

Optimalisasi Waktu Komputasi Algoritma Genetika dengan Variasi Probabilitas Mutasi pada Penjadwalan Kuliah

Optimization of Genetic Algorithm Computation Time with Mutation Probability Variations in Course Scheduling

Rudi Salman
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
rudisalman@unimed.ac.id

Suprpto
Jurusan Pendidikan Teknik
Mesin
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
suprpto@unimed.ac.id

Irfandi
Jurusan Pendidikan Fisika
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
irfandi@unimed.ac.id

Olnes Y Hutajulu
Program Studi Teknik Elektro
Universitas Negeri Medan
Medan, Indonesia
olnes.hutajulu@unimed.ac.id

Diterima : November 2024
Disetujui : Desember 2024
Dipublikasi : Januari 2025

Abstrak— Waktu komputasi dalam Algoritma Genetika (AG) sering kali memerlukan waktu yang lama akibat kompleksitas komputasi yang dikerjakan. Oleh karena itu, perlu dilakukan upaya untuk mengoptimalkan waktu komputasi AG, khususnya dalam perencanaan jadwal kuliah di Program Studi Teknik Elektro Universitas Negeri Medan, yang menjadi objek penelitian. Salah satu upaya yang dapat dilakukan adalah dengan menentukan nilai probabilitas mutasi (P_m) yang tepat. Penelitian ini menggunakan Metode Variasi Probabilitas Mutasi, di mana nilai P_m dibatasi antara 0 hingga 1 dan divariasikan dari nilai minimum 0,01 (1%) hingga nilai maksimum 0,1 (10%). Simulasi dilakukan menggunakan perangkat lunak Matlab R2012b, dengan parameter konstan yaitu ukuran populasi 100 dan probabilitas crossover (P_c) 0,85. Proses iterasi dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh P_m terhadap waktu komputasi dan performa solusi. Hasil simulasi menunjukkan bahwa pada $P_m = 0,06$, Algoritma Genetika mencapai waktu komputasi tercepat, yaitu 0,382 detik. Penelitian ini juga mengidentifikasi bahwa waktu komputasi AG sangat dipengaruhi oleh parameter algoritma dan kompleksitas masalah yang dihadapi. Dengan pemilihan P_m yang tepat, keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi dapat dicapai, sehingga waktu komputasi berkurang tanpa mengorbankan kualitas solusi. Penelitian ini memberikan kontribusi signifikan dalam pengembangan algoritma yang lebih efisien untuk aplikasi optimasi penjadwalan kuliah.

Kata Kunci—Algoritma Genetika; matlab R2012b; mutasi; optimasi; penjadwalan kuliah

Abstract—Genetic Algorithm (GA) often requires a long computation time due to the complexity of its processes. Therefore, efforts are needed to optimize GA computation time, particularly in scheduling lectures at the Electrical Engineering Study Program of Universitas Negeri Medan, which is the focus of this research. One possible approach is determining the appropriate mutation probability (P_m) value. This study employs the Mutation Probability Variation Method, where P_m is constrained between 0 and 1 and varied from a minimum value of 0.01 (1%) to a maximum value of 0.1 (10%). Simulations were conducted using Matlab R2012b, with constant parameters including a population size of 100 and a crossover probability (P_c) of 0.85. Iterations were

performed to evaluate the effect of P_m on computation time and solution performance. The results show that at $P_m = 0.06$, the Genetic Algorithm achieved the fastest computation time, averaging 0.382 seconds. This study also identifies that GA computation time is significantly influenced by algorithm parameters and the complexity of the problem. By selecting an appropriate P_m , a balance between exploration and exploitation can be achieved, reducing computation time without sacrificing solution quality. This research contributes significantly to the development of more efficient algorithms for optimization applications, particularly in lecture scheduling.

