

Perbandingan Genetic Algorithm dan Ant Colony Optimization dalam Optimasi Penjadwalan Perawat di Rumah Sakit

Sri Dewi¹, Afrizal Hasan²

¹Ilmu Komputer, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan

²Keperawatan, Akper Gita Matura Abadi Kisaran

¹sridewi@unimed.ac.id, ²hasanafrizal93@gmail.com*

Corresponding Author: Afrizal Hasan

ABSTRACT

Nurse scheduling is a complex problem that must satisfy various constraints, such as shift requirements, work hour constraints, and nurse preferences. This study compares the performance of two metaheuristic algorithms, Genetic Algorithm (GA) and Ant Colony Optimization (ACO), with each algorithm producing the best schedule. The evaluation is based on solution quality, convergence, multi-run consistency, and computation time. The results show that ACO produces higher solution quality and consistency, with an average fitness of 8268.06 and a desired shift fulfillment rate of 86%. Conversely, GA excels in time efficiency, with an average execution time of 15.07 seconds, significantly faster than ACO's 72.05 seconds. This difference creates a trade-off between optimal quality and execution speed. These findings suggest that algorithm selection is highly dependent on the hospital's operational needs. ACO, for example, is better suited for nurse satisfaction, while GA is better suited for rapid response.

Keywords: Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization, Nurse Scheduling, Metaheuristic, Optimization.

ABSTRAK

Penjadwalan perawat merupakan permasalahan yang kompleks karena harus memenuhi berbagai batasan seperti kebutuhan jumlah per *shift*, batasan jam kerja, serta preferensi perawat. Penelitian ini membandingkan performa dua algoritma metaheuristik, yaitu *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) dengan keluaran jadwal terbaik masing-masing algoritma. Evaluasi dilakukan berdasarkan kualitas solusi, konvergensi, konsistensi *multi-run*, serta waktu komputasi. Hasil penelitian menunjukkan bahwa ACO menghasilkan kualitas solusi dan konsistensi yang lebih tinggi, dengan *fitness* rata-rata sebesar 8268.06 dan tingkat pemenuhan *preferred shift* mencapai 86%. Sebaliknya, GA lebih unggul pada efisiensi waktu, dengan waktu eksekusi rata-rata 15.07 detik, jauh lebih cepat dibandingkan ACO yang membutuhkan 72.05 detik. Perbedaan tersebut menciptakan *trade-off* antara kualitas optimal dan kecepatan eksekusi. Temuan ini memberikan gambaran bahwa pemilihan algoritma sangat bergantung pada kebutuhan operasional rumah sakit jika lebih fokus kepuasan perawat lebih sesuai dengan ACO, sedangkan kebutuhan respon cepat lebih cocok menggunakan GA.

Kata Kunci: Genetic Algorithm, Ant Colony Optimization, Penjadwalan Perawat, Metaheuristik, Optimasi.

1. Pendahuluan

Penjadwalan perawat (nurse scheduling) merupakan komponen krusial dalam manajemen sumber daya manusia di rumah sakit karena berpengaruh langsung terhadap kualitas layanan kesehatan, keselamatan pasien, serta efisiensi operasional lembaga kesehatan[1]. Proses penyusunan jadwal tidak hanya berkaitan dengan pembagian shift kerja, tetapi juga melibatkan berbagai kendala kompleks, seperti pemenuhan kebutuhan minimum tenaga per *shift*, batasan jam kerja, aturan lembur, tingkat kelelahan, kompetensi khusus, serta preferensi individu perawat[2],[3]. Kompleksitas berbagai kendala yang harus dipenuhi secara simultan menjadikan permasalahan ini termasuk dalam kategori *NP-hard*, yaitu permasalahan optimasi kombinatorial dengan ruang solusi yang sangat besar dan sulit diselesaikan secara optimal menggunakan metode deterministik konvensional[4],[5].



