (2008) juga melakukan penelitian yang menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat diterapkan untuk mencari jalur alternatif yang optimal. Penelitian ini menekankan pentingnya parameter seperti ukuran populasi, peluang crossover, dan mutasi dalam mempengaruhi hasil akhir dari algoritma genetika (Nugroho et al., 2008).

Penelitian ini bertujuan untuk mengkaji penerapan Algoritma Genetika dalam menyelesaikan TSP untuk rute distribusi barang SiCepat Ekspres, dengan harapan dapat menemukan solusi rute terpendek yang efektif dan efisien.

METODE

Penelitian ini menggunakan algoritma genetika, yang merupakan metode pencarian berbasis teori evolusi dalam matematika. Algoritma genetika dikembangkan oleh John Holland pada tahun 1975 dan berakar dari teori seleksi alam Charles Darwin. Algoritma ini menggunakan mekanisme seperti seleksi, crossover, dan mutasi yang semuanya merupakan konsep dasar dalam teori evolusi dan kombinatorik. Menurut Haupt (2004), struktur dasar Algoritma Genetika terdiri dari langkah-langkah sebagai berikut (Zukhri, 2014).

1. Inisialisasi populasi; Pada algoritma genetika, penentuan populasi awal dibangkitkan dengan metode acak (random).
2. Evaluasi populasi; Algoritma genetika bekerja dengan mengukur seberapa baik sebuah kromosom dapat dijadikan penyelesaian suatu masalah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan fungsi *fitness*, yaitu fungsi tujuan dari masalah yang hendak diselesaikan. Semakin besar nilai *fitness*, semakin bugur pula kromosom dalam populasi sehingga semakin besar kemungkinan kromosom tersebut untuk tetap bertahan pada generasi berikutnya
3. Seleksi populasi; Seleksi adalah proses dalam Algoritma Genetika yang digunakan untuk memilih kromosom yang akan bertahan dalam populasi. Kromosom-kromosom yang dipilih mempunyai kemungkinan untuk dipasangkan dengan kromosom lainnya untuk mengalami proses penyilangan sebanding dengan probabilitas penyilangan yang menghasilkan kromosom anak.
4. Proses penyilangan (*crossover*); Penyilangan (*Crossover*) adalah proses di mana kromosom turunan dibentuk dengan menggabungkan elemen-elemen dari kromosom induk yang telah dipilih. Langkah ini bertujuan untuk menciptakan kromosom baru yang memiliki solusi yang lebih optimal.
5. Proses mutasi kromosom; Mutasi adalah salah satu operator dalam algoritma genetika yang bertujuan untuk mengubah gen-gen spesifik pada sebuah kromosom. Probabilitas mutasi pada setiap gen biasanya sangat kecil, meniru kejadian mutasi genetik dalam kehidupan nyata.

6. Evaluasi populasi baru
7. Ulangi kembali dari langkah 3 hingga syarat berhenti sudah dipenuhi.

Dalam konteks *Travelling Salesman Problem* (TSP), algoritma genetika diterapkan untuk mencari solusi optimal dalam ruang pencarian yang sangat besar, yang sejalan dengan prinsip teori kombinatorik dan teori probabilitas. Kombinasi berbagai solusi memungkinkan peneliti untuk menemukan rute terpendek secara lebih efisien dibandingkan dengan metode brute-force yang membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama. Karakteristik dari permasalahan *Travelling Salesman Problem* (TSP) adalah sebagai berikut:

1. Perjalanan dimulai dan diakhiri pada satu titik yang sama
2. Semua titik harus dikunjungi tepat sekali
3. Perjalanan tidak dapat kembali ke titik semula sebelum setiap titik terlewati (Wibawa, 2022).

