



Integrasi Model Algoritma Genetika dan Constraint Satisfaction Problem pada Optimasi Penjadwalan Shift Karyawan UMKM Kuliner

Arya Firgi Syuhada^{1,*}, Rodhiyah Mardhiyyah², Fadil Indra Sanjaya³

¹ Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Informatika, Universitas Teknologi Yogyakarta, Sleman, Indonesia

² Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Teknik Komputer, Universitas Teknologi Yogyakarta, Sleman, Indonesia

³ Fakultas Sains dan Teknologi, Program Studi Data Sains, Universitas Teknologi Yogyakarta, Sleman, Indonesia

Email: ^{1,*}aryafirgi8@gmail.com, ²rodhiyah.mardhiyyah@uty.ac.id, ³fadil.indra@staff.uty.ac.id

Email Penulis Korespondensi: aryafirgi8@gmail.com

Abstrak—Penjadwalan shift karyawan di sektor Usaha Mikro, Kecil, dan Menengah (UMKM) merupakan permasalahan yang kompleks karena harus mempertimbangkan berbagai aspek seperti ketersediaan tenaga kerja, batasan jam kerja, dan preferensi individu. Pada UMKM Nasi Balap Cucun yang bergerak di bidang kuliner, tantangannya semakin besar karena sebagian besar karyawannya merupakan mahasiswa aktif dengan jadwal kuliah yang beragam. Proses penjadwalan yang masih dilakukan secara manual seringkali memakan waktu lama dan mengakibatkan pembagian kerja yang tidak seimbang. Untuk mengatasi hal tersebut, penelitian ini mengembangkan sistem penjadwalan otomatis berbasis Algoritma Genetika yang dikombinasikan dengan Constraint Satisfaction Problems (CSP). Sistem dibangun menggunakan bahasa pemrograman Python dengan pustaka DEAP, dengan mempertimbangkan kebutuhan shift, permintaan jadwal karyawan, dan kendala operasional. Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem mampu menghasilkan jadwal mingguan yang efisien dengan peningkatan efisiensi waktu hingga 80%. Setelah dilakukan pengujian sistem, didapatkan bahwa hasil penjadwalan akan muncul kurang dari 10 detik setelah pengguna menghasilkan jadwal. Selain itu, sistem menunjukkan peningkatan nilai kebugaran dari -1000 pada generasi awal menjadi 54 pada generasi ke-50, yang berarti sistem ini mampu mengurangi potensi konflik dalam penjadwalan. Pendekatan ini dapat menjadi solusi efektif bagi UMKM dalam mengoptimalkan pengelolaan sumber daya manusia secara cerdas.

Kata Kunci: Algoritma Genetika; Constraint Satisfaction Problem; Optimasi; Penjadwalan Shift; UMKM

Abstract—Employee shift scheduling in the Micro, Small, and Medium Enterprises (MSMEs) sector is a complex problem because it must consider various aspects such as workforce availability, work hour restrictions, and individual preferences. At the Nasi Balap Cucun MSME which operates in the culinary field, the challenge is even greater because most of its employees are active students with diverse class schedules. The scheduling process is still done manually often takes a long time and results in an unbalanced division of labor. To overcome this, this study developed an automatic scheduling system based on Genetic Algorithms combined with Constraint Satisfaction Problems (CSP). The system was built using the Python programming language with the DEAP library, considering shift needs, employee schedule requests, and operational constraints. The implementation results show that the system is able to generate efficient weekly schedules with an increase in time efficiency of up to 80%. After testing the system, it was found that the scheduling results would appear less than 10 seconds after the user generated the schedule. In addition, the system showed an increase in fitness value from -1000 in the initial generation to 54 in the 50th generation, which means this system is able to reduce potential conflicts in scheduling. This approach can be an effective solution for MSMEs in optimizing human resource management intelligently.

Keywords: Genetic Algorithm; Constraint Satisfaction Problem; Optimization; Employee Scheduling; MSMEs

1. PENDAHULUAN

Manajemen Sumber Daya Manusia (SDM) memegang peran penting dalam keberhasilan UMKM, namun pada praktiknya masih banyak UMKM yang mengelola SDM secara sederhana dan belum terstruktur. Keterbatasan kemampuan manajerial, fasilitas, serta minimnya program pelatihan membuat peningkatan kompetensi karyawan belum berjalan optimal. Padahal, penguatan kapasitas SDM sangat dibutuhkan agar UMKM mampu meningkatkan produktivitas dan daya saing. Karena itu, dukungan program pembinaan dan pendampingan dinilai penting untuk mendorong profesionalisme pengelolaan SDM pada UMKM [1]. Pada UMKM, manajemen SDM masih banyak dilakukan secara sederhana dan informal sehingga proses seperti rekrutmen, seleksi, dan pengelolaan kinerja belum berjalan sistematis. Penelitian menunjukkan bahwa peningkatan kapabilitas manajer melalui pelatihan SDM berpengaruh besar dalam memperbaiki praktik pengelolaan karyawan dan mendukung peningkatan kinerja serta daya saing UMKM [2]. UMKM masih menghadapi tantangan efisiensi operasional karena pengelolaan kerja yang belum terstruktur dan masih bergantung pada sistem manual, sehingga berdampak pada rendahnya produktivitas dan daya saing usaha. Minimnya pemanfaatan teknologi informasi, ditambah dengan keterbatasan literasi digital dan sumber daya, membuat proses operasional UMKM belum berjalan optimal [3]. Maka dari itu, UMKM perlu dikelola secara profesional agar mampu bersaing di tengah ketatnya persaingan bisnis. Sektor Food & Beverage (FnB) menjadi salah satu pilar utama pertumbuhan UMKM di Indonesia. Sumber daya manusia berperan penting dalam menjaga kinerja dan keberlangsungan usaha. Dengan penjadwalan kerja yang baik, produktivitas dapat meningkat, stabilitas organisasi terjaga, dan potensi konflik kerja dapat diminimalkan [4].