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Dalam praktiknya, banyak rumah sakit masih mengandalkan metode manual atau pendekatan berbasis *spreadsheet* dalam menyusun jadwal[6]. Pendekatan tersebut cenderung kurang adaptif terhadap perubahan kebutuhan operasional dan rentan terhadap kesalahan, ketidakseimbangan beban kerja, serta konflik jadwal. Dampaknya dapat berupa meningkatnya tingkat kelelahan perawat dan penurunan mutu pelayanan kesehatan. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan optimasi yang lebih sistematis, adaptif, dan mampu mengeksplorasi ruang solusi secara efisien untuk menghasilkan jadwal yang lebih optimal dan berkeadilan[7].

Dalam beberapa tahun terakhir, algoritma heuristik dan metaheuristik banyak dimanfaatkan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan yang kompleks. *Genetic Algorithm* (GA) merupakan salah satu metode metaheuristik yang terinspirasi dari mekanisme evolusi biologis melalui proses seleksi, *crossover*, dan mutasi. Pendekatan ini efektif dalam mengeksplorasi ruang solusi yang luas dan telah banyak diterapkan pada permasalahan penjadwalan tenaga kesehatan dengan hasil yang kompetitif[8]. Selain itu, *Ant Colony Optimization* (ACO) juga menjadi metode yang relevan untuk masalah optimasi kombinatorial[9]. ACO memanfaatkan konsep pembaruan feromon sebagai mekanisme pembelajaran kolektif dalam menemukan solusi terbaik secara iteratif, dan terbukti memiliki kemampuan konvergensi yang stabil pada berbagai kasus penjadwalan sumber daya manusia[10].

Berdasarkan kompleksitas permasalahan serta karakteristik kedua algoritma tersebut, penelitian ini bertujuan untuk membandingkan kinerja GA dan ACO dalam optimasi penjadwalan perawat menggunakan dataset rumah sakit. Perbandingan dilakukan untuk menilai kualitas solusi, pemerataan beban kerja, serta efisiensi waktu komputasi, sehingga dapat memberikan rekomendasi metode yang lebih tepat sesuai kebutuhan operasional rumah sakit.

2. Tinjauan Pustaka

2.1. Metaheuristik

Metaheuristik merupakan pendekatan berbasis heuristik yang digunakan untuk menyelesaikan masalah optimasi yang bersifat rumit. Metode ini dirancang untuk menangani kendala yang tidak dapat dituntaskan dengan teknik konvensional[11]. Secara umum, metaheuristik bekerja dengan menggabungkan proses eksplorasi ruang solusi secara luas dan eksploitasi secara lokal untuk memperoleh solusi yang baik tanpa bergantung pada struktur masalah tertentu[12].

2.2. *Genetic Algorithm* (GA)

Genetic Algorithm merupakan metode pencarian heuristik yang bekerja berdasarkan prinsip seleksi alam dan proses evolusi[13]. Algoritma ini meniru mekanisme evolusi biologis untuk menghasilkan solusi alternatif bagi suatu permasalahan. Dalam penerapannya, *Genetic Algorithm* mencari solusi optimal dengan memanfaatkan proses seleksi, penggabungan (*crossover*), dan perubahan acak (*mutasi*)[14].

2.3 *Ant Colony Optimization* (ACO)

Algoritma *Ant Colony* terinspirasi dari perilaku semut yang cenderung mengikuti jalur yang paling sering dilalui. Semut memiliki kemampuan alami untuk menemukan rute terpendek dari sarang menuju sumber makanan tanpa mengandalkan kemampuan visual[15]. Berdasarkan prinsip tersebut, algoritma ini digunakan untuk membantu sistem menemukan jalur atau solusi tercepat dalam menyelesaikan suatu tugas, termasuk dalam menentukan penjadwalan secara optimal[16].



3. Bahan & Metode

Penelitian ini menggunakan pendekatan eksperimen komputasional untuk membandingkan performa *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan perawat. Setiap tahapan penelitian disusun secara sistematis agar hasil perbandingan kedua algoritma dapat dianalisis secara objektif.