Keywords: Genetic algorithm; matlab R2012b; mutation; optimization; course scheduling

I. PENDAHULUAN

Algoritma Genetika (AG) adalah metode optimasi berbasis pada prinsip seleksi dan genetika alami, yang dirancang untuk menemukan solusi optimal melalui pemilihan, reproduksi, dan variasi dalam generasi populasi. Pada awalnya, AG digunakan untuk menemukan parameter optimal dalam pemecahan masalah sederhana, tetapi seiring waktu, penggunaannya telah berkembang ke berbagai bidang, seperti pembelajaran mesin, pemrograman otomatis, dan prediksi dalam sistem kompleks [1]. Dengan pendekatan yang mirip dengan evolusi biologis, AG meniru proses seleksi alam dalam menghasilkan solusi terbaik yang dipilih dari populasi awal yang dibangun secara acak. Struktur AG umumnya terdiri dari inisialisasi populasi, evaluasi nilai fitness, seleksi, crossover, mutasi, dan penggantian generasi [2].

Mutasi adalah salah satu operator utama dalam AG, yang berfungsi mengubah nilai satu atau lebih gen dalam kromosom untuk menghasilkan individu baru dengan modifikasi genetik. Proses ini penting dalam menjaga keberagaman genetik dalam populasi dan membantu menggantikan gen yang hilang selama seleksi, serta menambah gen baru yang mungkin tidak ada pada populasi awal [3]. Mutasi dipengaruhi oleh nilai probabilitas mutasi

(Pm), di mana nilai Pm yang tepat akan menghasilkan variasi genetik yang seimbang, sehingga menjaga keragaman tanpa menyebabkan perubahan yang tidak perlu pada solusi yang telah dioptimalkan. Dalam hal ini, Pm memiliki peran penting sebagai salah satu parameter yang mempengaruhi efisiensi AG.

Selain mutasi, dua operator utama lain dalam AG adalah probabilitas *crossover* (Pc) dan ukuran populasi, yang bersama-sama memengaruhi proses pencarian solusi optimal. Probabilitas *crossover* (Pc) menentukan seberapa sering pasangan induk akan melakukan pertukaran gen untuk membentuk keturunan baru, sementara ukuran populasi menentukan seberapa besar variasi solusi yang dihasilkan pada setiap generasi. Kombinasi ketiga parameter yaitu Pm, Pc, dan ukuran populasi menjadi faktor yang signifikan dalam menentukan kecepatan AG mencapai solusi optimal [4]. Optimalisasi waktu komputasi AG sangat penting dalam memastikan bahwa solusi dapat ditemukan dalam waktu yang efisien, khususnya dalam aplikasi yang memerlukan hasil cepat seperti penjadwalan kuliah.

Penjadwalan kuliah adalah proses kompleks yang melibatkan pengalokasian sumber daya, seperti dosen dan ruangan, sesuai dengan batasan waktu yang tersedia. Setiap awal semester, institusi pendidikan menghadapi tantangan dalam menyusun jadwal yang sesuai dengan ketersediaan dosen, ruangan, dan waktu kuliah, tanpa adanya bentrokan. AG telah banyak digunakan dalam membantu optimasi penjadwalan ini, di mana mutasi dan variasi genetik berperan dalam menghasilkan individu yang lebih adaptif dalam memenuhi kebutuhan penjadwalan kuliah yang tidak bertabrakan. Dalam hal ini, mutasi berfungsi meningkatkan kualitas kromosom baru sehingga diharapkan menghasilkan solusi yang lebih baik [5].