Dalam studi kasus ini, penjadwalan karyawan merupakan salah satu aspek krusial dalam manajemen sumber daya manusia (SDM), terutama di UMKM Nasi Balap Cucun yang bergerak di bidang kuliner dan memiliki dua outlet dengan tingkat variasi kebutuhan tenaga kerja yang tinggi sesuai jam sibuk dan hari tertentu. Saat ini, penjadwalan shift masih dilakukan secara konvensional menggunakan aplikasi Excel. Pendekatan manual tersebut tidak hanya memakan waktu, tetapi juga kurang efisien dan rentan menimbulkan kesalahan, seperti ketidakseimbangan beban kerja antar shift, penjadwalan yang bertabrakan, hingga tidak terpenuhinya kebutuhan minimal karyawan pada jam sibuk. Selain itu, Excel



sulit mengakomodasi berbagai kendala, seperti larangan penjadwalan dari shift malam ke pagi, pembatasan jam kerja, dan preferensi karyawan, sehingga sering terjadi revisi jadwal dan berpotensi menurunkan produktivitas serta kualitas layanan. Oleh karena itu, dibutuhkan sistem penjadwalan otomatis yang mampu menghasilkan jadwal kerja yang lebih adil, efisien, dan adaptif [5].

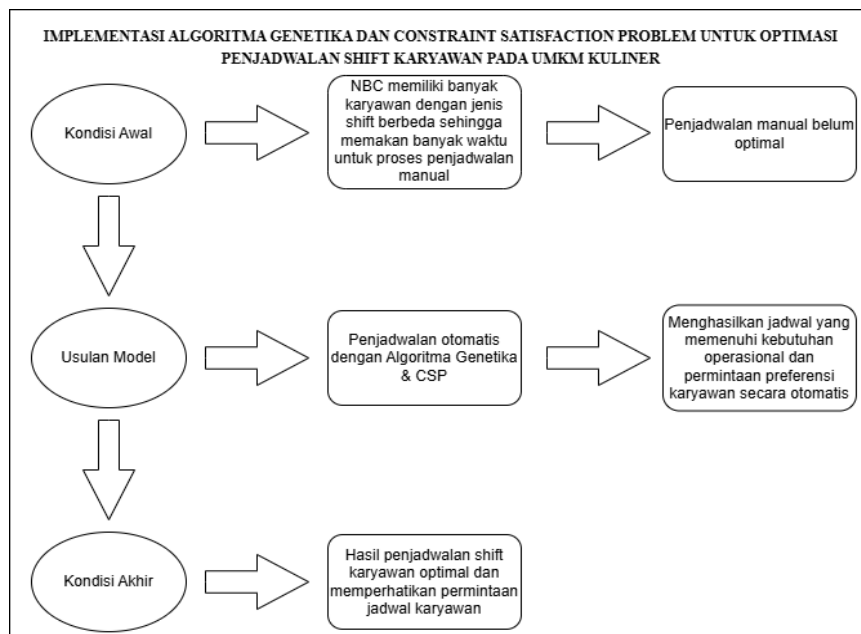
Berdasarkan penelitian terdahulu, Algoritma Genetika (Genetic Algorithm) telah banyak diterapkan untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan dan terbukti mampu meningkatkan efisiensi serta mengurangi konflik jadwal. Sejumlah penelitian menerapkan Algoritma Genetika untuk penjadwalan shift karyawan dengan fokus pada pemenuhan kebutuhan tenaga kerja dan keteraturan jadwal, namun belum mempertimbangkan preferensi karyawan serta belum menyajikan pengukuran optimalitas secara kuantitatif. Seperti penelitian yang dilakukan oleh Priatna dkk dan Chrostoe dkk [5][6]. Penelitian yang dilakukan oleh Abram dkk dan Pratama mulai mengakomodasi aturan bisnis dan preferensi karyawan sehingga jadwal yang dihasilkan lebih fleksibel dan mampu menyeimbangkan efisiensi kerja dengan kepuasan karyawan, meskipun masih menghadapi keterbatasan berupa waktu komputasi yang relatif lama dan kurang adaptif terhadap perubahan kebutuhan secara mendadak [7][8].