3.1. Desain Penelitian

Studi ini dirancang dengan menerapkan dua algoritma optimasi pada dataset yang sama, lalu mengevaluasi kualitas jadwal yang dihasilkan. Pendekatan ini memungkinkan peneliti menilai efektivitas dan efisiensi masing-masing algoritma ketika diterapkan pada kondisi nyata rumah sakit.

3.2. Dataset Penelitian

Penelitian memanfaatkan tiga berkas data utama:

1. *nurses.csv* berisi informasi dasar perawat, termasuk jumlah perawat aktif, kualifikasi, serta batasan jam kerja.
2. *shifts.csv* memuat kebutuhan tenaga perawat untuk setiap shift (pagi, siang, malam) sepanjang periode penjadwalan.
3. Output jadwal terbaik:
 - *best_ga_schedule.csv* sebagai hasil terbaik dari *Genetic Algorithm*
 - *best_aco_schedule.csv* sebagai hasil terbaik dari *Ant Colony Optimization*

Penggunaan dataset ini membantu memastikan bahwa solusi yang dihasilkan mendekati konteks operasional rumah sakit sesungguhnya.

3.3. Pra-Pemrosesan Data

Pra-pemrosesan data dilakukan untuk memastikan dataset siap diproses oleh algoritma optimasi. Tahapan ini mencakup pemeriksaan kualitas dan konsistensi data perawat, penyesuaian jumlah perawat dengan kebutuhan setiap shift, serta penyeragaman struktur dataset agar kompatibel dengan *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO). Selain itu, dibentuk representasi solusi berupa kromosom untuk GA dan matriks probabilitas rute untuk ACO.

3.4. Implementasi Genetic Algorithm (GA)

Proses penerapan *Genetic Algorithm* (GA) dimulai dengan inisialisasi populasi berupa jadwal awal yang dihasilkan secara acak. Setiap individu dievaluasi menggunakan fungsi fitness yang mempertimbangkan pemenuhan kebutuhan shift, kepatuhan aturan kerja, dan pemerataan beban tugas. Selanjutnya dilakukan seleksi dengan metode tournament selection, diikuti crossover satu titik dan mutasi dengan probabilitas tertentu untuk menjaga keberagaman solusi. Pada setiap generasi diterapkan evaluasi dan elitisme untuk mempertahankan solusi terbaik. Proses ini berulang hingga mencapai batas generasi atau solusi stabil.

3.5. Implementasi Ant Colony Optimization (ACO)

Tahapan *Ant Colony Optimization* (ACO) dimulai dengan inisialisasi kumpulan semut serta penentuan nilai feromon awal. Setiap semut kemudian membangun solusi penjadwalan berdasarkan probabilitas pemilihan rute penugasan perawat yang dipengaruhi oleh intensitas feromon dan nilai heuristik. Solusi yang terbentuk selanjutnya dievaluasi menggunakan indikator yang sama seperti pada GA. Setelah itu dilakukan pembaruan feromon melalui *local update* untuk menjaga variasi solusi dan *global update* berdasarkan solusi terbaik yang ditemukan.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

3.6 Kriteria Evaluasi

Perbandingan *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) dilakukan berdasarkan beberapa indikator evaluasi utama. Pertama, kualitas solusi yang dihasilkan, meliputi tingkat pemenuhan kebutuhan shift, minimasi pelanggaran aturan, serta pemerataan beban kerja perawat. Kedua, waktu komputasi yang digunakan untuk mengukur efisiensi masing-masing algoritma. Ketiga, perilaku konvergensi yang diamati melalui perubahan nilai fitness pada setiap iterasi. Terakhir, konsistensi hasil yang dianalisis melalui eksekusi berulang (multi-run) untuk menilai stabilitas performa kedua algoritma.

4. Hasil

Hasil komputasional dari penerapan *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) dan perbandingan kinerja algoritma berdasarkan kriteria evaluasi yang ditetapkan.

4.1. Konfigurasi Eksperimen dan Analisis Keterbatasan Model

a. Parameter

Eksperimen ini menggunakan hyperparameter standar seperti yang terlihat pada tabel dan dijalankan secara stokastik (multirun) sebanyak 10 kali untuk mengukur stabilitas dan kualitas rata-rata.