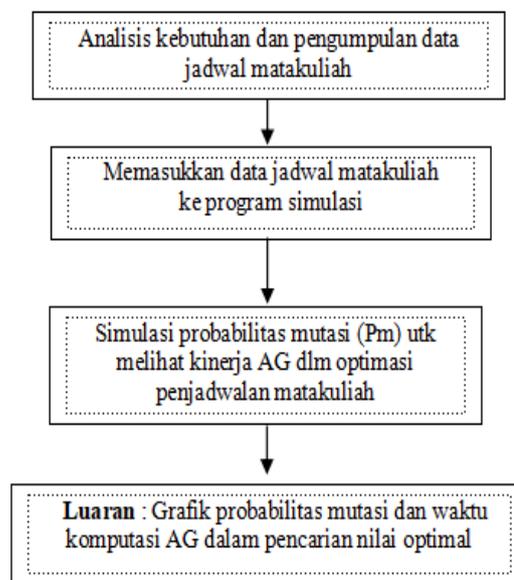
Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan waktu komputasi dalam AG melalui variasi nilai Pm, dengan simulasi menggunakan Matlab R2012b. Analisis dilakukan dengan menjaga parameter Pc sebesar 0,85 dan ukuran populasi tetap 100 pada setiap variasi nilai Pm yang berkisar antara 0,01 hingga 0,1. Tujuannya adalah menemukan nilai Pm optimal yang menghasilkan waktu komputasi terbaik dalam konteks penjadwalan kuliah di program studi Teknik Elektro Universitas Negeri Medan (Unimed) pada tahun akademik 2024/2025. Hasil dari penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi pada pengembangan algoritma yang lebih efisien dalam aplikasi optimasi, terutama dalam penyusunan jadwal yang menuntut solusi yang cepat dan akurat.

II. METODE

A. Tahapan Penelitian

Penelitian ini dimulai dengan analisis kebutuhan dan pengumpulan data jadwal mata kuliah. Data yang dikumpulkan mencakup informasi mengenai waktu, ruangan, dosen, dan mata kuliah yang akan dijadwalkan. Data ini kemudian dimasukkan ke dalam program simulasi (Matlab) untuk memfasilitasi proses optimasi. Program simulasi ini menggunakan Algoritma Genetika (AG) untuk memproses data dan mencari solusi optimal dalam penjadwalan. Dengan memasukkan data ini, program dapat mengidentifikasi berbagai kemungkinan penjadwalan yang memenuhi syarat dan siap untuk disimulasikan.

Tahap berikutnya adalah melakukan simulasi dengan memvariasikan probabilitas mutasi (Pm) dalam Algoritma Genetika. Tujuan dari variasi ini adalah untuk melihat pengaruh probabilitas mutasi terhadap kinerja AG dalam mencapai solusi optimal serta efisiensi waktu komputasi. Hasil dari proses ini kemudian divisualisasikan dalam bentuk grafik yang menunjukkan hubungan antara probabilitas mutasi dan waktu komputasi. Grafik ini diharapkan memberikan wawasan tentang efisiensi AG dalam mencari solusi optimal untuk penjadwalan mata kuliah. Tahapan penelitian ini dapat di lihat pada Gambar.



Gambar 1. Bagan tahapan penelitian

B. Algoritma Genetika (AG)

Algoritma Genetika (AG) merupakan metode optimasi yang meniru prinsip seleksi alam dalam teori evolusi. Berdasarkan diagram alir di atas, AG dimulai dengan Memasukkan Data yang berfungsi sebagai input awal untuk proses optimasi. Input data ini dapat berupa parameter dan variabel yang relevan dengan permasalahan yang akan diselesaikan. Data tersebut kemudian diproses pada tahap berikutnya, yaitu Proses Data Masukan, untuk memastikan bahwa data telah sesuai dan siap untuk diolah menjadi kromosom. Langkah awal ini sangat penting untuk memastikan data awal yang berkualitas agar proses optimasi berjalan dengan efisien dan akurat [6-8].

Tahap selanjutnya adalah Pembuatan Kromosom dari Populasi, di mana populasi awal dibentuk dengan mengonversi data yang telah diproses menjadi bentuk kromosom. Kromosom ini adalah representasi dari solusi potensial yang dihasilkan secara acak. Proses pembentukan populasi ini penting karena AG bekerja dengan populasi solusi, bukan hanya satu solusi saja. Dengan adanya variasi dalam populasi awal, algoritma memiliki peluang lebih besar untuk mengeksplorasi ruang solusi secara menyeluruh dan menghindari terjebak dalam solusi lokal [9-10].