Di luar konteks penjadwalan karyawan, Algoritma Genetika juga diterapkan pada domain penjadwalan lain, seperti penjadwalan rapat dan penjadwalan tugas pada komputasi awan seperti penelitian yang dilakukan oleh Desmarini dan Pirozmand dkk, serta menunjukkan kinerja yang baik bahkan dalam optimasi multi-objektif, namun memiliki kompleksitas tinggi dan tidak secara langsung merepresentasikan karakteristik penjadwalan pada UMKM [9][10]. Secara umum, penelitian-penelitian tersebut masih jarang diterapkan pada UMKM dengan tenaga kerja tidak tetap dan belum mengintegrasikan Algoritma Genetika dengan Constraint Satisfaction Problem (CSP) untuk menangani batasan penting seperti jumlah minimum pekerja per shift dan larangan penjadwalan dari shift malam ke pagi. Oleh karena itu, pendekatan yang akan digunakan pada penelitian ini untuk menyusun sebuah sistem penjadwalan otomatis adalah dengan menggunakan pendekatan Algoritma Genetika (Genetic Algorithm) yang dikombinasikan dengan Constraint Satisfaction Problem. Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA) dipilih karena mampu mencari solusi optimal melalui prinsip seleksi alam. Pendekatan ini merepresentasikan setiap alternatif solusi sebagai kromosom yang tersusun dari gen berbentuk bit (0 dan 1) dan dikombinasikan dengan Constraint Satisfaction Problem karena Pendekatan ini mampu menemukan solusi yang memenuhi sejumlah batasan secara sistematis. CSP membedakan dua jenis batasan, yaitu hard constraint yang wajib dipenuhi agar solusi valid, dan soft constraint yang masih dapat dilanggar dalam batas toleransi. Dengan metode ini, sistem penjadwalan dapat diatur lebih fleksibel namun tetap mempertahankan validitas dan keseimbangan antarshift.

2. METODOLOGI PENELITIAN

2.1 Tahapan Penelitian

Dalam penelitian ini disusun tahapan penelitian agar pelaksanaannya berjalan terarah. Kerangka tersebut diawali dengan kondisi awal berupa sistem penjadwalan karyawan yang masih dilakukan secara manual. Selanjutnya, diusulkan pengembangan sistem penjadwalan otomatis menggunakan kombinasi Algoritma Genetika dan *Constraint Satisfaction Problem* (CSP). Kondisi akhir yang diharapkan adalah terciptanya sistem yang mampu menghasilkan jadwal shift karyawan secara optimal dan sesuai dengan ketersediaan masing-masing karyawan.



Gambar 1. Tahapan Penelitian



Gambar 1 menggambarkan alur pemecahan masalah penjadwalan shift karyawan pada UMKM kuliner secara sistematis. Pada kondisi awal, UMKM memiliki banyak karyawan dengan jadwal dan jam kerja yang berbeda, sehingga proses penjadwalan masih dilakukan secara manual dan belum optimal. Kondisi ini menyebabkan penjadwalan sulit menyesuaikan kebutuhan operasional serta preferensi karyawan. Selanjutnya, pada tahap usulan model, diusulkan penerapan sistem penjadwalan otomatis dengan mengintegrasikan Algoritma Genetika dan Constraint Satisfaction Problem (CSP). Integrasi ini bertujuan untuk mengoptimalkan penyusunan jadwal dengan mempertimbangkan berbagai kendala operasional dan permintaan jadwal karyawan secara bersamaan. Pada kondisi akhir, sistem mampu menghasilkan jadwal shift karyawan yang lebih optimal, adil, dan efisien, serta memenuhi kebutuhan operasional UMKM sekaligus memperhatikan preferensi jadwal karyawan secara otomatis.

2.2 Algoritma Genetika

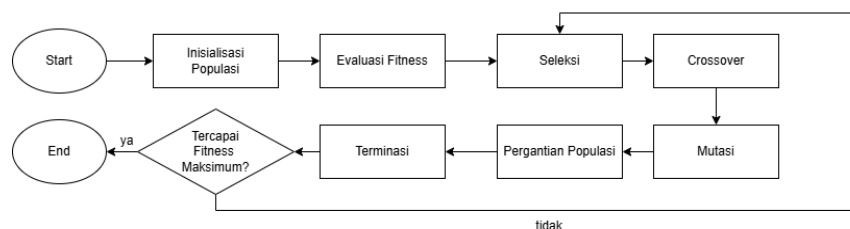
Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA) adalah metode pencarian solusi terbaik yang meniru proses seleksi alam. Dikembangkan oleh John Holland dan disempurnakan oleh David Goldberg, GA merepresentasikan setiap solusi sebagai kromosom, yaitu rangkaian gen biner (0 dan 1). Kromosom dapat mengalami proses crossover untuk menukar materi genetik, mutasi untuk menghasilkan variasi baru, serta inversi untuk membalik urutan gen, sehingga diperoleh solusi yang semakin optimal [11]. Dalam penelitian yang lain disebutkan bahwa, Algoritma Genetika mencari solusi terbaik melalui sekumpulan solusi yang disebut populasi, di mana setiap individu disebut kromosom dan mewakili satu solusi. Populasi awal dibentuk secara acak dan berkembang melalui beberapa generasi. Setiap kromosom dievaluasi dengan fungsi fitness (persamaan 1) untuk menilai kualitasnya. Kromosom terbaik dipilih sebagai induk (parent) untuk menghasilkan keturunan (offspring) melalui penyilangan (crossover), sementara mutasi dilakukan untuk menambah variasi. Populasi baru dibentuk dari kromosom dengan nilai fitness tertinggi hingga akhirnya diperoleh solusi yang optimal atau mendekati optimal. [12]. Untuk memperjelas alur dari Algoritma Genetika, ditampilkan flowchart pada gambar 2.