Tabel 1. Tabel konfigurasi parameter

Parameter	<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)
Ukuran populasi	50	30
Generasi/iterasi maksimum	100	50
Crossover Rate	0.8	-
Mutation Rate	0.1	-
Bobot Feromon (α)	-	1.0
Bobot Heuristik (β)	-	2.0

b. Keterbatasan dan Fokus Fitness

Sesuai dengan implementasi kode, model fitness memiliki beberapa fokus utama pada beberapa poin sebagai berikut :

- 1) Hard Constraint: Pelanggaran kebutuhan minimum perawat (Understaffing) dimana *penalty* sebesar -50
- 2) Soft Constraint Utama: Pemenuhan Preferred Shift (dimana *Reward* + 100 x bobot)
- 3) Soft Constraint Sekunder: Overstaffing dan Pelanggaran Max Shifts (> 10)

Struktur pembobotan ini menunjukkan adanya bias yang cukup kuat pada pemenuhan *preferred shift*, karena nilai *reward* sebesar $100 \times$ bobot per penugasan lebih besar dibandingkan penalti untuk pelanggaran *understaffing* (-50). Akibatnya, model *fitness* cenderung lebih mengutamakan kepuasan preferensi perawat dibandingkan penalti kekurangan staf dalam proses optimasi.

4.2. Analisis Kualitas Solusi dan Konsistensi

a. Skor Fitness Rata Rata dan Konsistensi

Hasil analisis berasal dari analisa menggunakan data statistic dihitung dari 10 kali *run* untuk membandingkan performa kedua algoritma.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Tabel 2. Perbandingan Statistik Kualitas Solusi dan Konsistensi Algoritma.

Algoritma	Fitness Maksimum Terbaik	Fitness Rata rata	Standar Deviasi (Konsistensi)
<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	77737.92 (Run 1)	7493.22	197.75
<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	8667.97 (Run 1)	8268.06	179.87

Berdasarkan tabel tersebut, ACO menunjukkan kualitas solusi yang lebih unggul dengan rata-rata *fitness* sebesar 8268,06, lebih tinggi dibandingkan GA yang sebesar 7493,22. Hal ini mengindikasikan bahwa ACO lebih efektif dalam mengoptimalkan *preferred shift* sebagai komponen dengan bobot tertinggi dalam fungsi *fitness*. Selain itu, ACO juga memiliki konsistensi yang lebih baik dengan standar deviasi 179,87, lebih rendah dibandingkan GA (197,75), yang menunjukkan stabilitas hasil yang lebih tinggi terhadap inisialisasi acak.

b. Perbandingan Metrik Pemenuhan Constraint

Dari bagian sebelumnya dapat memperoleh informasi bahwasanya *Ant Colony Optimization* (ACO) mencapai fitness tertinggi, analisis ini sendiri berfokus pada metrik yang didorong oleh *Ant Colony Optimization* (ACO). Maka dari itu dapat disimpulkan bahwa jadwal terbaik Adalah 8667.97.

Tabel 3. Perbandingan Pemenuhan Kendala (*Constraint*) Utama pada Solusi Terbaik

Metrik Kualitas (model fitness)	Kategori Constraint	<i>Genetic Algorithm</i> (terbaik)	<i>Ant Colony Optimization</i> (terbaik)
Pelanggaran Kebutuhan Minimum <i>Understaffing</i>)	Hard	0	0
Pelanggaran Kebutuhan Maksimum <i>Overstaffing</i>)	Soft	Rendah	Rendah
Pemenuhan <i>Preferred Shift</i> (Perkiraan)	Soft	=77%	=86%
<i>Max Shifts</i> Perawat (Pelanggaran \$>10\$)	Soft	0	0

