

PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA UNTUK OPTIMASI VEHICLE ROUTING PROBLEM PADA SISTEM DISTRIBUSI PT XYZ

Farrell Fatma Cory¹, Akhila Delly Zahia², Insiyah³, Siti Wardah Aulia⁴, Trisita Novianti⁵, Samsul Amar⁶
fahrellfc@gmail.com¹, akhiladellyzahia5@gmail.com², insiyah403@gmail.com³,
sitiwardahauliaa@gmail.com⁴, trisita@trunojoyo.ac.id⁵, samsul.amar@gmail.com⁶
Universitas Trunojoyo Madura

ABSTRAK

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan rute distribusi barang dalam sistem logistik PT XYZ, yang selama ini menghadapi inefisiensi dan potensi kerugian finansial akibat penentuan rute yang hanya mengandalkan pengalaman kurir. Untuk menemukan rute terbaik dan terpendek, penelitian ini menerapkan Algoritma Genetika (GA), sebuah metode pencarian heuristik yang meniru mekanisme evolusi biologis, untuk memecahkan Vehicle Routing Problem (VRP), yang berfokus pada perancangan rute kendaraan untuk meminimalkan total biaya operasional. Metode GA melibatkan serangkaian tahap evolusi inisialisasi populasi awal, evaluasi menggunakan fungsi kebugaran (yang mengukur kualitas solusi terhadap tujuan optimasi), seleksi, crossover, dan mutasi dengan parameter penting seperti Probabilitas Crossover dan probabilitas mutasi yang ditetapkan untuk menjaga keragaman dan kombinasi solusi. Hasil yang terverifikasi harus menunjukkan rute yang meminimalkan total biaya distribusi atau total jarak tempuh, memastikan bahwa setiap kendaraan membawa muatan sesuai kapasitas, semua lokasi dikunjungi, dan tidak ada kunjungan yang dikunjungi dua kali. Peningkatan kinerja sebesar 20,4% membuktikan bahwa GA berhasil menghasilkan rute yang jauh lebih efisien dibandingkan kondisi awal.

Kata Kunci: Algoritma Genetika, VRP, Optimasi, Distribusi, Rute.

ABSTRACT

This study aims to optimize the distribution route of goods in the logistics system of PT XYZ, which has been facing inefficiencies and potential financial losses due to route determination that only relies on courier experience. To find the best and shortest route, this study applies Genetic Algorithm (GA), a heuristic search method that mimics the mechanism of biological evolution, to solve the Vehicle Routing Problem (VRP), which focuses on designing vehicle routes to minimize total operational costs. The GA method involves a series of evolutionary stages of initial population initialization, evaluation using a fitness function (which measures the quality of the solution against the optimization objective), selection, crossover, and mutation with important parameters such as Crossover Probability and mutation probability set to maintain the diversity and combination of solutions. Verified results should show a route that minimizes the total distribution cost or total distance traveled, ensuring that each vehicle carries the load according to capacity, all locations are visited, and no location is visited twice. The performance improvement of 20.4% proves that GA successfully produces a much more efficient route compared to the initial condition.

Keywords: Genetic Algorithm, VRP, Optimization, Distribution, Route.

PENDAHULUAN

Salah satu aspek utama dalam manajemen logistik adalah kegiatan pendistribusian barang dari produsen ke konsumen. Apabila proses distribusi dilakukan tanpa perencanaan yang tepat, hal tersebut dapat menyebabkan ketidakefisienan dalam pengelolaan, seperti keterlambatan pengiriman, penumpukan stok di gudang, atau kekosongan barang di wilayah tertentu. Kondisi tersebut pada akhirnya dapat menimbulkan kerugian finansial bagi

perusahaan. Selain itu, distribusi produk ke berbagai daerah memerlukan biaya transportasi yang cukup besar, mencakup biaya bahan bakar, tenaga kerja, pemeliharaan kendaraan, serta biaya rute dan waktu tempuh. Oleh karena itu, perusahaan perlu melakukan perencanaan transportasi secara matang, meliputi penentuan rute pengiriman terbaik, penjadwalan yang efisien, dan pemilihan jenis transportasi yang sesuai. Dengan demikian, kegiatan distribusi dapat dilaksanakan secara efektif dan efisien, serta biaya transportasi dapat diminimalkan tanpa mengurangi kualitas pelayanan kepada pelanggan.

