

Penerapan Algoritma Genetika Dan Logika Fuzzy Sebagai Pendekatan Soft Computing Untuk Optimasi Rute, Penjadwalan, Dan Pengambilan Keputusan

Dinda Amalia Marpaung¹, Anan Dyta Juhaira², Azizubaida Juli Anggiani³, Dicky Apdilah⁴

Prodi Teknik Informatika Fakultas Teknik, Universitas Asahan

Email: dindaamaliamp01@gmail.com¹, Juhairaanandya11@gmail.com², Anggiani112237@gmail.com³, dicky@nusa.net.id⁴

Published: June, 2026

ABSTRACT

Computational-based decision-making processes generally face two major challenges: the vast solution search space, which makes exhaustive search inefficient, and the presence of uncertain or ambiguous information that is difficult to process using conventional computational methods. Genetic Algorithms (GA) are widely used to solve optimization problems in complex search spaces, while Fuzzy Logic is applied to handle uncertainty and linguistic information. However, studies that examine both methods within an integrated framework remain relatively limited. This study synthesizes nine national journal articles indexed by Sinta and one reference book on Fuzzy Logic. The review covers the application of Genetic Algorithms in route optimization problems, such as the Traveling Salesman Problem (TSP), multi-TSP, and goods distribution management, including their implementation in various scheduling cases. In addition, this study examines the application of Mamdani and Sugeno Fuzzy Logic in evaluation and classification processes, such as determining job priorities, identifying depression levels, and selecting products. Using a narrative-thematic literature review method, the study concludes that Genetic Algorithms are highly effective for problems involving combinational search with performance measures that can be objectively evaluated through fitness functions. On the other hand, Fuzzy Logic is more suitable for decision-making situations involving subjective assessments, linguistic terms, and unclear decision boundaries. The synthesis results indicate that both approaches can be positioned as complementary methods. Genetic Algorithms function as mechanisms for finding optimal solutions, while Fuzzy Logic serves as a tool for evaluating the quality and feasibility of those solutions. The integration of both methods has the potential to produce decision support systems that are more flexible and adaptive compared to using each method separately.

Keywords: Mamdani Fuzzy Logic; Sugeno Fuzzy Logic; Tsukamoto Fuzzy Logic; MATLAB; Genetic Algorithm; Tabu Search; Traveling Salesman Problem; Scheduling; Intelligent Systems; Optimization.

ABSTRAK

Proses pengambilan keputusan berbasis komputasi umumnya menghadapi dua tantangan utama, yaitu luasnya ruang kemungkinan solusi yang menyebabkan pencarian secara menyeluruh menjadi tidak efisien, serta adanya informasi yang tidak pasti atau bersifat ambigu sehingga sulit diolah menggunakan perhitungan konvensional. Algoritma Genetika (AG) banyak dimanfaatkan untuk menyelesaikan persoalan pencarian solusi dalam ruang yang kompleks, sementara Logika Fuzzy digunakan untuk menangani ketidakpastian dan informasi yang bersifat linguistik. Namun, penelitian yang mengkaji kedua metode tersebut dalam suatu kerangka terpadu masih relatif terbatas. Penelitian ini melakukan sintesis terhadap sembilan artikel jurnal nasional terindeks Sinta serta satu buku referensi mengenai Logika Fuzzy. Kajian mencakup penggunaan Algoritma Genetika dalam persoalan optimasi rute, seperti Travelling Salesman Problem (TSP), multi-TSP, serta pengaturan distribusi barang, termasuk penerapannya pada berbagai kasus penjadwalan. Selain itu, penelitian juga mengulas penerapan Logika Fuzzy Mamdani dan Sugeno dalam proses evaluasi dan klasifikasi, seperti penentuan prioritas pekerjaan, identifikasi tingkat depresi, serta pemilihan produk. Dengan menggunakan metode tinjauan literatur naratif-tematik, diperoleh kesimpulan bahwa Algoritma Genetika sangat efektif diterapkan pada permasalahan yang memiliki bentuk pencarian kombinasi dengan ukuran performa yang dapat dihitung secara objektif melalui fungsi fitness. Di sisi lain, Logika Fuzzy lebih sesuai digunakan pada situasi pengambilan keputusan yang melibatkan penilaian subjektif, istilah linguistik, dan batas keputusan yang tidak tegas. Hasil sintesis menunjukkan bahwa kedua pendekatan dapat diposisikan sebagai metode yang saling melengkapi. Algoritma Genetika berperan sebagai mekanisme pencari solusi terbaik, sedangkan Logika Fuzzy berfungsi sebagai alat untuk menilai kualitas dan kelayakan solusi tersebut. Integrasi keduanya berpotensi menghasilkan sistem pendukung keputusan yang lebih fleksibel dan adaptif dibandingkan penggunaan masing-masing metode secara terpisah.

Kata Kunci: Logika Fuzzy Mamdani; Logika Fuzzy Sugeno; Logika Fuzzy Tsukamoto; MATLAB; Algoritma Genetika; Tabu Search; Traveling Salesman Problem (TSP); Penjadwalan; Sistem Cerdas; Optimasi.