Secara kinerja, kedua algoritma mencapai keberhasilan mutlak dalam memenuhi *Hard Constraint* (Batasan Keras) utama, dengan keduanya berhasil mencapai nol pelanggaran pada *Understaffing* (kekurangan staf), yang memastikan kelayakan penjadwalan pada tingkat dasar. Namun, keunggulan signifikan terlihat pada *Soft Constraint* (Batasan Lunak), di mana *Ant Colony Optimization* (ACO) menunjukkan kemenangan yang terbukti secara statistik pada skor *fitness*. Hal ini mengindikasikan bahwa ACO jauh lebih efektif dalam memaksimalkan Pemenuhan *Preferred Shift* (Pemenuhan Jam Kerja Pilihan Perawat), sebuah hasil yang didorong oleh tingginya bobot Heuristik ($\beta=2.0$) yang sengaja diterapkan pada ACO. Bobot tinggi ini secara langsung mengoptimalkan kecocokan preferensi perawat, menjadikannya metrik yang paling bernilai dalam fungsi *fitness*, sehingga ACO unggul dalam menghasilkan solusi yang disukai oleh staf.

4.3 Perilaku Konvergensi dan Efisiensi Waktu

a. Analisis perilaku konvergensi

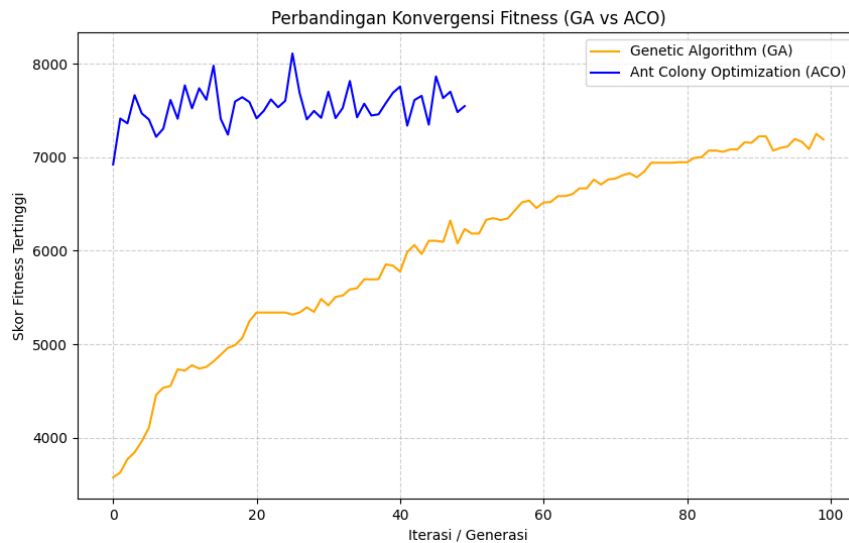
Perilaku konvergensi dari *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO) memberikan wawasan tentang bagaimana kedua algoritma mengeksplorasi dan mengeksploitasi ruang pencarian untuk mencapai solusi optimal. Gambar dibawah



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

menampilkan perbandingan konvergensi skor *fitness* tertinggi dari GA dan ACO selama proses optimasi.



Gambar 1. Perbandingan Konvergensi Fitness (GA vs ACO)

b. Efisiensi Waktu Komputasi

Analisis *trade-off* kinerja menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan antara kedua algoritma dalam aspek efisiensi waktu komputasi.

Tabel 4. Perbandingan Efisiensi Waktu Komputasi Rata-rata.

Algoritma	Waktu Komputasi rata rata	Jumlah iterasi/Generasi
<i>Genetic Algorithm</i> (GA)	15.07 detik	100
<i>Ant Colony Optimization</i> (ACO)	72.05 detik	50

Genetic Algorithm (GA) terbukti memiliki waktu eksekusi yang lebih cepat, dengan rata-rata durasi sebesar 15,07 detik per run. Waktu tersebut hampir lima kali lebih singkat dibandingkan *Ant Colony Optimization* (ACO), yang mencatatkan rata-rata waktu komputasi sebesar 72,05 detik. Perbedaan ini tetap terlihat meskipun ACO hanya dijalankan selama 50 iterasi, yaitu setengah dari jumlah iterasi yang digunakan pada GA. Temuan ini mengindikasikan bahwa kompleksitas komputasi pada ACO, khususnya dalam proses perhitungan probabilitas dan pembaruan matriks feromon pada setiap iterasi, relatif lebih tinggi dibandingkan mekanisme evolusioner pada GA. Dengan demikian, kompleksitas tersebut menjadi faktor utama yang memengaruhi rendahnya efisiensi waktu eksekusi ACO dalam implementasi penelitian ini.