Setelah populasi terbentuk, setiap kromosom akan melalui proses Evaluasi *Fitness*. Evaluasi *fitness* ini dilakukan untuk mengukur seberapa baik setiap kromosom dalam memenuhi tujuan optimasi yang diinginkan. Nilai *fitness* ini menunjukkan kualitas setiap solusi dalam populasi.

Kromosom dengan nilai fitness yang tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih dalam tahap seleksi berikutnya. Evaluasi ini sangat krusial karena menentukan kromosom mana yang akan diteruskan ke generasi berikutnya, sehingga memastikan bahwa hanya solusi terbaik yang dipertahankan dan dikembangkan lebih lanjut [11].

Pemilihan kromosom dilakukan pada tahap seleksi dengan nilai fitness terbaik yang akan digunakan dalam proses reproduksi. Dalam seleksi ini, kromosom yang dipilih akan mengalami proses *crossover* untuk membentuk reproduksi kromosom baru. *Crossover* adalah proses kombinasi antara dua kromosom induk yang berbeda untuk menghasilkan kromosom anak yang memiliki karakteristik dari kedua induk tersebut. Langkah ini penting untuk mengeksplorasi solusi baru dalam ruang pencarian, sehingga meningkatkan kemungkinan menemukan solusi yang optimal [12]. Proses ini sering kali dilengkapi dengan mekanisme probabilitas yang memastikan bahwa kromosom dengan fitness lebih tinggi memiliki peluang lebih besar untuk dipilih.

Tahap terakhir adalah Mutasi dan Cek Kondisi. Mutasi dilakukan untuk memperkenalkan variasi dalam kromosom yang telah dihasilkan dari proses reproduksi. Variasi ini membantu mencegah konvergensi prematur dan memperluas ruang pencarian, yang pada akhirnya meningkatkan peluang menemukan solusi optimal [13]. Setelah mutasi, algoritma akan melakukan pengecekan kondisi untuk menentukan apakah kriteria berhenti telah tercapai, seperti jumlah generasi maksimum atau nilai fitness tertentu. Jika kondisi berhenti belum terpenuhi, maka AG akan kembali mengulangi siklus dari evaluasi fitness hingga proses selesai. Dengan siklus yang berulang ini, Algoritma Genetika berusaha meminimalkan fungsi objektif dan mencapai solusi yang optimal [14].

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Probabilitas Mutasi dan Waktu Komputasi

Pada penelitian ini dilakukan analisis dampak perubahan nilai probabilitas mutasi terhadap waktu komputasi. Nilai probabilitas mutasi (P_m) pada penelitian ini di variasikan dalam interval 0,01 hingga 0,1. Hasil variasi ini kemudian dimasukkan pada program Algoritma Genetika yang sudah dikembangkan pada piranti lunak yaitu Matlab untuk kemudian disimulasikan. Setelah simulasi selesai dilakukan maka akan diperoleh waktu komputasi yang diperlihatkan pada Tabel 1.

TABEL.1 VARIASI NILAI PROBABILITAS MUTASI

No	Probabilitas Mutasi (P_m)
1.	0.1
2.	0.09
3.	0.08
4.	0.07
5.	0.06
6.	0.05
7.	0.04
8.	0.03
9.	0.02
10.	0.01

Variasi nilai probabilitas mutasi (P_m) pada Tabel digunakan dalam optimisasi waktu komputasi Algoritma Genetika pada penjadwalan kuliah di penelitian ini. Metode ini didasarkan pada ketentuan bahwa nilai P_m secara teoritis dibatasi pada rentang 0 hingga 1, dengan batas maksimum yang umum digunakan dalam penelitian adalah 10% atau 0,1. Rentang ini dipilih karena mutasi berfungsi menjaga keragaman populasi agar algoritma tidak mengalami konvergensi dini. Nilai P_m yang terlalu tinggi (di atas 10%) akan membuat perubahan kromosom terlalu acak sehingga sulit mencapai solusi optimal, sedangkan nilai yang terlalu rendah (mendekati nol) akan menyebabkan kurangnya variasi dan berpotensi terjebak pada solusi lokal [15].