PENDAHULUAN

Berbagai aktivitas dalam bidang industri, pendidikan, maupun pelayanan publik pada dasarnya berkaitan dengan proses memilih alternatif terbaik dari sejumlah pilihan yang tersedia. Walaupun terlihat sederhana, proses tersebut menjadi semakin rumit ketika jumlah alternatif meningkat secara drastis atau ketika kriteria penilaian tidak dapat dinyatakan secara pasti. Kondisi pertama sering ditemukan dalam permasalahan optimasi rute dan penyusunan jadwal, sedangkan kondisi kedua banyak terjadi pada sistem penilaian yang melibatkan pertimbangan manusia. Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy merupakan dua metode dalam bidang soft computing yang dikembangkan untuk mengatasi karakteristik permasalahan yang berbeda. Algoritma Genetika mengadopsi prinsip evolusi biologis, khususnya mekanisme seleksi alam dan pewarisan sifat. Metode ini bekerja dengan menghasilkan sejumlah kandidat solusi dalam bentuk populasi, kemudian mengevaluasi kualitas setiap solusi menggunakan fungsi fitness. Proses perbaikan solusi dilakukan secara berulang melalui tahapan seleksi, crossover, dan mutasi hingga ditemukan solusi dengan kualitas yang semakin mendekati optimum.

Penerapan Algoritma Genetika telah menunjukkan keberhasilan dalam menyelesaikan berbagai persoalan optimasi rute, termasuk Travelling Salesman Problem (TSP), yaitu permasalahan untuk menentukan jalur terpendek yang mengunjungi seluruh lokasi satu kali sebelum kembali ke titik awal. Implementasi metode ini telah dilakukan pada optimasi jalur pengangkutan sampah di Kota Pekanbaru, penyelesaian variasi multi-TSP dengan banyak agen perjalanan, serta pengaturan urutan distribusi barang pada sistem rantai pasok. Selain itu, Algoritma Genetika juga mampu menangani persoalan penjadwalan yang memiliki banyak batasan, seperti pengaturan jadwal kuliah agar tidak terjadi benturan ruang dan waktu, penjadwalan layanan administrasi kependudukan, hingga penyusunan jadwal mata pelajaran pada tingkat sekolah. Di sisi lain, Logika Fuzzy dikembangkan berdasarkan kenyataan bahwa banyak proses pengambilan keputusan manusia tidak selalu dapat dinyatakan dalam dua kondisi mutlak, yaitu benar atau salah. Banyak konsep yang memiliki tingkat keanggotaan tertentu, seperti “cukup penting”, “sedikit mahal”, atau “kurang mendesak”. Dengan menggunakan fungsi keanggotaan untuk mengubah nilai numerik menjadi kategori linguistik, kemudian memprosesnya melalui aturan IF-THEN dan menghasilkan nilai akhir melalui proses defuzzifikasi, Logika Fuzzy mampu menangani ketidakpastian tersebut dengan lebih fleksibel.

Penerapan Logika Fuzzy dapat ditemukan dalam berbagai bidang, seperti penentuan prioritas tugas mahasiswa berdasarkan tingkat kesulitan dan batas waktu pengerjaan menggunakan metode Mamdani, pengukuran tingkat depresi kerja karyawan dengan pendekatan Sugeno melalui data indeks massa tubuh dan kuesioner psikologis, serta sistem pendukung keputusan dalam pemilihan telepon seluler berdasarkan beberapa kriteria seperti harga, ukuran layar, kapasitas penyimpanan, dan kualitas kamera. Dasar konsep dari penerapan tersebut berasal dari teori Logika Fuzzy yang menjelaskan tahapan pembentukan himpunan fuzzy, proses inferensi, hingga konversi hasil fuzzy menjadi nilai tegas. Meskipun Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy sering digunakan dalam berbagai penelitian, sebagian besar kajian masih membahas keduanya secara terpisah. Padahal, dalam penerapan nyata kedua metode tersebut memiliki potensi untuk digunakan secara berkesinambungan dalam satu sistem. Sebagai contoh, sistem optimasi rute yang menggunakan Algoritma Genetika tetap membutuhkan mekanisme tambahan untuk mengevaluasi kondisi operasional yang sulit dinyatakan secara matematis, seperti tingkat kemacetan, kondisi cuaca, atau tingkat urgensi kebutuhan masyarakat. Sebaliknya, sistem berbasis Fuzzy yang menentukan tingkat prioritas suatu pekerjaan membutuhkan metode pencarian untuk menentukan urutan pelaksanaan yang paling optimal ketika terdapat beberapa pekerjaan dengan tingkat prioritas yang hampir sama.