5. Pembahasan

5.1. Superioritas Algoritma : Kualitas vs Kecepatan

pembahasan akhir yang merangkum temuan utama penelitian serta implikasinya terhadap penerapan algoritma dalam konteks penjadwalan perawat. Fokus utama analisis diarahkan pada perbandingan superioritas kedua algoritma, khususnya dalam meninjau *trade-off* antara kualitas solusi yang dihasilkan dan efisiensi waktu komputasi. Melalui pembahasan ini, akan diuraikan bagaimana masing-masing algoritma menunjukkan keunggulan pada aspek yang berbeda, sehingga memberikan pertimbangan strategis dalam pemilihan metode yang paling sesuai dengan kebutuhan operasional.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

Tabel 5. Ringkasan Perbandingan Kritis Kinerja Algoritma (GA vs ACO)

Algoritma	Keunggulan Utama	Analisis
ACO	Kualitas Solusi (Fitness) & Konsistensi (SD Rendah)	ACO unggul karena bobot Heuristik (β) yang tinggi secara efektif menargetkan Pemenuhan <i>Preferred Shift</i> (metrik dengan <i>reward</i> tertinggi) dalam <i>fitness function</i> yang disederhanakan.
GA	Efisiensi Waktu Komputasi	GA lima kali lebih cepat, membuktikan efisiensi mekanisme <i>crossover</i> dan evaluasi populasi yang lebih cepat secara komputasi per <i>loop</i> dibandingkan dengan manipulasi matriks feromon ACO.

Berdasarkan tabel hasil pengujian, kedua algoritma menunjukkan keunggulan pada aspek yang berbeda, sehingga menegaskan adanya *trade-off* antara kualitas solusi dan efisiensi komputasi. *Ant Colony Optimization* (ACO) unggul dalam kualitas solusi dan konsistensi, yang tercermin dari nilai fitness rata-rata lebih tinggi dan standar deviasi lebih rendah, dipengaruhi oleh bobot heuristik (β) yang menekankan pemenuhan *preferred shift*. Sebaliknya, *Genetic Algorithm* (GA) lebih unggul dalam efisiensi waktu komputasi, dengan waktu eksekusi hampir lima kali lebih cepat, menunjukkan bahwa mekanisme evolusionernya lebih ringan secara komputasional dibandingkan proses pembaruan feromon pada ACO.

Tabel 6 Perbandingan Solusi Terbaik Jadwal ACO Dan GA

Tanggal	Hari	Shift ACO	Preferred Shift (N000)	Keterangan ACO	Shift GA	Keterangan GA
2024-01-01	Senin	Pagi	Pagi	Match	Malam	Missmatch
2024-01-02	Selasa	Malam	Pagi	Missmatch	Pagi	Match
2024-01-03	Rabu	Pagi	Pagi	Match	Siang	Missmatch
2024-01-04	Kamis	Siang	Pagi	Missmatch	Pagi	Match
2024-01-05	Jumat	Pagi	Pagi	Match	Libur	Libur
2024-01-06	Sabtu	Pagi	Pagi	Match	Pagi	Match
2024-01-07	Minggu	Libur	Pagi	Libur	Malam	Missmatch
Total Match				4/5 shift kerja		3/5 shift kerja

Tabel diatas merupakan visual dari perbedaan kualitas yang ditangkap oleh skor *fitness*. Terlihat bahwa solusi ACO ($F=8590.84$) berhasil mengakomodasi *Preferred Shift* Perawat N000 sebanyak 4 dari 5 hari kerja. Sementara itu, solusi GA ($F=7913.07$) hanya mampu mengakomodasi 3 dari 5 hari kerja. Perbedaan yang terlihat ini memvalidasi temuan statistik di Tabel 6 bahwa algoritma ACO lebih efektif dalam memaksimalkan reward dari *Preferred Shift* (metrik dengan bobot tertinggi dalam model fitness), dibandingkan dengan mekanisme *crossover* pada GA.