Langkah-langkah penyelesaian *Travelling Salesman Problem* (TSP) dengan menggunakan algoritma genetika pada penelitian ini antara lain:

1. Mendefinisikan Gen yang merupakan representasi dari 8 gudang SiCepat Ekspres di kota Medan.
2. Menentukan parameter algoritma yang meliputi ukuran populasi sebanyak 50 individu, probabilitas crossover sebesar 0,9, probabilitas mutasi sebesar 0,1 dan maksimum generasi sebesar 100 iterasi.
3. Membentuk Populasi awal dan menentukan nilai fitness pada setiap kromosom yang terbentuk. Seleksi akan dilakukan pada setiap kromosom tersebut.
4. Melakukan *crossover* dan mutasi pada kromosom terpilih untuk menghasilkan kromosom baru.
5. Mengevaluasi nilai fitness pada kromosom baru dan melakukan seleksi elitisme untuk memilih kromosom yang layak untuk dimasukkan pada populasi baru.
6. Mengulangi langkah 3 dan 4 hingga mencapai generasi yang telah ditentukan.
7. Mengambil kromosom dengan nilai fitness terbaik yang merupakan solusi dari permasalahan *travelling salesman problem* tersebut.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Berikut asumsi *Travelling Salesman Problem* dalam permasalahan pendistribusian barang SiCepat Ekspres di Kota Medan.

1. Tiap gudang cabang hanya boleh dikunjungi tepat satu kali, dan setiap gudang akan diasumsikan sebagai sebuah titik.
2. Agen pendistribusian barang harus kembali ke gudang pusat (tempat semula) setelah mendistribusikan barang ke setiap gudang cabang yang ada.
3. Jarak antar titik gudang yang diambil merupakan jarak yang paling dekat, dimana jarak antar titik tersebut akan diasumsikan sebagai sisi.
4. Banyaknya titik gudang cabang yang akan dikunjungi adalah 7 titik.

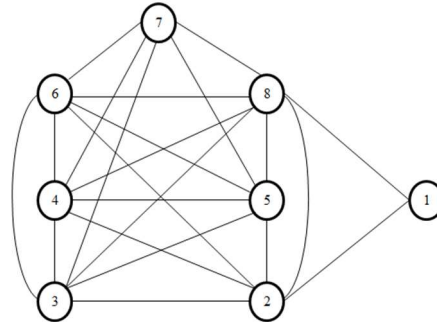
Untuk mempermudah dalam proses perhitungan, berikut disajikan data 8 gudang SiCepat Ekspres yang diberi simbol titik.

Tabel 1. Data 8 Gudang SiCepat Ekspres

Titik	Nama Gudang
1	SiCepat Ekspres Medan (Sortation)
2	SiCepat Ekspres Medan Amplas
3	SiCepat Ekspres Medan Tuntungan
4	SiCepat Ekspres Medan Selayang
5	SiCepat Ekspres Medan Kota Matsum III
6	SiCepat Ekspres Medan Helvetia

Titik	Nama Gudang
7	SiCepat Ekspres Medan Labuhan
8	SiCepat Ekspres Medan Tembung

Peta yang menyajikan 8 lokasi gudang tersebut akan dimodelkan ke dalam graf, dimana setiap gudang cabang beserta gudang pusat digambarkan sebagai titik (vertex) dan ruas jalan sebagai sisi (edge) graf yang mewakili panjang ruas jalan antara dua gudang. Berikut graf yang merepresentasikan lokasi 8 gudang SiCepat Ekspres.



Gambar 1. Graf gudang SiCepat Ekspres

Untuk jarak dari masing-masing titik diatas tertera pada Tabel berikut.

Tabel 2. Jarak antar gudang (Km)

	1	2	3	4	5	6	7	8
1	0	4,6	100	100	100	100	100	14
2	5,9	0	9,1	12	5,8	17	100	11
3	100	9,8	0	4,9	10	9,5	23	15
4	100	13	4,9	0	8,9	5,1	20	14
5	100	6,5	9,6	8,6	0	11	16	5,9
6	100	16	10	5,6	9,8	0	15	11
7	100	100	22	20	16	16	0	17
8	12	11	14	13	6,2	12	16	0

Jarak antara titik yang sama selalu nol. Syarat dalam penyelesaian *Travelling Salesman Problem* yaitu setiap titik harus dikunjungi tepat sekali, maka apabila terdapat jalur terdekat antara 2 titik yang harus melewati titik lainnya, maka jalur tersebut dianggap tidak ada. Untuk kepentingan komputasi dengan Matlab, jalur tersebut akan diganti dengan bilangan yang besar yakni 100.

Berikut tahapan untuk menyelesaikan *Travelling Salesman Problem* (TSP) pada rute pendistribusian barang SiCepat Ekspres dengan menggunakan Algoritma Genetika.