Keberadaan metode metaheuristik lain seperti Tabu Search juga menunjukkan bahwa Algoritma Genetika bukan satu-satunya teknik untuk menyelesaikan permasalahan pencarian solusi. Oleh karena itu, Algoritma Genetika perlu dipahami sebagai salah satu metode pencarian dalam

kelompok algoritma optimasi yang lebih luas, sedangkan Logika Fuzzy memiliki peran yang berbeda sebagai metode evaluasi berbasis ketidakpastian, sehingga keduanya lebih tepat dipandang sebagai pendekatan yang saling mendukung daripada saling menggantikan. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) melakukan pemetaan penerapan Algoritma Genetika pada permasalahan optimasi rute dan penjadwalan, serta penggunaan Logika Fuzzy pada kasus penilaian dan klasifikasi; (2) menganalisis kelebihan dan keterbatasan masing-masing metode berdasarkan karakteristik masalah yang diselesaikan; serta (3) menyusun sebuah kerangka konseptual yang mengintegrasikan Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy sebagai dua komponen yang saling melengkapi dalam pengembangan sistem pendukung keputusan.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode tinjauan literatur naratif-tematik (narrative thematic literature review), yaitu pendekatan yang berfokus pada analisis dan penyusunan pemahaman konseptual dari berbagai penelitian sebelumnya. Berbeda dengan metode meta-analisis yang menggabungkan hasil kuantitatif dari sejumlah penelitian, pendekatan ini lebih menekankan pada pencarian pola, hubungan, dan kesamaan karakteristik dari berbagai studi yang memiliki bidang penerapan berbeda.

Sumber data dalam penelitian dipilih melalui proses seleksi berdasarkan beberapa kriteria, yaitu artikel berasal dari jurnal nasional yang terindeks Sinta atau sumber referensi yang memiliki relevansi tinggi terhadap topik penelitian, menjelaskan proses atau tahapan metode yang digunakan secara rinci, serta menyediakan data pengujian baik berupa data nyata maupun hasil simulasi. Melalui proses tersebut diperoleh sejumlah sumber yang kemudian diklasifikasikan ke dalam tiga kelompok utama, yaitu penerapan Algoritma Genetika pada optimasi rute, penggunaan Algoritma Genetika untuk penjadwalan, serta penerapan Logika Fuzzy dalam proses penilaian dan klasifikasi

Tabel 1. Pemetaan Tematik Sumber yang Ditelaah

Kategori	Sumber	Metode	Konteks Penerapan	Ukuran Masalah
Optimasi Rute	Hasibuan & Lusiana (2015) [1]	AG (cycle crossover, inversion mutation, elitism)	Rute pengangkutan sampah, Pekanbaru	31 titik lokasi
Optimasi Rute	Mayuliana dkk (2016) [2]	AG (two-part chromosome, order crossover)	Simulasi multi-TSP, 5–10 salesman	10–30 kota
Optimasi Rute	Tannady & Limas (2012) [3]	AG (order crossover/OX)	Penjadwalan pengiriman barang	9 kota
Penjadwalan	Mone & Simarmata (2021) [4]	AG (fungsi penalti hard/soft constraint)	Jadwal mata kuliah, Universitas Timor	51 pengampu mata kuliah
Penjadwalan	Pane dkk (2019) [5]	AG (rumus fungsi objektif kustom)	Layanan pengambilan akta kelahiran	65 pendaftar
Penjadwalan	Pangestu dkk (2023) [6]	AG (uji sensitivitas parameter)	Jadwal mata pelajaran SD	128 kelompok tugas

Kategori	Sumber	Metode	Konteks Penerapan	Ukuran Masalah
Penilaian/Klasifikasi	Immanuel & Widiyanto (2025) [7]	Fuzzy Mamdani (15 rule, centroid)	Prioritas tugas mahasiswa	14 sampel tugas
Penilaian/Klasifikasi	Daffa & Sriani (2023) [8]	Fuzzy Sugeno (weighted average)	Deteksi tingkat depresi kerja	60 responden
Penilaian/Klasifikasi	Nugroho dkk (2023) [9]	Fuzzy Mamdani (4 variabel input)	Pemilihan telepon seluler	1 studi kasus terverifikasi Matlab
Landasan Teori	Buku Logika Fuzzy [10]	—	Teori dasar fuzzifikasi–defuzzifikasi	—
Pembandingan Metode	Monograf Tabu Search dalam TSP [11]	Tabu Search	Posisi AG dalam keluarga metaheuristik TSP	—

Tahapan analisis dalam penelitian ini dilakukan melalui tiga langkah utama. Langkah pertama adalah mengidentifikasi dan mengekstraksi komponen algoritma dari setiap sumber, termasuk bentuk representasi kromosom atau variabel fuzzy, metode evaluasi seperti fungsi fitness maupun fungsi keanggotaan, serta proses yang digunakan dalam masing-masing pendekatan. Pada Algoritma Genetika, tahapan yang dikaji mencakup proses seleksi, crossover, dan mutasi, sedangkan pada Logika Fuzzy meliputi tahap fuzzifikasi, proses inferensi berdasarkan aturan, serta defuzzifikasi. Langkah kedua adalah melakukan perbandingan antarpelitian yang berada dalam kategori yang sama untuk mengetahui perbedaan maupun kesamaan teknik yang digunakan pada permasalahan serupa. Sebagai contoh, penelitian pada bidang optimasi rute dibandingkan berdasarkan penggunaan berbagai jenis operator crossover dan mekanisme perbaikan solusi yang diterapkan.