5.2. Implikasi Praktis bagi Rumah Sakit

Implikasi praktis dari hasil perbandingan ini menunjukkan adanya *trade-off* yang perlu dipertimbangkan oleh pengambil keputusan. Apabila prioritas utama terletak pada peningkatan kualitas jadwal dan tingkat kepuasan perawat—dengan waktu komputasi bukan sebagai kendala utama, maka *Ant Colony Optimization* (ACO) lebih direkomendasikan karena mampu



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

menghasilkan tingkat pemenuhan *preferred shift* yang lebih tinggi serta konsistensi solusi yang lebih baik. Sebaliknya, dalam situasi yang menuntut kecepatan dan respons komputasi yang cepat, seperti kebutuhan penyesuaian jadwal secara mendekati waktu nyata (*real-time*), *Genetic Algorithm* (GA) menjadi alternatif yang lebih tepat karena efisiensi waktu eksekusinya yang jauh lebih tinggi, meskipun dengan sedikit kompromi pada tingkat optimalisasi preferensi perawat.

6. Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian yang telah dilakukan, dapat disimpulkan bahwa kedua algoritma metaheuristik, yaitu *Genetic Algorithm* (GA) dan *Ant Colony Optimization* (ACO), mampu menghasilkan jadwal perawat yang layak serta memenuhi seluruh *hard constraint*, khususnya terkait pemenuhan kebutuhan minimum per shift. Meskipun demikian, terdapat perbedaan kinerja yang signifikan di antara keduanya. ACO menunjukkan keunggulan dalam kualitas solusi, terutama dalam memaksimalkan pemenuhan *preferred shift* sebagai komponen utama dalam fungsi *fitness*, serta memperlihatkan tingkat konsistensi yang lebih baik pada pengujian *multi-run*, yang mengindikasikan sensitivitas yang lebih rendah terhadap inisialisasi acak. Sebaliknya, GA unggul dalam aspek efisiensi waktu komputasi, dengan durasi eksekusi yang hampir lima kali lebih cepat dibandingkan ACO. Dengan demikian, penelitian ini menegaskan adanya *trade-off* antara kualitas solusi dan efisiensi komputasi, di mana ACO lebih sesuai ketika kualitas jadwal dan kepuasan perawat menjadi prioritas utama, sedangkan GA lebih tepat untuk kebutuhan penjadwalan yang menuntut respons komputasi yang cepat. Temuan ini dapat menjadi landasan dalam pengembangan sistem penjadwalan otomatis di lingkungan rumah sakit.