Inisialisasi Populasi

Algoritma genetika diawali dengan sebuah himpunan populasi awal (*initial population*). Pada algoritma genetika, penentuan populasi awal dibangkitkan dengan metode acak (random). Populasi terdiri dari beberapa individu, disebut kromosom yang merepresentasikan suatu solusi atas permasalahan (Sitanggung, 2015). Kromosom sendiri berisi urutan dari beberapa gen. Dalam kasus ini, gen merupakan representasi dari 8 gudang SiCepat Ekspres, baik itu gudang pusat yang merupakan titik awal dan juga 7 gudang cabang lainnya. Representasi gen dari 8 gudang tersebut adalah sebagai berikut.

- Gen 1 = SiCepat Ekspres Medan (Sortation)
- Gen 2 = SiCepat Ekspres Medan Amplas
- Gen 3 = SiCepat Ekspres Medan Tuntungan
- Gen 4 = SiCepat Ekspres Medan Selayang
- Gen 5 = SiCepat Ekspres Medan Kota Matsum III

Gen 6 = SiCepat Ekspres Medan Helvetia

Gen 7 = SiCepat Ekspres Medan Labuhan

Gen 8 = SiCepat Ekspres Medan Tembung

Pembentukan populasi awal terdiri dari pengacakan 8 gen tersebut. Karena titik awal perjalanan dimulai dengan gen 1, maka pengacakan akan dilakukan pada gen 2 hingga gen 8 untuk menghasilkan sebuah kromosom, dengan populasi awal terdiri dari 50 individu.

Evaluasi Populasi

Algoritma genetika bekerja dengan mengukur seberapa baik sebuah kromosom dapat menyelesaikan suatu masalah. Pengukuran dilakukan dengan menggunakan fungsi *fitness*, yaitu fungsi tujuan dari masalah yang hendak diselesaikan (Ulinuha, 2007). Pada kasus ini, nilai *fitness* merupakan invers dari total jarak yang diperoleh dari urutan rute pada populasi awal.

Seleksi

Seleksi bertujuan untuk memilih kromosom yang akan mengalami proses penyilangan. Metode seleksi yang digunakan adalah seleksi turnamen (*tournament selection*). Pada metode ini, turnamen akan diikuti oleh 3 kromosom yang dipilih secara acak. Dari 3 kromosom tersebut, kromosom terpilih adalah kromosom yang memiliki nilai *fitness* terbesar. Berikut satu contoh tahapan seleksi turnamen yang dilakukan.

1. Mengambil 3 kromosom secara acak, diperoleh:
Kromosom 43: 1 8 7 2 5 3 6 4, Fitness: 0.0038
Kromosom 9: 1 4 2 3 7 5 6 8, Fitness: 0.0051
Kromosom 30: 1 7 4 5 8 3 6 2, Fitness: 0.0055
2. Mengambil kromosom dengan nilai *fitness* terbesar yang akan mengalami proses crossover, yaitu: Kromosom 30: 1 7 4 5 8 3 6 2, Fitness: 0.0055

Penyilangan (Crossover)

Proses penyilangan dimulai dengan membangkitkan bilangan acak pada masing-masing pasangan kromosom hasil seleksi secara terurut. Pasangan kromosom yang memperoleh bilangan acak lebih kecil dari probabilitas *crossover* lah yang akan dikenai operator penyilangan. Metode penyilangan yang digunakan adalah penyilangan berbasis posisi. dengan probabilitas crossover sebesar 0,9. Berikut contoh penyilangan berbasis posisi dalam algoritma genetika.

1. Ambil dua kromosom induk sebagai berikut:
kromosom 1: [1 2 3 4 5]
kromosom 2: [5 4 3 2 1]
2. Pilih secara acak beberapa posisi dari induk pertama yang akan dipertahankan di anak. Misalkan kita memilih posisi 2 dan 4
3. Pindahkan Gen pada Posisi yang Dipilih ke Anak, kemudian buat anak dengan gen yang terpilih dari Induk 1 pada posisi yang sama, begitupun sebaliknya. Sehingga diperoleh kromosom keturunan sebagai berikut
Anak 1: [1 4 3 2 1]
Anak 2: [5 2 3 4 1]