Pada penelitian ini, Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA) dirancang secara khusus untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan shift karyawan pada UMKM Nasi Balap Cucun yang memiliki 11 karyawan dan 2 outlet. Representasi solusi menggunakan integer encoding, karena lebih sesuai untuk merepresentasikan penugasan karyawan ke dalam shift dan outlet tertentu dibandingkan representasi biner. Setiap kromosom merepresentasikan satu jadwal kerja mingguan, yang tersusun atas gen-gen berupa bilangan bulat. Setiap gen menyatakan penugasan satu karyawan pada satu shift di outlet tertentu pada hari tertentu. Struktur satu kromosom dibangun berdasarkan kombinasi hari kerja, shift, dan outlet, sehingga kromosom mencerminkan seluruh jadwal operasional. Sebagai contoh, satu kromosom dapat direpresentasikan sebagai deretan bilangan bulat dengan panjang tertentu, di mana setiap posisi gen menunjukkan karyawan yang bertugas pada shift tertentu di outlet tertentu. Dengan struktur ini, satu kromosom telah mencakup seluruh kebutuhan penjadwalan untuk 11 karyawan pada 2 outlet.

$$f(g) = \frac{1}{(1 + \sum P_i v_i(g))} \quad (1)$$

Dimana $f(g)$ adalah fungsi fitness untuk mendapatkan nilai individu terbaik, P_i : Penalti yang ditetapkan untuk aturan I $V_i(g) = 1$ jika jadwal g melanggar aturan i , bernilai 0 jika sebaliknya. Berikut adalah bobot penalty jika terjadi pelanggaran.

- Penalty Shift Tidak Sesuai : 50
- Penalty Double Shift : 100
- Penalty Double Outlet Sehari : 200
- Penalty Kurang Hari Kerja : 20
- Penalty Shift Malam ke Pagi : 100



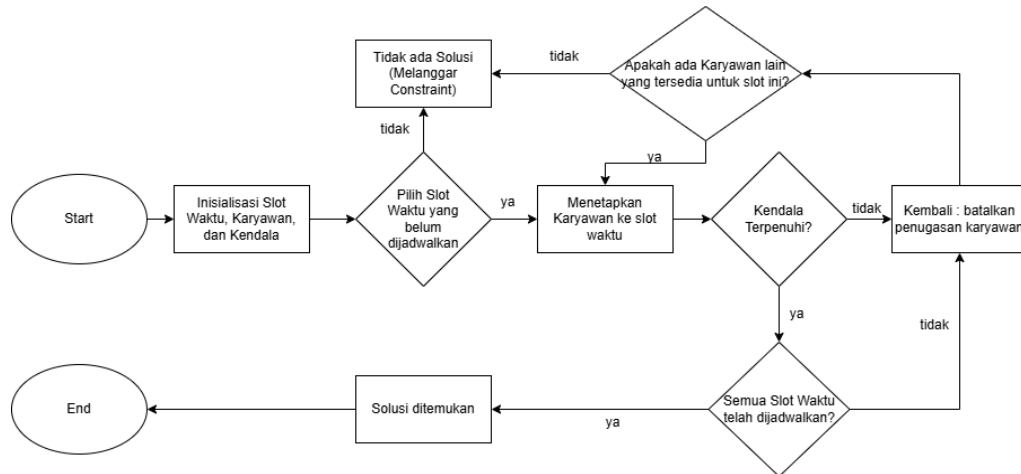
Gambar 2. Flowchart Algoritma Genetika

Proses Algoritma Genetika diawali dengan tahap Start, kemudian dilanjutkan dengan inisialisasi populasi, yaitu pembentukan sejumlah solusi awal (kromosom) secara acak. Setiap kromosom kemudian dievaluasi pada tahap evaluasi fitness untuk mengukur kualitas solusi berdasarkan fungsi fitness yang telah ditentukan. Selanjutnya dilakukan seleksi, yaitu pemilihan kromosom terbaik sebagai induk (parent) berdasarkan nilai fitness. Kromosom terpilih mengalami proses crossover untuk menghasilkan kombinasi solusi baru, kemudian dilakukan mutasi guna menambah variasi dan mencegah konvergensi prematur. Hasil dari proses tersebut membentuk populasi baru melalui tahap pergantian populasi. Setelah itu, dilakukan pemeriksaan apakah fitness maksimum atau kriteria penghentian telah tercapai. Jika belum tercapai, proses akan kembali ke tahap evaluasi fitness dan berulang. Apabila kriteria terpenuhi, algoritma masuk ke tahap terminasi dan menghasilkan solusi terbaik, kemudian proses diakhiri pada tahap End.



2.3 Constraint Satisfaction Problem

Constraint Satisfaction Problem (CSP) adalah metode untuk menemukan solusi yang memenuhi satu atau lebih batasan tertentu. Batasan dalam CSP dibagi menjadi dua jenis: hard constraint, yang harus dipenuhi agar solusi valid, dan soft constraint, yang masih dapat dilanggar tanpa menyebabkan sistem gagal [13]. Constraint Satisfaction Problem (CSP) menyelesaikan permasalahan melalui beberapa tahapan utama. Pertama, terdapat variabel keputusan, yaitu representasi dari pilihan atau tindakan yang menentukan arah solusi. Kedua, fungsi tujuan digunakan untuk menghubungkan variabel-variabel tersebut agar menghasilkan solusi yang paling optimal. Ketiga, terdapat batasan (constraints) yang membatasi nilai atau kombinasi variabel agar solusi yang dihasilkan tetap memenuhi ketentuan dan kebutuhan masalah. Secara umum, CSP merupakan pendekatan matematis yang bertujuan mencari konfigurasi atau kondisi yang paling sesuai dengan serangkaian batasan tertentu [14]. Dalam studi kasus ini, *flowchart* Constraint Satisfaction Problem dapat dilihat pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart Constraint Satisfaction Problem