Metode ini membatasi nilai P_m divariasikan dari 0,1 (10%) hingga 0,01 (1%) secara bertahap. Pemilihan rentang ini memungkinkan keseimbangan antara eksplorasi (mencari solusi baru) dan eksploitasi (menyempurnakan solusi yang ada). Nilai P_m yang lebih tinggi pada awal iterasi membantu meningkatkan keragaman populasi, sedangkan nilai yang lebih rendah membantu algoritma fokus pada solusi yang lebih optimal saat mendekati konvergensi. Dengan batas maksimum 10%, metode ini memastikan nilai P_m tetap dalam rentang yang efektif dan efisien untuk implementasi Algoritma Genetika pada permasalahan penjadwalan kuliah.

Sebelumnya telah dilakukan penelitian untuk mempercepat waktu mutasi dengan melakukan variasi nilai probabilitas *crossover* terhadap waktu komputasi [16]. Berdasarkan penelitian tersebut, nilai probabilitas *crossover* ternyata benar mempengaruhi waktu komputasi. Sehingga ada kemungkinan nilai probabilitas mutasi juga dapat mempengaruhi waktu komputasi.

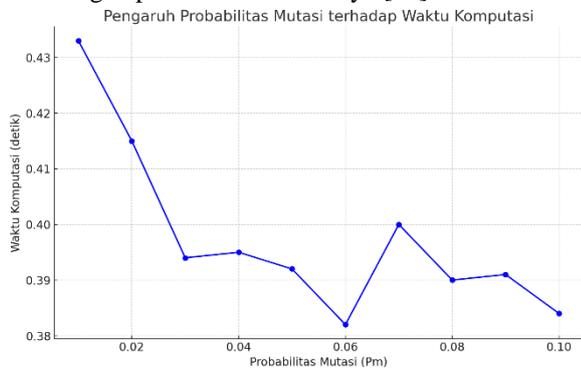
Pada penelitian ini, selain dilakukan variasi nilai P_m , parameter lain yang ditetapkan adalah probabilitas *crossover* (P_c) sebesar 0.85, dan ukuran populasi 100. Sedangkan metode seleksi yang digunakan adalah metode roda rolet (*roulette wheel*) [17]. Setelah semua parameter ditetapkan kemudian dilakukan simulasi yang hasilnya diperlihatkan pada Tabel 1.

Hasil simulasi pada Tabel 1 menunjukkan hubungan antara variasi nilai probabilitas mutasi (P_m) dengan waktu komputasi yang diperlukan dalam proses Algoritma Genetika (AG) untuk optimasi penjadwalan mata kuliah. Dari tabel ini, dapat diamati bahwa variasi nilai P_m dari 0.01 hingga 0.1 menghasilkan perbedaan waktu komputasi yang relatif kecil, berkisar antara 0.384 hingga 0.433 detik. Secara umum, peningkatan nilai P_m tidak selalu sejalan dengan peningkatan atau penurunan waktu komputasi. Hal ini menunjukkan adanya variasi yang perlu diteliti lebih lanjut.

Pada probabilitas mutasi yang rendah, seperti 0.01, waktu komputasi mencapai 0.433 detik, sedangkan pada nilai P_m yang lebih tinggi, seperti 0.1, waktu komputasi menurun menjadi 0.384 detik. Namun, waktu komputasi pada nilai P_m tertentu, seperti 0.07, mengalami sedikit peningkatan menjadi 0.4 detik, yang menunjukkan adanya fluktuasi yang mungkin disebabkan oleh interaksi antara nilai mutasi dan dinamika dalam proses AG. Secara keseluruhan, hasil ini menunjukkan bahwa ada nilai probabilitas mutasi optimal yang dapat meminimalkan waktu komputasi tanpa mengorbankan kualitas hasil dari optimasi.