Distribusi barang merupakan bagian penting dalam rantai pasok yang menghubungkan produsen dan konsumen akhir secara langsung. Keberhasilan distribusi sangat dipengaruhi oleh efisiensi operasional yang dapat menekan biaya sekaligus meningkatkan kepuasan pelanggan. Salah satu masalah yang sering dihadapi dalam pendistribusian adalah bagaimana menentukan rute kendaraan yang paling efisien, sehingga pengiriman barang tepat waktu dan biaya logistik dapat ditekan seminimal mungkin.

Penyelesaian permasalahan yang ada terkait pendistribusian pada PT XYZ, penelitian ini menggunakan algoritma genetika. Algoritma genetika merupakan salah satu jalan untuk memecahkan masalah yang cukup besar dengan solusi yang cukup baik. Penerapan algoritma genetika sudah banyak digunakan untuk mencari solusi optimal dalam berbagai permasalahan yang kompleks contohnya pada masalah optimasi penjadwalan, penentuan lokasi, optimasi rute dan lain sebagainya.

TINJAUAN PUSTAKA

A. Algoritma Genetika

Menurut Bimas Saputra, (2023), algoritma genetika merupakan metode pencarian heuristic yang terinspirasi dari mekanisme evolusi biologis. Prinsip dasarnya didasarkan pada keberagaman genetik, yaitu adanya variasi kromosom antar individu dalam suatu populasi. Dalam proses evolusi tersebut, individu dengan tingkat fitness yang lebih tinggi memiliki peluang bertahan hidup dan bereproduksi lebih besar dibandingkan dengan individu yang tingkat fitness-nya lebih rendah. Penyelesaian untuk Genetic Algorithm (Algoritma Genetika) ini dengan menggunakan metode VRP (Vehicle Routing Problem). Metode VRP (Vehicle Routing Problem) ini menyelesaikan tentang permasalahan untuk mencari solusi yang optimum terhadap penentuan jalur distribusi pada transportasi PT XYZ.

B. Rute

Menurut (Pratama & Supriyatno, 2024) rute merupakan jalur yang dilalui dalam proses pengiriman barang dan biasanya dirancang di area dengan konsumen atau tujuan pengiriman yang banyak. Penentuan rute distribusi yang efisien memerlukan pemahaman mendalam tentang sistem jaringan distribusi. Sistem ini terdiri dari kumpulan rute yang saling terhubung untuk membentuk layanan pengiriman yang menyeluruh, termasuk titik-titik pertemuan atau persimpangan antara rute-rute dengan arah berbeda. Dengan perencanaan yang tepat, rute distribusi tidak hanya memastikan barang sampai ke tujuan secara optimal, tetapi juga dapat mengurangi biaya operasional, meminimalkan waktu tempuh, meningkatkan kepuasan pelanggan, dan meningkatkan efisiensi keseluruhan dalam manajemen logistik perusahaan.

C. Optimasi Pendistribusian

Menurut (Jufri & Supomo, 2024), optimasi rute distribusi barang merupakan salah satu aspek krusial dalam manajemen logistik yang berfokus pada peningkatan efisiensi, pengurangan biaya, dan produktivitas operasional dalam proses pengiriman. Dengan merancang rute yang optimal, perusahaan dapat meminimalkan jarak tempuh, waktu

perjalanan, dan konsumsi bahan bakar, sekaligus memastikan layanan tepat waktu kepada pelanggan. Dalam era globalisasi dan pertumbuhan e-commerce yang pesat, tantangan di sektor transportasi dan distribusi menjadi semakin kompleks. Perusahaan tidak hanya menghadapi permintaan pengiriman yang meningkat, tetapi juga harus menyesuaikan rute dengan kendala kapasitas kendaraan, waktu pengantaran, dan lokasi pelanggan yang tersebar. Oleh karena itu, penerapan metode optimasi rute, seperti Vehicle Routing Problem (VRP) dan variannya, menjadi sangat penting untuk mendukung efisiensi operasional, kepuasan pelanggan, dan daya saing perusahaan di pasar modern.

D. Vehicle Routing Problem (VRP)

Menurut (Nur et al., 2023), Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan suatu metode optimasi yang digunakan untuk menentukan atau merancang rute perjalanan sejumlah kendaraan dengan tujuan meminimalkan biaya operasional secara keseluruhan. Dalam pendekatan ini, setiap kendaraan harus berangkat dari suatu titik awal yang disebut depot, mengunjungi sejumlah pelanggan sesuai permintaan, dan kembali lagi ke depot setelah menyelesaikan pengiriman. Setiap pelanggan hanya boleh dilayani satu kali oleh satu kendaraan, serta total permintaan yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas maksimum kendaraan yang digunakan. Secara lebih luas, VRP menjadi permasalahan penting dalam bidang logistik dan distribusi, Model VRP dapat dikembangkan menjadi berbagai varian, seperti Capacitated VRP (CVRP), Time Window VRP (VRPTW), atau Multi-Depot VRP (MDVRP), tergantung pada batasan dan kebutuhan sistem distribusi yang dianalisis.