Proses dimulai dengan inisialisasi slot waktu, daftar karyawan, dan aturan atau constraint yang harus dipenuhi. Selanjutnya, sistem memilih slot waktu yang belum dijadwalkan. Jika tidak ada slot waktu yang tersedia untuk diproses, maka dapat disimpulkan bahwa tidak ada solusi karena melanggar kendala. Setelah slot waktu dipilih, sistem mengecek apakah masih ada karyawan yang tersedia untuk mengisi slot tersebut. Jika tidak ada karyawan yang tersedia, maka solusi tidak dapat ditemukan. Jika ada, karyawan ditetapkan pada slot waktu tersebut dan kemudian dilakukan pengecekan apakah penugasan tersebut memenuhi semua kendala yang telah ditentukan. Apabila kendala tidak terpenuhi, penugasan dibatalkan dan sistem kembali untuk mencoba karyawan lain. Namun, jika kendala terpenuhi, sistem akan mengecek apakah seluruh slot waktu telah berhasil dijadwalkan. Jika semua slot sudah terisi, maka solusi penjadwalan berhasil ditemukan dan proses berakhir. Jika belum, proses akan diulang hingga semua slot terjadwal atau tidak ada solusi yang memungkinkan.

2.4 DEAP

Distributed Evolutionary Algorithms in Python (DEAP) adalah kerangka kerja komputasi evolusioner baru untuk pembuatan prototipe cepat dan pengembangan aplikasi menggunakan kerangka kerja EC. Kerangka kerja ini bekerja selaras sempurna dengan mekanisme paralelisasi seperti multiprosesor. Fitur-fitur DEAP meliputi optimasi multi-objektif, ko-evolusi beberapa populasi, dan paralelisasi evaluasi. DEAP mendukung algoritma seperti algoritma genetika, optimasi segerombolan partikel, evolusi diferensial, dan estimasi algoritma distribusi [15].

Library ini juga banyak digunakan dalam penelitian yang berbasis algoritma genetika karena kemampuannya dalam menangani proses evolusi populasi secara efisien dan paralel. Dalam penelitian ini, DEAP berperan penting sebagai pustaka utama untuk mengimplementasikan seluruh tahapan algoritma genetika, mulai dari inisialisasi populasi, seleksi, crossover, hingga mutasi. Dengan dukungan fitur paralelisasi, DEAP memungkinkan proses evaluasi fitness terhadap ratusan individu dilakukan secara simultan, sehingga mempercepat waktu komputasi penjadwalan shift.

2.5 Data Penelitian

Data penelitian ini diperoleh secara langsung melalui observasi di dua outlet Nasi Balap Cucun (NBC) selama jam kerja, wawancara dengan crew leader, serta pengumpulan dokumen internal perusahaan. Seluruh data tersebut digunakan sebagai dasar dalam perancangan sistem penjadwalan otomatis berbasis Algoritma Genetika dan Constraint Satisfaction Problem. Selain itu, Pengumpulan data dilakukan selama 30 hari mulai 1 Maret 2025. Data shift outlet dikumpulkan setiap hari untuk menghindari perubahan jadwal selama observasi, sedangkan data permintaan jadwal diambil setiap Sabtu dan Minggu karena pengajuan jadwal dilakukan pada periode tersebut untuk minggu berikutnya. Data yang didapatkan dari penelitian ini meliputi data karyawan dan data shift outlet. Data-data tersebut dapat dilihat pada tabel dibawah ini:



a. Data Karyawan

Data karyawan didapatkan dari observasi lapangan di perusahaan NBC dan wawancara terhadap crew-leader. Data karyawan berisi daftar karyawan yang disusun secara sederhana dan terstruktur. Setiap baris mewakili satu karyawan, sedangkan kolom-kolomnya menunjukkan informasi dasar yang dimiliki, yaitu identitas karyawan, nama, dan posisi atau peran dalam pekerjaan. Data ini digunakan untuk mengetahui siapa saja karyawan yang terlibat serta pembagian peran mereka dalam suatu sistem kerja. Secara umum, tabel seperti ini berfungsi sebagai data awal yang dapat dimanfaatkan untuk berbagai keperluan, seperti pengelolaan sumber daya manusia, pembagian tugas, atau penyusunan jadwal kerja. Data karyawan dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Data Karyawan

ID Karyawan	Nama Karyawan	Posisi Karyawan
K1	Tegar	Crew-Leader
K2	Joko	Full-time Crew
K3	Vicko	Full-time Crew
K4	Rasyid	Part-time Crew
K5	Fajar	Part-time Crew
K6	Zulfikar	Part-time Crew
K7	Tara	Part-time Crew
K8	Yufen	Part-time Crew
K9	Resa	Part-time Crew
K10	Haryo	Part-time Crew
K11	Arif	Part-time Crew