Mutasi

Proses mutasi dimulai dengan membangkitkan bilangan acak pada masing-masing gen dalam suatu kromosom. Gen-gen yang memperoleh bilangan acak lebih kecil dari probabilitas mutasi lah yang terpilih untuk dikenai operator mutasi. Metode mutasi yang digunakan adalah mutasi perpindahan (*displacement mutation*), dimana gen-gen terpilih akan dipindahkan secara acak ke posisi lainnya. Dalam penelitian ini, proses mutasi dibatasi hanya dapat terjadi pada gen-gen pada urutan ke 3 sampai 7. Hal ini dapat mengurangi kemungkinan merusak sebagian besar solusi yang sudah baik. Ini membantu menjaga kualitas solusi sementara tetap

memberikan kesempatan untuk menemukan perbaikan. Adapun probabilitas mutasi yang digunakan yaitu sebesar 0,1.

Berikut kode pemrograman pada software Matlab yang menjalankan perintah untuk melakukan mutasi pada suatu kromosom dengan membatasi proses mutasi terjadi pada gen-gen pada urutan ke 3 sampai 7 saja.

```
prob_mutasi = 0.1;
function anak_termutasi = mutasi(anak, prob_mutasi)
    if rand() < prob_mutasi
        rentang_diizinkan = 3:7;
        jumlah_gen = length(anak);
        titik_mutasi = sort(rentang_diizinkan(randperm(length(rentang_diizinkan), 2)));
        segmen = anak(titik_mutasi(1):titik_mutasi(2));
        anak(titik_mutasi(1):titik_mutasi(2)) = [];
        if isempty(anak)
            posisi_sisip = 1;
        else
            posisi_sisip = randi([2, length(anak)]);
        end
        if posisi_sisip > length(anak)
            anak = [anak, segmen];
        else
            anak = [anak(1:posisi_sisip-1), segmen, anak(posisi_sisip:end)];
        end
    end
    anak_termutasi = anak;
end
```

Pembentukan Populasi Baru

Populasi baru merupakan kumpulan kromosom yang terdiri dari kromosom elit yang dipertahankan dari populasi sebelumnya dan kromosom-kromosom hasil mutasi yang memiliki nilai *fitness* terbesar. Populasi baru akan berjumlah sama dengan populasi awal.

Hasil Algoritma Genetika

Populasi baru yang terbentuk dalam satu kali tahapan / iterasi dalam Algoritma Genetika akan kembali melakukan proses seleksi, *crossover*, serta mutasi. Iterasi akan berhenti ketika mencapai jumlah maksimum generasi yang ditentukan. Dari 100 iterasi yang dilakukan dengan menggunakan Software Matlab, diperoleh urutan rute terbaik yakni 1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 5 - 8 - 1, dengan total jarak yang ditempuh sejauh 72,6 km.