Vehicle Routing Problem with Time Windows (VRPTW) merupakan pengembangan dari metode Vehicle Routing Problem (VRP) yang mempertimbangkan kendala interval waktu (time window) dalam proses pelayanan pelanggan. Dalam model ini, setiap pelanggan memiliki batas waktu tertentu yang menunjukkan kapan layanan dapat dimulai dan kapan harus diselesaikan. Dengan demikian, kendaraan tidak hanya harus menentukan rute yang efisien, tetapi juga harus memastikan waktu kedatangan berada dalam rentang waktu yang telah ditentukan.

Beberapa studi telah mengaplikasikan metode Algoritma Genetika dalam menyelesaikan VRP untuk berbagai jenis distribusi, mulai dari produk pertanian, barang konsumen, sampai produk manufaktur. Hasilnya menunjukkan adanya pengurangan signifikan dalam jarak tempuh dan biaya distribusi, yang berkontribusi pada peningkatan efisiensi dan efektivitas sistem distribusi. Keunggulan AG juga terletak pada fleksibilitasnya untuk menangani variasi masalah rute, termasuk kapasitas kendaraan yang berbeda, batas waktu pengiriman, serta armada yang heterogen. Pendekatan ini juga memungkinkan adaptasi cepat terhadap perubahan kondisi nyata di lapangan, misalnya perubahan permintaan pelanggan atau kendala operasional.

E. Penerapan Algoritma Genetika

Menurut (Wiranata & Djunaidy, 2021), proses awal dalam penerapan Algoritma Genetikaa dimulai dengan menentukan parameter operasional yang berpengaruh terhadap kualitas dan kecepatan pencarian solusi optimal. Parameter utama yang perlu ditetapkan meliputi:

1. Jumlah Generasi

Menunjukkan berapa kali proses evolusi akan dijalankan. Setiap generasi merepresentasikan satu siklus pembaruan populasi, mulai dari seleksi, crossover, hingga mutasi. Semakin banyak jumlah generasi, semakin besar peluang algoritma menemukan solusi yang lebih baik, meskipun membutuhkan waktu komputasi yang lebih lama.

2. Ukuran Populasi

Menentukan berapa banyak individu (solusi) yang terdapat dalam satu generasi. Ukuran populasi yang lebih besar meningkatkan keragaman genetika sehingga memperbesar kemungkinan menemukan solusi global yang optimal. Namun, populasi yang terlalu besar juga dapat memperlambat proses komputasi.

3. Probabilitas Crossover

Menunjukkan seberapa besar kemungkinan dua individu akan mengalami proses crossover atau persilangan genetika untuk menghasilkan keturunan baru. Nilai probabilitas yang tinggi (biasanya antara 0,6–0,9) membantu mempercepat eksplorasi ruang solusi, namun jika terlalu tinggi dapat mengakibatkan hilangnya individu terbaik.

4. Probabilitas Mutasi

Menggambarkan peluang terjadinya mutasi genetika pada individu, yaitu perubahan acak pada satu atau lebih gen dalam kromosom. Mutasi berfungsi menjaga keragaman populasi dan mencegah algoritma terjebak pada solusi lokal. Nilai probabilitas mutasi biasanya kecil (sekitar 0,01–0,1).

5. Fungsi Fitness (Fitness Function)

Merupakan fungsi evaluasi yang digunakan untuk mengukur tingkat kecocokan atau kualitas setiap individu dalam populasi terhadap tujuan optimasi yang ingin dicapai. Semakin tinggi nilai fitness, semakin baik solusi yang diwakili individu tersebut, dan semakin besar peluangnya untuk terpilih dalam proses reproduksi pada generasi berikutnya.