b. Data Shift Outlet

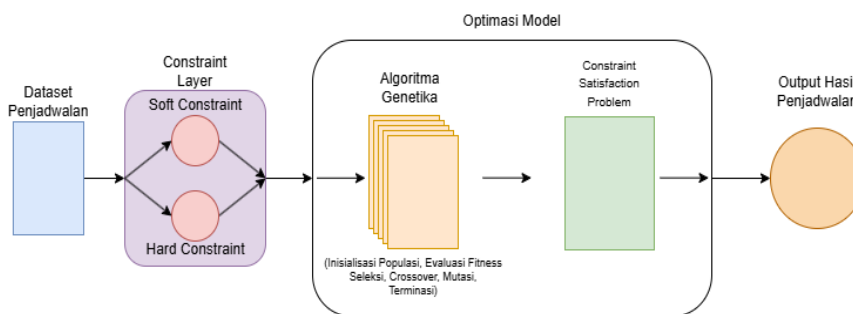
Data Shift Outlet juga didapatkan dari hasil pengamatan langsung yang memperhatikan jumlah karyawan setiap shift di 2 outlet yang berbeda serta mengamati waktu dimulainya shift dan saat pergantian shift. Tabel 2 dibawah ini menunjukkan bahwa terdapat tiga shift kerja, yaitu Shift 1, Shift 2, dan Shift 3, yang masing-masing memiliki rentang waktu berbeda. Shift 1 berlangsung dari pukul 08.00 hingga 16.00, Shift 2 dari pukul 16.00 hingga 24.00, dan Shift 3 dari pukul 24.00 hingga 08.00. Pada Shift 1 dan Shift 2, Outlet 1 membutuhkan masing-masing dua orang karyawan, sedangkan Outlet 2 membutuhkan satu orang karyawan. Pada Shift 3, hanya Outlet 1 yang beroperasi dengan kebutuhan satu orang karyawan, sementara Outlet 2 tidak memiliki karyawan yang dijadwalkan. Secara umum, tabel ini menggambarkan kebutuhan jumlah karyawan per shift pada masing-masing outlet dalam satu hari kerja.

Tabel 2. Data Shift Outlet

Shift	Waktu	Jumlah Karyawan	
		Outlet 1	Outlet 2
Shift 1	08.00-16.00	2	1
Shift 2	16.00-24.00	2	1
Shift 3	24.00-08.00	1	-

2.6 Perancangan Model

Model sistem yang dirancang untuk penelitian ini berfungsi untuk memvisualisasikan alur kerja sistem yang dibuat pada penelitian ini dalam menghasilkan jadwal secara otomatis dengan menerapkan metode Algoritma Genetika dan Constraint Satisfaction Problem. Rancangan model untuk sistem penjadwalan otomatis dapat dilihat pada Gambar 4 berikut.



Gambar 4. Rancangan Model Sistem

a. Dataset Penjadwalan

Tahap pertama dalam arsitektur sistem ini dimulai dari pengumpulan dataset penjadwalan yang menjadi sumber utama informasi. Dataset tersebut terdiri atas data karyawan, data shift tiap outlet, serta data permintaan jadwal yang diajukan oleh masing-masing karyawan. Proses pengumpulan dilakukan melalui wawancara langsung dengan pihak terkait, pengamatan di lapangan, serta dokumentasi internal perusahaan yang diakses secara terbatas dengan izin dari crew-



leader. Informasi-informasi ini menjadi input awal yang sangat penting karena akan mempengaruhi seluruh proses penjadwalan, baik dari segi akurasi maupun pemenuhan kebutuhan operasional perusahaan.

b. Constraint Layer

Setelah data berhasil dikumpulkan, berikutnya adalah proses identifikasi dan pemisahan aturan atau ke dalam Constraint Layer. Di tahap ini, aturan diklasifikasikan menjadi dua jenis, yaitu hard constraint dan soft constraint. Hard constraint merupakan aturan yang wajib dipenuhi oleh sistem, seperti jumlah minimal karyawan per shift dan waktu kerja maksimal agar sesuai dengan regulasi perusahaan. Sedangkan soft constraint bersifat fleksibel dan idealnya dipenuhi, seperti preferensi jadwal dari masing-masing karyawan. Constraint Layer ini menjadi filter penting untuk mengarahkan proses optimasi agar solusi yang dihasilkan tidak hanya valid tetapi juga realistis dan adil.

c. Optimasi Model

Setelah constraint diterapkan, proses dilanjutkan pada tahap optimasi model yang merupakan inti dari sistem penjadwalan ini. Optimasi dilakukan melalui dua pendekatan utama, yaitu Algoritma Genetika (GA) dan Constraint Satisfaction Problem (CSP). Tahapan algoritma berperan dalam mengeksplorasi berbagai kombinasi jadwal untuk memperoleh solusi penjadwalan yang optimal. Proses tersebut meliputi beberapa langkah utama, yaitu:

1. Inisialisasi Populasi

Inisialisasi populasi awal merupakan tahap awal dalam pembentukan kumpulan kromosom yang akan digunakan sebagai calon solusi. Nilai setiap individu dalam populasi awal ditentukan berdasarkan data atau parameter yang diberikan oleh pengguna. Setelah seluruh nilai individu diperoleh, sistem kemudian membangkitkan populasi awal dengan menginisialisasi kromosom-kromosom tersebut sebagai dasar untuk proses evolusi selanjutnya [16].

2. Evaluasi Fitness

Fungsi objektif merupakan komponen matematis yang digunakan untuk menilai kualitas suatu solusi dalam proses optimasi, termasuk pada penerapan algoritma genetika. Dalam konteks penelitian ini, fungsi objektif atau *fitness function* berperan dalam mengukur sejauh mana jadwal yang dihasilkan memenuhi kriteria penjadwalan yang optimal [17]. Setiap individu (kromosom) dievaluasi berdasarkan tingkat kesesuaiannya terhadap beberapa indikator, seperti meminimalkan bentrok jadwal (karyawan mendapat lebih dari satu shift atau bekerja di dua outlet pada hari yang sama), menyeimbangkan distribusi shift antar karyawan, serta memastikan seluruh batasan operasional terpenuhi termasuk jumlah maksimal shift per minggu dan kesesuaian dengan jam kerja yang ditentukan.