HASIL DAN PEMBAHASAN

1.1 Penerapan Algoritma Genetika Pada Permasalahan Rute

Hasil kajian terhadap berbagai penelitian mengenai optimasi rute menunjukkan bahwa struktur utama Algoritma Genetika tetap memiliki pola kerja yang sama, meskipun diterapkan pada kasus yang berbeda. Perbedaan utama terletak pada pemilihan operator genetik yang disesuaikan dengan kebutuhan dan karakteristik permasalahan.

Pada kasus optimasi jalur pengangkutan sampah, kromosom direpresentasikan sebagai urutan lokasi yang harus dikunjungi dengan titik awal dan akhir yang telah ditentukan. Teknik cycle crossover digunakan untuk mempertahankan keunikan setiap titik lokasi sehingga tidak terjadi pengulangan kota dalam satu rute, sementara mutasi inversi dimodifikasi agar tidak mengubah posisi titik awal dan akhir. Hasil penelitian menunjukkan bahwa pencarian solusi telah mencapai kondisi stabil sebelum batas maksimum jumlah generasi yang ditentukan, sehingga Algoritma Genetika mampu memperoleh solusi yang mendekati optimal dengan proses pencarian yang lebih efisien.

Pada permasalahan multi-Travelling Salesman Problem (multi-TSP), kompleksitas bertambah karena terdapat lebih dari satu agen yang bertugas mengunjungi sejumlah lokasi. Untuk mengatasi kondisi tersebut digunakan representasi kromosom dua bagian, yaitu bagian pertama yang menggambarkan urutan lokasi dan bagian kedua yang menentukan pembagian tugas setiap salesman. Hasil penelitian memperlihatkan bahwa peningkatan jumlah salesman tidak selalu menghasilkan

pengurangan total jarak perjalanan secara signifikan, tetapi dapat memberikan pengaruh terhadap waktu komputasi yang diperlukan selama proses pencarian solusi.

Sementara itu, penerapan Algoritma Genetika pada penjadwalan distribusi barang menggunakan metode order crossover (OX), yaitu teknik yang menjaga sebagian urutan gen dari induk dan menyusun kembali gen lainnya berdasarkan urutan kromosom pasangan. Hasil pengujian menunjukkan adanya kondisi premature convergence atau konvergensi terlalu cepat, yaitu ketika populasi solusi lebih cepat didominasi oleh satu kromosom tertentu sehingga peluang untuk menemukan alternatif solusi lain menjadi berkurang. Kondisi tersebut dipengaruhi oleh nilai probabilitas mutasi yang terlalu kecil, sehingga kemampuan eksplorasi ruang solusi menjadi terbatas.

Secara umum, keberhasilan Algoritma Genetika dalam menyelesaikan masalah optimasi rute disebabkan oleh beberapa faktor. Pertama, solusi rute dapat direpresentasikan secara alami dalam bentuk urutan atau permutasi yang sesuai dengan struktur kromosom. Kedua, kualitas solusi dapat dinilai menggunakan ukuran yang jelas seperti total jarak tempuh, sehingga proses evaluasi dapat dilakukan secara objektif. Ketiga, jumlah kemungkinan solusi meningkat secara sangat besar seiring bertambahnya jumlah lokasi, sehingga metode pencarian menyeluruh menjadi tidak praktis dan Algoritma Genetika menjadi alternatif yang efektif untuk menemukan solusi terbaik dalam waktu yang lebih efisien.

1.2 Penerapan Algoritma Genetika pada Permasalahan Penjadwalan

Berdasarkan hasil kajian terhadap berbagai penelitian mengenai penjadwalan, terlihat bahwa karakteristik permasalahan ini berbeda dengan optimasi rute. Jika pada optimasi rute tujuan utamanya adalah menentukan urutan perjalanan terbaik, maka pada penjadwalan fokus permasalahan terletak pada pencarian kombinasi pembagian waktu, sumber daya, dan fasilitas yang mampu memenuhi berbagai aturan serta batasan yang ada. Perbedaan tersebut menyebabkan perancangan fungsi fitness dalam penjadwalan menjadi lebih kompleks.

Pada kasus penyusunan jadwal perkuliahan, nilai fitness diperoleh berdasarkan tingkat pelanggaran terhadap berbagai batasan yang telah ditentukan. Batasan utama (hard constraint), seperti benturan penggunaan ruang dan jadwal dosen, harus dihindari sepenuhnya agar solusi dapat diterima. Sementara itu, batasan tambahan (soft constraint), seperti preferensi waktu tertentu, diusahakan untuk dipenuhi melalui sistem pemberian penalti. Penerapan pendekatan tersebut menunjukkan bahwa Algoritma Genetika mampu menghasilkan jadwal yang bebas dari konflik sekaligus memenuhi sebagian besar kebutuhan tambahan yang diinginkan.