Mekanisme dasar Algoritma Genetika diawali dengan pembentukan populasi awal yang terdiri atas sejumlah individu, di mana setiap individu direpresentasikan dalam bentuk kromosom. Setiap kromosom menggambarkan solusi potensial terhadap permasalahan yang sedang dipecahkan. Selanjutnya, setiap individu dievaluasi menggunakan fungsi fitness. Setelah evaluasi dilakukan, individu dengan nilai fitness tertinggi akan diseleksi untuk melanjutkan ke tahap reproduksi, sedangkan individu dengan nilai fitness rendah memiliki peluang lebih kecil untuk bertahan. Tahapan berikutnya adalah proses persilangan (crossover). Tujuan dari crossover adalah menukarkan informasi genetik guna menemukan kombinasi solusi yang lebih baik dari generasi sebelumnya. Untuk menjaga keragaman genetik dalam populasi dan mencegah terjebaknya algoritma pada solusi lokal, dilakukan pula proses mutasi. Meskipun mutasi terjadi dengan probabilitas yang rendah, proses ini penting agar populasi tetap dinamis dan adaptif terhadap perubahan. Siklus evolusi ini yang terdiri dari evaluasi, seleksi, crossover, dan mutasi akan terus berulang dari satu generasi ke generasi berikutnya. Proses dihentikan ketika tercapai solusi terbaik (optimal). Dengan cara ini, Algoritma Genetika mampu menemukan solusi optimal secara bertahap dan efisien untuk berbagai permasalahan kompleks dalam bidang optimasi, logistik, rekayasa, hingga kecerdasan buatan (Harianto et al., 2025).

F. Langkah-langkah dalam Algoritma Genetika

Langkah-langkah dasar algoritma genetika yang perlu ditetapkan meliputi:

1. Inisialisasi populasi awal merupakan tahap awal dalam proses Algoritma Genetika yang bertujuan untuk membangkitkan sekumpulan kromosom awal sebagai solusi awal dari permasalahan yang akan dioptimasi. Pada tahap ini, setiap kromosom merepresentasikan satu individu dalam populasi dan berisi rangkaian gen yang mencerminkan variabel-variabel solusi.
2. Proses pengkodean individu dilakukan karena terdapat beberapa aspek penting yang harus diperhatikan dalam mendefinisikan dan merepresentasikan setiap individu agar dapat diinterpretasikan dengan benar dalam penyelesaian masalah menggunakan

pendekatan Algoritma Genetika.

3. Kegiatan evaluasi dalam pendekatan Algoritma Genetika berfungsi sebagai proses penilaian terhadap setiap kromosom dalam populasi. Penilaian ini bertujuan untuk menentukan seberapa baik setiap individu memenuhi kriteria solusi yang diinginkan. Hasil evaluasi kemudian digunakan sebagai dasar untuk seleksi dan proses reproduksi, sehingga algoritma dapat mengarahkan populasi menuju nilai optimasi terbaik secara bertahap.
4. Nilai fitness yang digunakan dalam proses seleksi pada Algoritma Genetika dapat diterapkan melalui metode roda rolet (roulette wheel selection). Pada metode ini, setiap individu diberi peluang terpilih yang proporsional terhadap nilai fitness-nya. Secara teknis, nilai fitness dihitung dengan cara menentukan fungsi objektif setiap individu, kemudian dibagi dengan total fungsi objektif seluruh populasi, sehingga diperoleh probabilitas seleksi masing-masing individu.
5. Proses seleksi merupakan tahapan dalam Algoritma Genetika yang berfungsi untuk menentukan individu yang akan menjadi induk bagi generasi berikutnya. Pada tahap ini, individu dengan nilai fitness lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih, sehingga karakteristik terbaik dari populasi dapat diwariskan. Setelah induk terpilih, proses ini biasanya dilakukan secara berulang hingga jumlah induk yang dibutuhkan untuk tahap reproduksi, seperti crossover dan mutasi, terpenuhi.
6. Crossover atau persilangan merupakan proses dalam Algoritma Genetika yang bertujuan untuk menghasilkan kromosom baru dari dua kromosom induk. Proses ini dilakukan dengan menggabungkan bagian informasi (gen) dari masing-masing induk sehingga tercipta kombinasi baru yang berpotensi memiliki kualitas lebih baik. Kromosom yang terbentuk dari proses crossover ini disebut anak kromosom, dan selanjutnya akan menjadi bagian dari populasi generasi berikutnya untuk dievaluasi dan dikembangkan lebih lanjut.
7. Mutasi merupakan proses perubahan acak pada satu atau beberapa gen dalam kromosom untuk menciptakan individu baru dengan kualitas yang lebih baik. Mutasi bertujuan menjaga keragaman genetik dalam populasi dan sering diterapkan pada anak kromosom agar tercipta solusi yang lebih optimal dibandingkan individu sebelumnya.