Fluktuasi waktu komputasi berdasarkan perubahan nilai probabilitas mutasi semakin jelas jika di lihat pada Grafik 1. Secara umum, waktu komputasi cenderung berada di kisaran

0.38 hingga 0.43 detik untuk berbagai nilai P_m , dengan waktu terendah dicapai pada P_m 0.1. Hasil ini menunjukkan bahwa ada titik optimal pada nilai P_m tertentu yang dapat mempercepat waktu komputasi tanpa mengorbankan kualitas hasil. Peningkatan nilai mutasi dapat mempercepat waktu komputasi hingga titik tertentu sebelum akhirnya menyebabkan peningkatan kompleksitas komputasi yang memperlambat proses konvergensi yang mana hasil ini sejalan dengan penelitian sebelumnya [18].



Gambar 1. Grafik variasi nilai probabilitas mutasi dan waktu komputasi.

Hasil penelitian ini dapat menjadi rujukan untuk penelitian selanjutnya terkait percepatan waktu komputasi dengan mempertimbangkan nilai P_m . Bahwa untuk mendapatkan waktu komputasi yang cepat khususnya dalam penjadwalan mata kuliah tanpa menurunkan kualitas hasil perlu dilakukan optimalisasi nilai probabilitas mutasi terlebih dahulu.

IV. KESIMPULAN

Penelitian ini bertujuan untuk mengoptimalkan waktu komputasi Algoritma Genetika yang digunakan untuk penjadwalan mata kuliah di Program Studi Teknik Elektro UNIMED. Optimalisasi waktu komputasi dilakukan dengan merubah nilai probabilitas mutasi (P_m) dari 0.01 hingga 0.1. Hasil penelitian menunjukkan bahwa dengan P_m di kisaran 0.01 hingga 0.1, probabilitas *crossover* (P_c) sebesar 0.85, dan ukuran populasi 100, waktu komputasi tercepat yang tercapai adalah 0.382 detik pada $P_m = 0.06$. Hal ini mengindikasikan bahwa pemilihan nilai P_m yang tepat dapat mempercepat proses komputasi AG tanpa mengorbankan kualitas solusi yang dihasilkan. Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar variasi parameter lain, seperti metode seleksi yang berbeda dan ukuran populasi, dieksplorasi lebih lanjut. Dengan memvariasikan parameter-parameter tersebut, diharapkan dapat ditemukan konfigurasi yang lebih optimal untuk meningkatkan efisiensi waktu komputasi AG dalam aplikasi penjadwalan mata kuliah. Temuan ini menjadi dasar bagi pengembangan algoritma yang lebih efisien dalam menghadapi tantangan penjadwalan akademik yang semakin kompleks.

UCAPAN TERIMA KASIH

Peneliti menyampaikan ucapan terima kasih yang tulus kepada Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Medan yang telah memberikan dukungan finansial bagi pelaksanaan riset ini. Penelitian ini dapat terlaksana berkat bantuan yang diberikan melalui Surat Keputusan Ketua Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat Universitas Negeri Medan dengan Nomor:136/UN33.8/PPKM/PD/2024, yang memberikan

kepercayaan kepada peneliti untuk melaksanakan proyek ini sesuai jadwal yang telah ditentukan. Peneliti mengapresiasi kontribusi dan komitmen LPPM dalam mendorong kemajuan riset di lingkungan Universitas Negeri Medan, yang juga berdampak positif pada peningkatan kualitas akademik serta pengembangan ilmu pengetahuan.