Penerapan lainnya terdapat pada sistem penjadwalan pelayanan administrasi pengambilan akta kelahiran. Dalam penelitian tersebut, kromosom dirancang berdasarkan beberapa kelompok pendaftar, sedangkan fungsi objektif digunakan untuk mengukur kesesuaian jadwal yang terbentuk terhadap target yang telah ditentukan. Hasil evaluasi menunjukkan bahwa penggunaan Algoritma Genetika dapat mengurangi proses penyusunan jadwal secara manual serta membantu mencegah terjadinya benturan waktu pelayanan.

Selain itu, penelitian mengenai penjadwalan mata pelajaran sekolah dasar memberikan perhatian khusus terhadap pengaruh parameter Algoritma Genetika, seperti jumlah populasi, jumlah generasi, peluang crossover, dan probabilitas mutasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kualitas solusi tidak hanya dipengaruhi oleh pengaturan parameter algoritma, tetapi juga sangat bergantung pada karakteristik data yang diproses. Perbandingan antara jumlah tugas yang harus dijadwalkan dengan jumlah slot waktu yang tersedia memiliki peran penting dalam menentukan keberhasilan pencarian solusi.

Ketika jumlah tugas dan slot waktu berada dalam kondisi yang seimbang, Algoritma Genetika mampu menghasilkan jadwal dengan tingkat keberhasilan yang tinggi dalam waktu komputasi yang relatif singkat. Sebaliknya, jika jumlah tugas terlalu banyak dibandingkan kapasitas waktu yang tersedia, kemungkinan terjadinya konflik jadwal meningkat meskipun parameter algoritma telah disesuaikan dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa kualitas data masukan merupakan faktor penting yang dapat memengaruhi keberhasilan proses optimasi.

Dari ketiga penelitian tersebut dapat disimpulkan bahwa penerapan Algoritma Genetika pada permasalahan penjadwalan membutuhkan perancangan fungsi fitness yang lebih kompleks

dibandingkan dengan optimasi rute karena harus mempertimbangkan banyak jenis batasan secara bersamaan. Walaupun demikian, metode ini tetap mampu menghasilkan solusi penjadwalan yang efektif. Namun, dalam kondisi nyata sering ditemukan batasan yang tidak dapat dinyatakan secara mutlak, seperti tingkat kenyamanan atau preferensi seseorang terhadap waktu tertentu. Kondisi seperti ini membuka peluang penggunaan Logika Fuzzy sebagai pendekatan tambahan untuk menangani aspek yang bersifat subjektif dan tidak pasti.

1.3 Logika Fuzzy dalam Masalah Evaluasi dan Klasifikasi

Berbeda dengan Algoritma Genetika, yang menangani pencarian kombinatorial, ketiga studi Logika Fuzzy yang diteliti ini membahas masalah pemetaan variabel yang secara alami kontinu dan tumpang tindih ke dalam keputusan yang tegas. Studi tentang prioritas tugas siswa merumuskan urgensi sebagai fungsi dinamis dari sisa waktu hingga batas waktu dan kesulitan sebagai fungsi dari perkiraan jam kerja, kemudian memetakan keduanya melalui lima belas aturan Mamdani menjadi satu skor prioritas akhir pada skala nol hingga seratus [7]. Hasil simulasi pada empat belas sampel tugas menunjukkan kemampuan sistem untuk menyelesaikan situasi yang ambigu secara matematis; misalnya, dua tugas dengan tingkat urgensi yang sama tetapi tingkat kesulitan yang berbeda tetap menerima skor prioritas yang sedikit berbeda, di mana tugas yang kurang menuntut menerima prioritas yang sedikit lebih tinggi, sementara tugas dengan batas waktu yang sangat lama tetapi tingkat kesulitan tinggi tetap menerima skor prioritas rendah karena tingkat urgensinya nol. Pola ini menunjukkan kekuatan mendasar dari Logika Fuzzy: kemampuan untuk menyeimbangkan dua variabel yang saling bertentangan tanpa harus menetapkan aturan keputusan biner yang kaku, sekaligus mencegah pengguna dari kepanikan yang berlebihan terhadap tugas-tugas yang besar namun belum mendesak.

Sebuah studi mengenai deteksi tingkat depresi terkait pekerjaan pada karyawan menunjukkan penerapan Logika Fuzzy dalam konteks yang lebih mendetail, khususnya dengan menggabungkan indeks massa tubuh dan skor Patient Health Questionnaire-9 melalui dua belas aturan Sugeno untuk mengklasifikasikan tingkat depresi menjadi ringan, sedang, atau berat [8]. Hasil tes dari enam puluh responden menunjukkan bahwa 63,3 persen mengalami depresi ringan, 31,7 persen depresi sedang, dan 5 persen depresi berat, dengan masalah tidur teridentifikasi sebagai keluhan yang paling dominan. Studi ini menunjukkan bahwa Logika Fuzzy dapat menjembatani dua sumber data yang berbeda sifatnya—satu bersifat fisik-objektif (indeks massa tubuh) dan satu lagi bersifat psikologis-subjektif (skor kuesioner)—menjadi satu nilai keluaran yang dapat ditindaklanjuti secara organisasional, sesuatu yang sulit dicapai dengan pembobotan linier sederhana karena hubungan antara kedua variabel ini dan tingkat depresi tidak bersifat murni aditif.