Jumlah kromosom yang mengalami mutasi dalam suatu populasi ditentukan oleh mutation rate, di mana mutasi dilakukan dengan mengganti gen lama dengan nilai baru yang diperoleh setelah pembentukan offspring (Hatim & Ahmad, 2022).

G. Vehicle Routing Problem (VRP)

Menurut (Nur et al., 2023), Vehicle Routing Problem (VRP) merupakan suatu metode optimasi yang digunakan untuk menentukan atau merancang rute perjalanan sejumlah kendaraan dengan tujuan meminimalkan biaya operasional secara keseluruhan. Dalam pendekatan ini, setiap kendaraan harus berangkat dari suatu titik awal yang disebut depot, mengunjungi sejumlah pelanggan sesuai permintaan, dan kembali lagi ke depot setelah menyelesaikan pengiriman. Setiap pelanggan hanya boleh dilayani satu kali oleh satu kendaraan, serta total permintaan yang diangkut tidak boleh melebihi kapasitas maksimum kendaraan yang digunakan. Secara lebih luas, VRP menjadi permasalahan penting dalam bidang logistik dan distribusi, Model VRP dapat dikembangkan menjadi berbagai varian, seperti Capacitated VRP (CVRP), Time Window VRP (VRPTW), atau Multi-Depot VRP (MDVRP), tergantung pada batasan dan kebutuhan sistem distribusi yang dianalisis.

METODOLOGI

Pada tahap ini dilakukan proses pengumpulan data, pengumpulan data dibutuhkan untuk menyelesaikan permasalahan terkait rute distribusi. Data yang dikumpulkan meliputi jumlah node, jarak antar node, serta kapasitas kendaraan yang digunakan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Pengumpulan data dilakukan dengan cara observasi secara langsung terhadap perusahaan. Data-data yang diperlukan antara lain adalah:

1. Data alamat customer.
2. Data jarak antar customer dan depot.
3. Data jumlah barang yang dikirim
4. Data jumlah kapasitas kendaraan

Daerah penelitian hanya dibatasi untuk wilayah Surabaya dan sekitarnya. Lokasi PT. XYZ yang berada di Surabaya.

A. Data Lokasi

Tabel 1 Data Matriks Jarak Antar Titik Pemberhentian

Matriks	Depot	LNJ	GTI	TSM	SML	ITL	CBL	SLT	ATS	CSS	RPT	VIL	SOL
Depot	0	352	499	506	5,4	113	111	206	139	188	362	161	6,6
LNJ	352	0	190	199	334	322	364	486	419	188	79,3	260	335
GTI	499	190	0	9,1	462	478	502	620	588	344	157	432	463
TSM	506	199	9,1	0	471	487	511	629	597	353	166	441	472
SML	5,4	334	462	471	0	105	99,9	201	169	182	296	157	3,7
ITL	113	322	478	487	105	0	24,7	194	141	167	317	118	107
CBL	111	364	502	511	99,9	24,7	0	174	116	199	342	104	102
SLT	206	486	620	629	201	194	174	0	68,3	328	464	258	203
ATS	139	419	588	597	169	141	116	68,3	0	295	433	201	171
CSS	188	188	344	353	182	167	199	328	295	0	189	97,1	184
RPT	362	79,3	157	166	296	317	342	464	433	189	0	279	305
VIL	161	260	432	441	157	118	104	258	201	97,1	279	0	158
SOL	6,6	335	463	472	3,7	107	102	203	171	184	305	158	0

Penerapan algoritma genetika pada penyelesaian vehicle routing problem dilakukan dengan tahapan sistematis yang di dalamnya melibatkan pembentukan populasi, evaluasi fitness, serta proses reproduksi hingga mencapai hasil optimal. Nilai fitness dihitung berdasarkan total jarak perjalanan, yang diambil dari matriks jarak antar lokasi distribusi. Proses iterasi dilakukan hingga 10.000 generasi, dengan mekanisme crossover sebesar 0,08 dan mutasi sebesar 0,02 untuk menjaga keragaman solusi. Pendekatan ini dirancang untuk memperoleh solusi rute dengan jarak minimum dan efisiensi maksimum dalam sistem distribusi perusahaan.

B. Rancangan Pseudocode Algoritma

Rancangan digunakan untuk memberikan gambaran yang lebih detail mengenai alur implementasi dan logika perhitungan rute distribusi.