3. Seleksi

Proses seleksi merupakan tahap penting dalam algoritma genetika yang bertujuan memilih individu terbaik dari setiap populasi untuk dijadikan calon induk (*parent*) pada proses reproduksi berikutnya [18]. Dalam penelitian ini, seleksi dilakukan menggunakan metode *tournament selection*, di mana sejumlah individu dipilih secara acak dari populasi, kemudian individu dengan nilai *fitness* tertinggi ditetapkan sebagai pemenang turnamen dan dipilih sebagai induk. Nilai *fitness* yang digunakan mengacu pada tingkat kepatuhan individu terhadap berbagai constraint penjadwalan, seperti tidak bekerja di dua outlet pada hari yang sama, tidak memiliki dua shift dalam satu hari, serta kesesuaian dengan jumlah maksimal hari kerja dan permintaan jadwal karyawan. Dengan mekanisme ini, individu yang paling optimal dalam memenuhi aturan dan preferensi penjadwalan memiliki peluang lebih besar untuk menghasilkan keturunan yang lebih baik pada generasi selanjutnya.

4. Crossover

Penyilangan (*crossover*) merupakan proses pertukaran gen antar dua kromosom induk untuk menghasilkan kromosom baru yang mewarisi sebagian sifat dari masing-masing induknya. Dalam konteks penelitian ini, proses *crossover* berperan penting dalam membentuk variasi solusi penjadwalan shift karyawan. Melalui mekanisme ini, kombinasi jadwal dari dua individu terbaik digabungkan untuk menghasilkan jadwal baru yang berpotensi lebih optimal dan efisien [19].

5. Mutasi

Mutasi berperan penting dalam menjaga keberagaman solusi pada populasi jadwal dengan cara memperkenalkan variasi gen baru atau mengubah sebagian kecil gen yang sudah ada. Dalam penelitian ini, proses mutasi dilakukan untuk mencegah sistem penjadwalan shift karyawan terjebak pada solusi lokal yang kurang optimal dan memungkinkan eksplorasi ruang solusi yang lebih luas. Mutasi dapat berupa pertukaran posisi shift antar karyawan atau perubahan penugasan shift dalam satu hari tertentu. Tingkat probabilitas mutasi telah ditetapkan sebelumnya dengan nilai (0.4) untuk mengatur seberapa sering perubahan gen terjadi pada setiap generasi. Penentuan nilai probabilitas mutasi sebesar (0.4) karena karena permasalahan penjadwalan yang diteliti memiliki banyak hard constraint sehingga ruang solusi yang valid menjadi sangat terbatas. Nilai mutasi yang lebih tinggi diperlukan agar populasi tidak cepat kehilangan keberagaman solusi. Selain itu, penggunaan Constraint Satisfaction Problem (CSP) sebagai mekanisme validasi memastikan bahwa kromosom hasil mutasi tetap memenuhi seluruh hard constraint yang ditetapkan, sehingga tingkat mutasi yang tinggi tidak menghasilkan solusi yang tidak valid. Ini menggambarkan persentase gen dalam populasi yang berpotensi mengalami mutasi, sehingga membantu menjaga keseimbangan antara eksplorasi solusi baru dan kestabilan hasil penjadwalan [20].

CSP berperan sebagai mekanisme pemenuhan hard constraint, sedangkan GA digunakan sebagai metode optimasi untuk mencari solusi terbaik berdasarkan soft constraint. Integrasi GA dan CSP dilakukan dengan menjadikan CSP sebagai filter dan validator solusi pada setiap tahapan evolusi GA. Pada tahap inisialisasi populasi, kromosom awal



dibangkitkan secara acak, namun setiap kromosom yang dihasilkan harus terlebih dahulu divalidasi menggunakan CSP. Kromosom yang melanggar hard constraint, seperti karyawan bekerja di dua outlet pada hari yang sama, memiliki dua shift dalam satu hari, atau melanggar jam operasional, akan langsung dieliminasi dan tidak dimasukkan ke dalam populasi awal. Dengan demikian, seluruh populasi awal yang digunakan oleh GA telah memenuhi aturan dasar penjadwalan.

d. Output Hasil Penjadwalan

Tahap terakhir dalam arsitektur ini adalah penyajian Output Hasil Penjadwalan. Setelah melalui proses optimasi, sistem akan menghasilkan jadwal penugasan karyawan yang ditampilkan dalam format tabel. Selain jadwal, sistem juga menampilkan nilai fitness dari solusi yang dihasilkan, yang berfungsi sebagai kualitas penjadwalan berdasarkan tingkat pelanggaran terhadap hard maupun soft constraint. Semakin tinggi nilai fitness, semakin baik solusi yang dihasilkan. Output ini memberikan hasil yang jelas kepada pihak manajemen mengenai efektivitas model, serta membantu dalam mengambil Keputusan penjadwalan yang optimal dengan mempertimbangkan efisiensi operasional dan kepuasan karyawan.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1 Deskripsi Sistem

Sistem penjadwalan shift karyawan Nasi Balap Cucun (NBC) dikembangkan menggunakan bahasa pemrograman Python dengan bantuan pustaka DEAP (Distributed Evolutionary Algorithms in Python). Sistem ini memanfaatkan kombinasi Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA) dan Constraint Satisfaction Problem (CSP) untuk menghasilkan jadwal kerja mingguan yang efisien, adil, dan sesuai dengan aturan operasional perusahaan. 2 jenis data yang digunakan sebagai input sistem adalah:

- Data Karyawan, berisi identitas, posisi, serta status kerja (full-time/part-time).
- Data Shift Outlet, mencakup waktu mulai dan selesai, jumlah kebutuhan tenaga kerja, serta lokasi outlet.