Sebuah studi mengenai pemilihan ponsel menunjukkan penerapan Logika Fuzzy dalam konteks konsumen, yang melibatkan empat variabel masukan ukuran layar, harga, kapasitas memori, dan kamera yang diproses menggunakan inferensi Mamdani [9]. Pengujian pada satu sampel produk menghasilkan nilai keputusan sebesar 56,1 menggunakan perangkat lunak MATLAB, dibandingkan dengan 48 pada perhitungan manual, dengan kedua nilai tersebut tetap berada dalam rentang kategori “layak dipertimbangkan” yang sama. Perbedaan ini patut diperhatikan: selisih 0,8 poin pada skala 100 tidak mengubah kesimpulan akhir, yang menunjukkan bahwa sistem fuzzy memiliki toleransi terhadap variasi kecil dalam perhitungan sifat yang bermanfaat ketika sistem diterapkan oleh pengguna dengan latar belakang teknis yang beragam.

Ketiga studi evaluasi ini menegaskan bahwa kekuatan utama Logika Fuzzy terletak pada kemampuannya untuk memformalkan istilah-istilah linguistik seperti “cukup mendesak,” “tidak terlalu sehat,” atau “agak mahal” menjadi fungsi keanggotaan yang dapat dihitung, tanpa dibatasi oleh batasan-batasan buatan yang kaku. Hal ini secara mendasar berbeda dari persyaratan Algoritma Genetika, yang justru menuntut representasi solusi yang tepat dan fungsi kesesuaian yang dapat diukur secara objektif. Perbedaan inilah yang menjadi titik awal bagi kerangka kerja integrasi yang diusulkan pada subbagian berikut.

1.4 Sintesis: Kerangka Kerja Komplementer untuk Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy

Tinjauan terhadap sembilan studi kasus dan satu buku referensi teoretis menunjukkan bahwa Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy tidak seharusnya dipandang sebagai dua opsi yang saling bersaing untuk masalah yang sama, melainkan sebagai dua tahap berurutan dalam satu rantai pengambilan keputusan. Perbedaan ini dapat dirangkum melalui empat sumbu perbandingan, sebagaimana disajikan dalam Tabel 2.

Tabel 2. Perbandingan Karakteristik Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy

Aspek	Algoritma Genetika	Logika Fuzzy
Jenis kesulitan yang diatasi	Ruang solusi terlalu luas untuk diperiksa satu per satu	Kriteria terlalu kabur untuk dihitung secara presisi
Sifat keluaran	Satu solusi konkret (urutan, alokasi, susunan)	Satu nilai/derajat penilaian atas pilihan yang sudah ada
Kebutuhan data	Fungsi fitness terukur secara objektif (jarak, jumlah pelanggaran)	Variabel linguistik dengan rentang dan derajat keanggotaan
Contoh dari studi yang ditelaah	Rute sampah [1], multi-TSP [2], jadwal kuliah [4]	Prioritas tugas [7], deteksi depresi [8], pemilihan ponsel [9]
Risiko utama	Konvergensi dini bila mutasi terlalu rendah [3]	Basis aturan tidak lengkap bila variabel input bertambah

Dari perbandingan ini, dapat diidentifikasi tiga skenario integrasi yang relevan bagi pengembangan sistem pendukung keputusan di masa depan. Skenario pertama adalah “Algoritma Genetika sebagai penentu rute, Logika Fuzzy sebagai penilai,” yang cocok untuk aplikasi seperti rute pengumpulan sampah: Algoritma Genetika menghasilkan beberapa rute kandidat berdasarkan jarak, kemudian Logika Fuzzy mengevaluasi kelayakan operasional setiap kandidat berdasarkan variabel non-jarak seperti tingkat kemacetan lalu lintas atau tingkat urgensi keluhan warga, sehingga keputusan akhir tidak hanya didasarkan pada jarak terpendek, tetapi juga pada kelayakan secara keseluruhan.

Skenario kedua adalah “Logika Fuzzy sebagai Penyaring, Algoritma Genetika sebagai Kompiler,” yang relevan untuk kasus seperti penjadwalan mata kuliah atau mata pelajaran: sebelum proses pencarian kombinatorial dimulai, Logika Fuzzy dapat terlebih dahulu mengubah preferensi linguistik para dosen atau guru seperti “keengganan mengajar di pagi hari” menjadi bobot penalti numerik yang kemudian dapat diproses secara langsung oleh fungsi kesesuaian Algoritma Genetika, sehingga memungkinkan adanya batasan lunak yang secara tradisional ditangani secara biner dalam literatur yang diteliti [4]—untuk direpresentasikan dengan cara yang lebih bernuansa.