1. Inisialisasi Parameter

Gambar 1 menunjukkan bentuk Inisialisasi parameter seperti ukuran populasi, Pc, Pm, dan jumlah generasi menentukan bagaimana GA mengeksplorasi dan mengeksploitasi ruang solusi. Parameter yang tepat menjaga keseimbangan antara kualitas solusi, kecepatan konvergensi, dan stabilitas proses evolusi.

```
Input:|
PopulationSize ← N
MaxGeneration ← G
Pc ← crossover_probability
Pm ← mutation_probability
EncodingMethod ← permutation-based (urutan kunjungan pelanggan)
CrossoverMethod ← Ordered Crossover (OX)
MutationMethod ← Swap Mutation / Inversion Mutation
ReplacementMethod ← Elitism
```

Gambar 1 Pseudocode Inisialisasi Parameter

2. Inisialisasi Populasi (Encoding)

Gambar 2 menunjukkan bentuk langkah awal algoritma, yaitu inisialisasi populasi. Proses ini bertujuan untuk membangkitkan sejumlah kandidat solusi awal secara acak.

```
Initialize Population P with N individuals:
For each individual i in P:
    Generate random route permutation of all customers
    Apply capacity-feasible splitting into routes
    Compute Fitness(i)
```

Gambar 2 Pseudocode Inisialisasi Populasi

3. Evaluasi Fitness

Gambar 3 menunjukkan langkah krusial untuk mengukur kualitas setiap individu, yaitu evaluasi fitness. Karena penelitian ini merupakan Vehicle Routing Problem (VRP), satu kromosom (urutan pelanggan) harus dipecah menjadi beberapa rute truk yang realistis sesuai kapasitas kendaraan.

```
Function Fitness(individual):
    Decode permutation into multiple routes based on vehicle capacity
    For each route:
        Calculate route distance
    TotalDistance =  $\Sigma$  (distance per route)
    Fitness =  $1 / \text{TotalDistance}$ 
    Return Fitness
```

Gambar 3 Pseudocode Evaluasi Fitness

4. Proses Evolusi GA

Gambar 4 menunjukkan proses evolusi berlangsung melalui siklus seleksi, crossover, mutasi, evaluasi fitness, dan replacement. Setiap generasi secara bertahap memperbaiki kualitas populasi, menggabungkan solusi yang baik sekaligus memberikan variasi baru untuk menghindari jebakan solusi lokal.

```
Generation = 0
While Generation < MaxGeneration AND NOT StoppingCondition:
    NewPopulation = {}
    # --- Selection ---
    Select parents using Tournament / Roulette Wheel
    # --- Crossover ---
    For each pair of parents:
        If rand() < Pc:
            child1, child2 = OX_Crossover(parent1, parent2)
        Else:
            child1 = parent1
            child2 = parent2
        Add child1, child2 to NewPopulation
    # --- Mutation ---
    For each child in NewPopulation:
        If rand() < Pm:
            child = Mutation(child)
        Recalculate Fitness(child)
    # --- Replacement (Elitism) ---
    Keep BestIndividual from previous population
    Replace worst individual in NewPopulation with BestIndividual
    # Update population
    Population = NewPopulation
    Generation = Generation + 1
End While
```

Gambar 4 Pseudocode Proses Evolusi GA

5. Metode Crossover

Gambar 5 menunjukkan proses crossover, di mana dua induk (parent1 dan parent 2) yang telah diseleksi, menggabungkan materi genetiknya untuk menghasilkan keturunan baru (child). Dalam penelitian ini, metode yang digunakan adalah Ordered Crossover (OX).

```
OX_Crossover(parent1, parent2):
    Choose random cut points a and b
    Copy segment parent1[a:b] to child
    Fill remaining positions from parent2 preserving order & avoiding duplicates
    Return child
```

Gambar 5 Pseudocode Operasi Crossover

6. Probabilitas Crossover

Gambar 6 menunjukkan probabilitas crossover mengatur seberapa sering dua parent digabungkan menghasilkan solusi baru. Nilai probabilitas crossover yang sesuai memungkinkan terbentuknya kombinasi rute yang lebih efisien tanpa kehilangan struktur solusi baik secara berlebihan, sehingga proses pencarian tetap efektif.

```

For k = 1 to (PopulationSize / 2):
|
    parent1 = select_parent()
    parent2 = select_parent()

    r = random(0, 1)

    If r < Pc then
        child1, child2 = OX_Crossover(parent1, parent2)
    Else
        child1 = copy(parent1)
        child2 = copy(parent2)
    End If

    Add child1 to offspring
    Add child2 to offspring

End For