REFERENSI

- [1] F. Jamil, H. I. Azhari, S. Anggraeni, S. R. Anjani, and H. Ridwan, "Literature Review: Pengaruh Manajemen Waktu dan Sumber Daya Manusia terhadap Beban Kerja Perawat dan Implikasinya terhadap Keselamatan Pasien," *J. Penelit. Inov.*, vol. 5, no. 2, pp. 2047–2054, 2025, doi: 10.54082/jupin.1447.
- [2] Y. Saputra and D. Irawan, "Penerapan Algoritma Greedy Untuk Penyusunan Jadwal Kerja Di Industri Perhotelan," *J. Data Sains Dan Teknol. Inf.*, vol. 2, no. 01, pp. 31–40, 2024, doi: 10.62003/c53fxr97.
- [3] D. Wenston, M. Irfan, and R. D. Sanjaya, "Analisis Sistem Penjadwalan Shift Dan Libur Kerja Dalam Operasional Dapur Can Ngopi," *Juparita (Jurnal Pariwisata Tawangmangu)*, vol. 3, no. 2, pp. 63–70, 2025, [Online]. Available: <http://10.0.241.0/juparita.v3i2.771>
- [4] M. Iqbal, M. Zarlis, and H. Mawengkang, "Seminar Nasional Teknologi Komputer & Sains (SAINTEKS) Model Pendekatan Metaheuristik Dalam Penyelesaian optimisasi Kombinatorial," vol. 97, pp. 92–97, 2020.
- [5] M. A. Saputra, A. Rahim, M. K. Romadhoni, and M. S. Burhan, "Penyelesaian Traveling Salesman Problem Dengan Algoritma Ant Colony Menggunakan Multi Processing," *Pros. Semin. Implementasi Teknol. Inf. dan Komun.*, vol. 4, no. 1, pp. 171–178, 2025, doi: 10.31284/p.semtik.2025-1.7008.
- [6] A. Hidayati, A. Argianto, and B. P. Rini, "Inovasi Sistem Penjadwalan Laboratorium Terpadu melalui Aplikasi M-Room berbasis Google Spreadsheet di Poltekkes Kemenkes Jakarta I," *J. Pengelolaan Lab. Pendidik.*, vol. 7, no. 2, pp. 139–150, 2025, doi: 10.14710/jplp.7.2.139-150.
- [7] R. Cesilia, "e-ISSN 2774-5155 p-ISSN 2774-5147," vol. 4, no. 10, pp. 909–922, 2024.
- [8] Harjuni, M. Assidiq, and C. R. Sari, "PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA DALAM OPTIMISASI PENJADWALAN TUGAS PADA CLOUD COMPUTING," vol. 11, no. 2, pp. 19–25, 2025.
- [9] Moedjiono, Karjono, and D. Kurniawan, "93603-ID-none," *J. TICOM*, 2016.



Lisensi

Lisensi Internasional Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0.

- [10] A. Ihsan, T. A. Adlie, and S. Harliansyah, "Optimalisasi Pencarian Jalur Terpendek Mobile Robot dengan Menggunakan Metode Ant Colony Optimization (ACO)," *Techné J. Ilm. Elektrotek.*, vol. 23, no. 1, pp. 39–54, 2024, doi: 10.31358/techne.v23i1.389.
- [11] M. I. Romadhon and R. A. Nugraha, "KONSULI: Knowledge on Sustainability and Innovative Technology Optimisasi dan Permasalahan Pada Pembangkit Listrik Berbasis Energi baru Terbarukan," vol. 1, no. 1, pp. 44–67, 2025.
- [12] F. Y. Arini, J. N. Bagaskara, A. S. Anwar, N. A. Khairunnisa, Y. Pandu, and S. Aji, "Feature Selection Optimization Using the Hybrid ARO-DBSCAN Algorithm to Improve the Accuracy of the K-Nearest Neighbor Classification Model Optimasi Seleksi Fitur Menggunakan Algoritma Hybrid ARO-DBSCAN untuk Meningkatkan Akurasi Model Klasifikasi K-Nearest Neighbor," vol. 6, no. January, pp. 1–10, 2026.
- [13] Y. A. Pradana *et al.*, "Penentuan Rute Optimal Wisata di Kota dan Kabupaten Madiun Menggunakan Algoritma Genetika," *J. Keilmuan dan Keislam.*, pp. 49–56, 2024, doi: 10.23917/jkk.v3i1.223.
- [14] W. Prasetya and D. Jollyta, "Penerapan Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Kuliah," *J. Mhs. Apl. Teknol. Komput. dan Inf.*, vol. 5, no. 2, pp. 144–147, 2023, doi: 10.31294/inf.v10i2.16701.
- [15] F. A. Putri, "Penjadwalan Kegiatan Belajar Menggunakan Algoritma Ant Colony," *J. Sist. Inf. Kaputama*, vol. 4, no. 2, pp. 123–128, 2020.
- [16] D. Udjulawa and S. Oktarina, "Penerapan Algoritma Ant Colony Optimization Untuk Pencarian Rute Terpendek Lokasi Wisata," *Klik - J. Ilmu Komput.*, vol. 3, no. 1, pp. 26–33, 2022, doi: 10.56869/klik.v3i1.326.