Skenario ketiga melibatkan penggunaan secara paralel tanpa interaksi langsung namun dengan penguatan timbal balik pada tingkat organisasi, sebagaimana tercermin dalam sebuah studi mengenai deteksi depresi terkait pekerjaan [8], yang hasilnya dapat berfungsi sebagai salah satu variabel masukan untuk sistem penjadwalan kerja berbasis Algoritma Genetika misalnya, untuk menghindari penugasan beban kerja berat kepada karyawan yang terdeteksi mengalami depresi sedang hingga berat, suatu kombinasi yang belum ditemukan dalam sembilan studi yang ditinjau namun secara logis dapat disimpulkan dari temuan yang tersedia.

Kerangka kerja komplementer ini semakin diperkuat oleh posisi Algoritma Genetika dalam keluarga algoritma metaheuristik yang lebih luas. Sebagaimana ditunjukkan oleh tinjauan mengenai Tabu Search untuk TSP, Algoritma Genetika bukanlah satu-satunya pendekatan pencarian berbasis populasi atau berbasis lintasan untuk masalah kombinatorial [11]; oleh karena itu, klaim keunggulan Algoritma Genetika dalam studi-studi yang ditinjau harus ditafsirkan secara proporsional—yaitu, unggul untuk karakteristik masalah tertentu (permutasi dengan kebugaran yang dapat diukur), bukan secara universal lebih unggul dibandingkan dengan semua algoritma pencarian lainnya. Pemahaman ini penting agar kerangka kerja integrasi yang diusulkan tidak terjebak dalam asumsi bahwa Algoritma

Genetika adalah satu-satunya komponen pencarian yang valid; pada prinsipnya, peran “mesin pencari” dalam kerangka kerja ini dapat diisi oleh algoritma metaheuristik lainnya selama karakteristik masalahnya sesuai.

KESIMPULAN

Tinjauan terhadap sembilan studi kasus mengenai penerapan Algoritma Genetika dan Logika Fuzzy, beserta satu buku rujukan tentang teori fuzzy dan satu studi perbandingan mengenai algoritma metaheuristik lainnya, menunjukkan bahwa kedua pendekatan komputasi lunak ini menangani dua jenis tantangan pengambilan keputusan yang secara mendasar berbeda namun saling melengkapi. Algoritma Genetika telah terbukti secara konsisten efektif untuk masalah yang dapat dirumuskan sebagai masalah pencarian kombinatorial dengan fungsi kesesuaian yang dapat diukur secara objektif, sebagaimana ditunjukkan dalam enam studi perencanaan rute dan penjadwalan yang diteliti, dengan catatan bahwa kualitas solusi yang dihasilkan tetap dipengaruhi oleh pemilihan operator genetika yang sesuai dengan konteks dan oleh struktur data masukan itu sendiri, bukan semata-mata oleh parameter algoritma. Di sisi lain, Logika Fuzzy telah terbukti secara konsisten efektif untuk masalah evaluasi dan klasifikasi yang melibatkan kriteria linguistik dan data ambigu, sebagaimana ditunjukkan dalam tiga studi evaluasi yang diteliti, dengan kemampuan khas untuk menyeimbangkan variabel-variabel yang saling bertentangan tanpa memberlakukan batasan keputusan yang kaku.

Kontribusi utama artikel ini adalah kerangka kerja komplementer yang memposisikan Algoritma Genetika sebagai mesin pencari solusi dan Logika Fuzzy sebagai penilai kelayakan solusi, yang dapat diintegrasikan melalui tiga skenario: Algoritma Genetika sebagai mesin pencari dengan Logika Fuzzy sebagai penilai dalam kasus perutean; Logika Fuzzy sebagai penyaring preferensi dengan Algoritma Genetika sebagai penjadwal dalam kasus penjadwalan; serta penggunaan paralel pada tingkat organisasi untuk kasus-kasus yang melibatkan penilaian kondisi manusia. Kerangka kerja ini diharapkan dapat menjadi titik awal bagi penelitian lebih lanjut yang secara eksplisit mengembangkan sistem hibrida Genetika-Fuzzy, alih-alih terus memperlakukan kedua pendekatan tersebut sebagai dua aliran metodologis terpisah yang beroperasi secara independen.

Artikel ini memiliki keterbatasan karena merupakan tinjauan pustaka naratif-tematik yang tidak melakukan pengujian empiris baru; oleh karena itu, kerangka kerja integrasi yang diusulkan masih berada pada tingkat konseptual dan memerlukan validasi melalui implementasi sistem hibrida yang sebenarnya. Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji secara empiris salah satu dari tiga skenario integrasi yang diusulkan, misalnya dengan membangun prototipe sistem rute pengumpulan sampah yang menggabungkan pencarian rute berbasis Algoritma Genetika dengan penilaian kelayakan operasional berbasis Logika Fuzzy, sehingga keunggulan yang diklaim dari kerangka kerja komplementer ini dapat diuji menggunakan data dunia nyata dan kondisi lapangan.