```

Gambar 6 Pseudocode Probabilitas Crossover

7. Metode Mutasi

Gambar 7 menunjukkan operasi mutasi, mekanisme penting untuk memperkenalkan variasi genetik baru ke dalam populasi. Tujuannya adalah untuk mencegah algoritma terjebak pada solusi optimal lokal dan mendorong eksplorasi area baru dalam ruang pencarian.

```

Mutation(individual):

    i = random position in chromosome
    j = random position in chromosome, j != i

    temp = individual[i]
    individual[i] = individual[j]
    individual[j] = temp

    return individual

```

Gambar 7 Pseudocode Operasi Mutasi

8. Probabilitas Mutasi

Gambar 8 menunjukkan probabilitas mutasi yang menentukan peluang terjadinya perubahan acak pada individu. Mutasi menjaga keragaman populasi dan mencegah GA terjebak pada solusi lokal. Perubahan kecil seperti swap mutation bisa memberikan perbaikan signifikan pada struktur rute.

```

For each child in offspring:

    r = random(0, 1)

    If r < Pm then
        child = Mutation(child)
    End If

    Recalculate fitness(child)

```

Gambar 8 Probabilitas Mutasi

9. Replacement

Gambar 9 menunjukkan operasi metode replacement menggunakan elitism, yaitu mempertahankan individu terbaik dari generasi sebelumnya dan memastikan bahwa individu tersebut tetap berada di populasi. Pendekatan ini menjamin bahwa kualitas solusi tidak pernah menurun dari satu generasi ke generasi berikutnya.

```

BestOld = best individual from previous population
WorstNew = worst individual in NewPopulation
Replace WorstNew with BestOld

```

Gambar 9 Replacement

10. Stopping Condition

Gambar 10 menunjukkan proses yang dihentikan ketika jumlah generasi maksimum tercapai atau tidak ada peningkatan berarti pada fitness. Stopping condition memastikan GA

berhenti pada saat yang tepat, sehingga menghasilkan solusi optimal secara efisien tanpa membuang waktu komputasi.

```

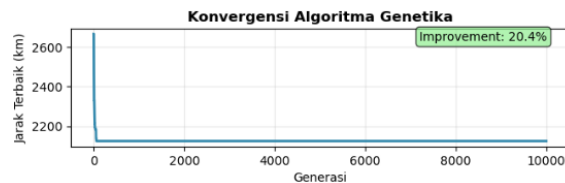
Generation >= MaxGeneration
OR
Fitness tidak berubah selama k generasi (convergence)

```

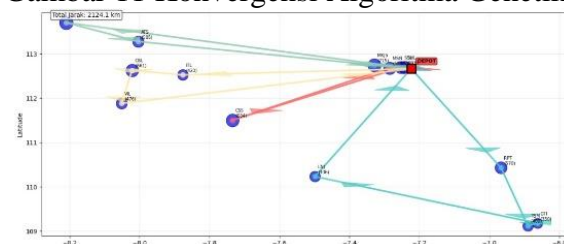
Gambar 10 Stopping Condition

C. Hasil Optimasi Rute

Hasil optimasi menunjukkan bahwa metode yang digunakan berhasil menemukan rute distribusi yang meminimalkan total jarak tempuh, dengan tetap memenuhi batas kapasitas kendaraan. Sehingga setiap kendaraan menjalankan perjalanan yang efisien, tidak melanggar batas operasional dan memastikan seluruh pelanggan terlayani dengan biaya distribusi paling rendah berdasarkan parameter dan kondisi yang diberikan. Dengan demikian, penerapan metode optimasi ini terbukti efektif dalam memperbaiki kinerja sistem distribusi secara keseluruhan.



Gambar 11 Konvergensi Algoritma Genetika



Gambar 12 Visualisasi Rute Kendaraan Terbaik

Gambar 12 merupakan visualisasi rute terbaik yang dihasilkan dari truk keseluruhan PT XYZ dengan rute perjalanan yang dihasilkan.

KESIMPULAN

Kesimpulan Dari hasil penelitian dan pembahasan dapat diambil kesimpulan bahwa rute yang diperoleh dari hasil penerapan metode optimasi rute mampu meningkatkan efisiensi rute distribusi. Total improvement sebesar 20,4% dengan total 4 kendaraan yang digunakan. Dengan demikian, strategi ini tidak hanya mengurangi jarak dan waktu tempuh, tetapi juga berdampak positif terhadap efisiensi penggunaan armada serta penurunan biaya operasional perusahaan secara keseluruhan.