Hasil Perhitungan Manual

Dalam Persoalan *Travelling Salesman Problem* (TSP), apabila diberikan sejumlah titik (tempat) tujuan, banyaknya kombinasi dari setiap rute perjalanan yang ada merupakan faktorial dari jumlah titik tujuan. Ruang pencarian untuk *Travelling Salesman Problem* (TSP) ialah kumpulan dari permutasi-permutasi n titik tujuan, dimana ukuran dari ruang pencarian sebanyak n! (Permanasari & Salim, 2006). Dalam penelitian ini, terdapat 7 lokasi tujuan pendistribusian barang, sehingga terdapat 7! yakni 5040 kombinasi rute perjalanan. Dari 5040 kombinasi rute perjalanan yang ada (dapat dilihat pada lampiran 3) urutan rute terbaik adalah 1 - 2 - 3 - 4 - 6 - 7 - 5 - 8 - 1 yang memperoleh jarak tempuh sebesar 72,6 km.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengolahan data dan analisis yang telah dilakukan, penelitian ini membuktikan bahwa penerapan algoritma genetika efektif dalam menyelesaikan masalah Travelling Salesman Problem (TSP) untuk rute pendistribusian barang di SiCepat Ekspres, khususnya di Kota Medan. Jarak terpendek yang dihasilkan dengan algoritma genetika memiliki nilai yang sama dengan hasil perhitungan secara manual, yakni sebesar 72,6 km. Keberhasilan algoritma ini terutama didukung oleh strategi mutasi yang diterapkan, di mana proses mutasi dibatasi hanya pada gen-gen urutan ke-3 hingga ke-7. Pembatasan ini penting karena dapat mengurangi risiko merusak solusi yang sudah baik, sehingga menjaga kualitas solusi yang ada sambil tetap memberikan peluang untuk perbaikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Arkeman, Y., Seminar, K. B., & Gunawan, H. (2012). *Algoritma Genetika Teori dan Aplikasinya Untuk Bisnis dan Industri*. PT Penerbit IPB Press.
- Candrawati, L. G. A., & Kadyanan, I. G. A. G. A. (2017). Optimasi Traveling Salesman Problem (TSP) Untuk Rute Paket Wisata Di Bali dengan Algoritma Genetika. *Jurnal Ilmiah Komputer*, 10(1), 27–32.
- Indrianingsih, Y. (2010). Algoritma Genetik untuk Menyelesaikan Masalah Optimasi Fungsi Berkendala dengan Pengkodean Bilangan Bulat. *Agkasa*, 2(1), 67–76.
- Irawan, M. I. (2004). Studi Komparatif antara Jaringan Syaraf Tiruan Boltzman Machine dan Algoritma Genetika untuk Optimasi Traveling Salesman Problem. *Limits: Journal of Mathematics and Its Applications*, 1(1), 21–29.
- Karels, Effrains, R., Jusmawati, & Nurdin. (2019). Penerapan Algoritma Genetika Pada Penentuan Lintasan Terpendek Jalur Bus Rapid Transit Makassar. *Jurnal Matematika, Statistika Dan Komputasi*, 16(2), 114–120. <https://doi.org/10.20956/jmsk.v16i2.7016>
- Mahasin, M. A., & Waryanto, N. H. (2018). Penerapan Algoritma Genetika Menggunakan Metode Tournament Selection Untuk Menyelesaikan Cvrp Pada Optimasi Rute Distribusi Lks Cv. Larassukma. *Jurnal Kajian Dan Terapan Matematika*, 7, 1–11.
- Nugroho, W. T., Purwadi, J., & Haryono, N. A. (2008). Algoritma Genetika Dalam Program Pencarian Jalur Alternatif. *Jurnal Informatika*, vol 4, 61–68.
- Permanasari, Y., & Salim, R. A. (2006). Representasi Jalur (Path) pada Traveling Salesman Problem Untuk Menentukan Jarak Terpendek Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Matematika*, 6(1), 55–62.
- Setemen, K. (2010). Implementasi Algoritma Genetika Dalam Pengembangan Sistem Aplikasi Penjadwalan Kuliah. *Jurnal IKA*, 8(1), 56–68. <http://ejournal.undiksha.ac.id/index.php/IKA/article/viewFile/156/147>
- Sitanggang, D. (2015). Inisialisasi Populasi Pada Algoritma Genetika Menggunakan Simple Hill Climbing (SHC) Untuk Travelling Salesman Problem (TSP). *Jurnal TIMES*, IV(2).
- Tanujaya, W., Dewi, D. R. S., & Endah, D. (2011). Penerapan Algoritma Genetik Untuk Penyelesaian Masalah Vehicle Routing Di Pt.MIF. *Widya Teknik*, 10(1), 92–102. <http://journal.wima.ac.id/index.php/teknik/article/view/163>
- Tohari, A., & Astuti, Y. P. (2023). Penerapan Algoritma Genetika Dalam Menentukan Rute Terpendek PT. Pos Cabang Lamongan. *Jurnal Ilmiah Matematika*, 11(3), 458–467.
- Ulinuha, A. (2007). *Ukuran Optimal Populasi Algoritma Genetika Dan Unjuk Kerjanya Dalam Perolehan Solusi Global Optimal*. 121–127.
- Wibawa, C. (2022). Optimalisasi Rute Wisata Di Yogyakarta Menggunakan Metode Travelling Salesman Person Dan Algoritma Brute Force. *Jurnal Teknik Dan Science*, 1(3), 59–65. <https://doi.org/10.56127/jts.v1i3.512>
- Zukhri, Z. (2014). *Algoritma Genetika* (Seno (ed.)). Penerbit Andi.