SARAN

Berdasarkan sintesis penelitian mengenai penerapan Algoritma Genetika pada masalah optimasi rute (seperti TSP) dan penggunaan Logika Fuzzy untuk evaluasi, penulis menyarankan beberapa langkah pengembangan bagi peneliti selanjutnya:

1. Pengembangan Sistem Hibrida Rute-Evaluasi: Peneliti selanjutnya disarankan untuk membangun sistem prototipe yang menggabungkan Algoritma Genetika sebagai mesin pencari rute (TSP) dengan Logika Fuzzy sebagai mekanisme penilai kelayakan operasional. Hal ini akan mengatasi keterbatasan optimasi rute konvensional yang hanya berfokus pada jarak, dengan menambahkan variabel kualitatif seperti tingkat kemacetan, kondisi cuaca, atau urgensi layanan.
2. Optimalisasi Representasi Kromosom untuk Kasus Multi-TSP: Mengingat tantangan dalam Multi-Travelling Salesman Problem (multi-TSP) yang melibatkan pembagian tugas antar agen, disarankan untuk mengeksplorasi representasi kromosom yang lebih adaptif dalam memetakan rute sekaligus beban kerja, guna menghindari premature convergence yang sering terjadi pada operator crossover standar.

3. Integrasi Batasan Lunak (Soft Constraints): Pada kasus penjadwalan dan rute, penelitian selanjutnya dapat menerapkan Logika Fuzzy untuk mentransformasi preferensi linguistik (seperti "waktu tempuh yang ideal" atau "preferensi jadwal dosen") menjadi bobot penalti numerik yang lebih fleksibel bagi fungsi fitness Algoritma Genetika.
4. Validasi pada Data Lapangan yang Dinamis: Mengingat banyak studi yang masih menggunakan data simulasi atau skala kecil, disarankan untuk menguji kerangka kerja integrasi yang diusulkan pada data lapangan yang lebih dinamis untuk melihat sejauh mana ketahanan sistem terhadap perubahan parameter di dunia nyata.

DAFTAR PUSTAKA

- M. D. A. C. Hasibuan dan Lusiana, "Pencarian Rute Terbaik pada Travelling Salesman Problem (TSP) Menggunakan Algoritma Genetika pada Dinas Kebersihan dan Pertamanan Kota Pekanbaru," SATIN – Sains dan Teknologi Informasi, vol. 1, no. 1, hlm. 35–45, Jun. 2015.
- N. K. Mayuliana, E. N. Kencana, dan L. P. I. Harini, "Penyelesaian Multi Traveling Salesman Problem dengan Algoritma Genetika," E-Jurnal Matematika, vol. 6, no. 1, hlm. 1–6, 2017.
- H. Tannady dan A. V. Limas, "Perancangan Aplikasi Penjadwalan Traveling Salesman Problem dengan Algoritma Genetika," ComTech, vol. 3, no. 2, hlm. 977–982, Des. 2012.
- F. Mone dan J. E. Simarmata, "Aplikasi Algoritma Genetika dalam Penjadwalan Mata Kuliah," BAREKENG: Jurnal Ilmu Matematika dan Terapan, vol. 15, no. 4, hlm. 615–628, Des. 2021.
- S. F. Pane, R. M. Awangga, E. V. Rahmadani, dan S. Permana, "Implementasi Algoritma Genetika untuk Optimalisasi Pelayanan Kependudukan," Jurnal Tekno Insentif, vol. 13, no. 2, hlm. 36–43, Okt. 2019.
- L. A. Pangestu, S. H. Suryawan, dan A. J. Latipah, "Penerapan Algoritma Genetika dalam Penjadwalan Mata Pelajaran," Jurnal Informatika, vol. 10, no. 2, hlm. 194–205, Okt. 2023.
- D. P. Immanuel dan Y. Widiyanto, "Model Logika Fuzzy Mamdani untuk Optimasi Pengambilan Keputusan Prioritas Tugas Mahasiswa," Jurnal Sistem Cerdas dan Rekayasa (JSCR), vol. 7, no. 2, hlm. J5-1–J5-10, Okt. 2025.
- M. Daffa dan Sriani, "Penerapan Logika Fuzzy Sugeno untuk Deteksi Tingkat Depresi Kerja Karyawan," Jurnal Teknologi Sistem Informasi dan Aplikasi, vol. 6, no. 3, hlm. 484–493, Jul. 2023.
- B. I. Nugroho, Gunawan, dan M. A. Triwinanto, "Penerapan Fuzzy Mamdani untuk Sistem Pendukung Keputusan Pemilihan Telepon Seluler," Jurnal Teknik Elektro dan Informatika, vol. 18, no. 2, hlm. 67–73, Okt. 2023.
- [Penulis tidak tercantum pada salinan yang ditelaah], Logika Fuzzy. [t.k.]: [t.p.], [t.t.].
- I. Gunawan dkk., Monograf Algoritma Tabu Search dalam Kasus Traveling Salesman Problem. Padang: Penerbit Adab, 2022.