Saran

Pada penelitian berikutnya, dapat diperluas dengan menambahkan kendala lain seperti kapasitas kendaraan maupun batas waktu pelayanan, serta menguji berbagai kombinasi parameter pada algoritma genetika untuk mendapatkan hasil yang lebih optimal.

DAFTAR PUSTAKA

- Arsyadanie, R., Nabhana, K., & Rosyada, Z. F. (n.d.). ANALISIS PEMILIHAN RUTE OPTIMAL DALAM PROSES DISTRIBUSI REPLENISHMENT UNIT ATM MENGGUNAKAN METODE NEAREST INSERTION HEURISTIC PERSOALAN VEHICLE ROUTING PROBLEM WITH TIME WINDOWS Abstrak.
- Bimas Saputra, E. (2023). Perancangan Aplikasi Pengaturan Kapal Untuk Transportasi Semen

- Curah di PT Semen Padang Dengan Menggunakan Algoritma Genetika. *Jurnal Siber Transportasi dan Logistik*, 1(1), 1–9. <https://doi.org/10.38035/jstl.v1i1.1>
- Harianto, L., Imran, M., & Gamal, M. D. (2025). *Journal of Science and Technology*. Penerapan Algoritma Genetika pada Persoalan Pematangan Stok Satu Dimensi, 69-80.
- Hatim, H. A., & Ahmad, F. (2022). *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*. Pendekatan Algoritma Genetika Dalam Upaya Optimalisasi Penjadwalan Di PT Nuansa Indah, 145-154.
- Hatim, H. A., & Ahmad, F. (2022). *Pendekatan Algoritma Genetika Dalam Upaya*. 9(2).
- Jufri, T., & Supomo, C. U. (2024). *Literatur Review : Optimasi Rute Pengiriman Barang dengan Analisis Komprehensif Metode dan Aplikasinya Abstrak*. 6(July), 396–405.
- Jufri, T., Supomo, C. U., Hernadewita, & Hendra. (2024). *Proceeding Mercu Buana Conference on Industrial Engineering*. Literatur Review: Optimasi Rute Pengiriman Barang dengan Analisis Komprehensif Metode dan Aplikasinya, 396-405.
- Munir, M., Kurniawan, M., M. M. K., & Setyawati, I. (2023). *Jurnal Teknologi Terpadu*. Implementasi Metode Clarke And Wright Savings Dalam Penyelesaian Vehicle Routing Problem Di PT. Adiguna Gasindo, 116-122.
- Nabhana, R. A., & Rosyada, Z. F. (2023). *Jurnal Online Teknik Industri*. Analisis Pemilihan Rute Optimal Dalam Proses Distribusi Replenishment Unit ATM Menggunakan Metode Nearest Insertion Heuristic Persoalan Vehicle Routing Problem With Time Window, 1-9.
- Payungi, R. T. (2022). *Scientific Journal of Industrial Engineering*. Optimalisasi Rute Distribusi dengan Menggunakan Metode Nearest Neighbour Dan Algoritma Tabu Search Pada PT RTP, 80-85.
- Pertiwi, D., Putri, A., & Sukardi, A. (2023). *Analisis Pengaruh Distribusi dan Harga Terhadap Peningkatan Penjualan Produk*. 1(6), 42–50.
- Putri, D. P., & Sukardi, A. (2023). *MENAWAN: Jurnal Riset Dan Publikasi Ilmu Ekonomi*. Analisis Pengaruh Distribusi dan Harga Terhadap Peningkatan Penjualan Produk, 42-50.
- Rahimi, A., Arthur, M., Nurfadillah, Tisna, F. D., & Putri, D. F. (2023). *Prosiding Seminar Nasional Matematika, Statistika, dan Aplikasinya*. Implementasi Algoritma Genetika Dalam Penentuan Rute Terbaik Pendistribusian BBM Pada SPBU Yang Ada Di Samarinda, 196-207.
- Rahmania, S. N., Wahyuda, & Gunawan, S. (2023). *Journal of Information Technology and Computer Science (INTECOMS)*. Penentuan Rute Distribusi Barang Menggunakan Vehicle Routing Problem (Studi Kasus: CV. Surya Inti Distrindo), 238-585.
- Wiranata, R. B., & Djunaidy, A. (2021). *Jurnal Teknik Informatika dan Sistem Informasi*. Optimasi Hyper-Parameter Berbasis Algoritma Genetika Pada Ensemble Learning Untuk Prediksi Saham Yang Mempertimbangkan Indikator Teknikal & Sentimen Berita, 1442-1456.