REFERENSI

- [1] Rifky S, Kharisma LP, Afendi HA, Napitupulu S, Ulina M, Lestari WS, Maysanjaya IM, Kelvin K, Sinaga FM, Muchtar M, Judijanto L. Artificial Intelligence: Teori dan Penerapan AI di Berbagai Bidang. PT. Sonpedia Publishing Indonesia; 2024.
- [2] Utomo DW, Kurniawan D, Sani RR. Pemodelan Algoritma Genetika dalam Pengelompokan Siswa Pada Kolaborasi Tim Proyek Perangkat Lunak. In: Seri Prosiding Seminar Nasional Dinamika Informatika 2020.
- [3] Halawa F. Penerapan Algoritma Genetika Dan Backpropagation Neural Network Untuk Memprediksi Jumlah Penduduk Kota Medan. Informasi dan Teknologi Ilmiah (INTI). 2020.
- [4] Amri F. Spatial decision support system dynamic menggunakan topsis-algoritma genetika untuk menentukan tingkat kerusakan sektor pasca bencana (Doctoral dissertation, Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim).
- [5] Sari EY, Rahmawati T. Pemodelan Sistem Optimasi Penjadwalan Matakuliah Dengan Algoritma Genetika. TEKNIMEDIA: Teknologi Informasi dan Multimedia. 2023.
- [6] Hassan A, Bass O, Masoum MA. An improved genetic algorithm based fractional open circuit voltage MPPT for solar PV systems. Energy Reports. 2023.
- [7] Ghezalbash R, Maghsoudi A, Shamekhi M, Pradhan B, Daviran M. Genetic algorithm to optimize the SVM and K-means algorithms for mapping of mineral prospectivity. Neural Computing and Applications. 2023.
- [8] Costa-Carrapiço I, Raslan R, González JN. A systematic review of genetic algorithm-based multi-objective optimisation for building retrofitting strategies towards energy efficiency. Energy and Buildings. 2020.
- [9] Alam T, Qamar S, Dixit A, Benaida M. Genetic algorithm: Reviews, implementations, and applications. arXiv preprint arXiv:2007.12673. 2020.
- [10] Wu P, He Y, Li Y, He J, Liu X, Wang Y. Multi-objective optimisation of machining process parameters using deep learning-based data-driven genetic algorithm and TOPSIS. Journal of Manufacturing Systems. 2022.
- [11] Pangestu LA, Suryawan SH, Latipah AJ. Penerapan Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Pelajaran. Jurnal Informatika. 2023, pp.194-205.
- [12] Pratama Y. Optimalisasi Penjadwalan Karyawan Paruh Waktu Berdasarkan Nilai Fitness Terbaik Menggunakan Algoritma Genetika. Jurnal Nasional Informatika (Junif). 2021, pp.114-42.
- [13] Hatim HA, Ahmad F. Pendekatan Algoritma Genetika Dalam Upaya Optimalisasi Penjadwalan Di Pt. Nuansa Indah. JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri. 2022 pp.145-54.
- [14] Mubarok AY, Chotijah U. Application of Genetic Algorithm to Find the Shortest Path Combination Optimization in the Case of the Traveling Salesman Problem. Jurnal Teknologi Terpadu. 2021, pp.77-82.
- [15] Rivera, Martín Montes, Alberto Ochoa-Zezzatti, and Sebastián Pérez Serna. "Embedded system for model characterization developing intelligent controllers in industry 4.0." Artificial Intelligence and Industry 4.0. Academic Press, 2022. 57-91.
- [16] Salman R, Irfandi I, Suprpto S, Rahman S, Herdianto H. Analysis of Crossover Probability on Genetic Algorithm Performance in Optimizing Course Scheduling in the Unimed Electrical Engineering Study Program. In: Proceedings of the 5th International

Conference on Innovation in Education, Science, and Culture, ICIESC 2023, 24 October 2023.

- [17] Pratiwi AI, Triana NN, Sayuti M, Hakim A, Adetia D, Nurohman AR, Pazri S. Penentuan rute terbaik pendistribusian produk wafer dengan metode algoritma genetika (studi kasus di perusahaan jasa pergudangan produk wafer Karawang). *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*. 2023, pp.69-75.
- [18] Meliana C. Perbandingan Metode Long Short-Term Memory (LSTM) DAN Genetic Algorithm-Long Short-Term Memory (GA-LSTM) Pada Peramalan Polutan Udara (Doctoral dissertation, Universitas Muhammadiyah Semarang).