Proses penjadwalan dilakukan secara otomatis menggunakan mekanisme evolusi GA yang dikontrol oleh parameter tertentu dan dievaluasi menggunakan fungsi fitness dengan penalti dan bonus yang ditetapkan.

3.2 Metode Pengujian Sistem

Pengujian dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan kualitas hasil sistem penjadwalan berbasis Genetic Algorithm (GA) dan Constraint Satisfaction Problem (CSP). Metode pengujian yang digunakan adalah *Performance Testing* yang dimana metode ini digunakan untuk membandingkan waktu penjadwalan manual dan sistem otomatis. Hasil dari pengujian sistem dapat dilihat pada tabel 3 dibawah ini.

Tabel 3. Performance Testing

Metode	Rata-Rata Waktu
Manual	35 menit – 95 menit
Sistem (Algoritma Genetika + Constraint Satisfaction Problem)	8 detik
Efisiensi Waktu	$\geq 80\%$

Tabel 3 menunjukkan perbandingan kinerja waktu antara metode manual dan sistem berbasis Algoritma Genetika dengan *Constraint Satisfaction Problem* (CSP). Pada metode manual, proses penyusunan jadwal membutuhkan waktu yang cukup lama, yaitu sekitar 35 hingga 95 menit, karena dilakukan secara konvensional dan bergantung pada kemampuan manusia. Sebaliknya, penggunaan sistem berbasis Algoritma Genetika dan CSP mampu menyelesaikan proses penjadwalan hanya dalam waktu sekitar 8 detik. Perbedaan waktu yang sangat signifikan ini menghasilkan efisiensi waktu sebesar $\geq 80\%$, sehingga dapat disimpulkan bahwa sistem yang dikembangkan jauh lebih efektif dan efisien dibandingkan metode manual dalam hal kecepatan penyusunan jadwal.

3.3 Inisialisasi Parameter dan Fungsi Fitness

a. Parameter Algoritma Genetika

- Population Size (70) : Jumlah individu yang dihasilkan dalam satu populasi awal. Semakin besar nilai ini, semakin beragam solusi yang dieksplorasi oleh sistem.
- Max Generation (50) : Banyaknya generasi yang dijalankan. Proses evolusi akan berhenti setelah mencapai 50 generasi atau ketika solusi sudah konvergen.
- Mutation Rate (0.4): Peluang mutasi sebesar 40%, yang berarti hampir separuh individu dapat mengalami perubahan gen kecil untuk menjaga keragaman solusi.
- Tournament Size (3) : Setiap proses seleksi memilih tiga individu secara acak dan memilih yang terbaik di antara mereka untuk menjadi *parent*.

b. Bobot Penalti dan Bonus Fitness

Dalam fungsi fitness, penalti dan bonus digunakan untuk mengatur sejauh mana jadwal memenuhi atau melanggar constraint. Penetapan nilainya adalah sebagai berikut:



1. PENALTY SHIFT TIDAK SESUAI (50): Dikenakan jika karyawan ditempatkan pada shift yang tidak sesuai dengan jam operasional atau aturan kerja.
2. PENALTY DOUBLE OUTLET SEHARI (200): Penalti terbesar karena satu karyawan tidak boleh bekerja di dua outlet pada hari yang sama.
3. PENALTY SHIFT GANDA SEHARI (100): Diberikan jika karyawan dijadwalkan di dua shift pada hari yang sama.
4. PENALTY KURANG HARI_KERJA (20): Diberikan jika karyawan bekerja kurang dari jumlah minimal hari kerja per minggu.
5. PENALTY SHIFT MALAM KE PAGI (100): Menghindari penjadwalan tidak wajar dari shift malam langsung ke pagi berikutnya.
6. BONUS REQUEST TERPENUHI (10): Menambah nilai fitness jika jadwal sesuai dengan preferensi (request) karyawan.

Dengan pengaturan ini, sistem tidak hanya berfokus pada kepatuhan aturan (*hard constraint*), tetapi juga mengakomodasi keinginan karyawan (*soft constraint*) untuk menciptakan jadwal yang lebih adil dan realistis.

3.4 Alur Proses Algoritma Genetika

a. Inisialisasi Populasi

Pada tahap ini, sistem membangkitkan inisialisasi populasi dengan parameter POP_SIZE = 70 secara acak, yang dimana proses ini akan memberikan 70 individu / opsi jadwal setiap generasi/iterasi dan dari 70 opsi tersebut akan diambil 1 jadwal terbaik berdasarkan nilai dari fitness yang akan diproses pada tahap evaluasi fitness. Hasil dari proses inisialisasi populasi keluar setelah melalui proses Evaluasi Fitness, Seleksi, Crossover dan Mutasi. Setelah melalui proses pada generasi pertama/iterasi pertama, hasil penjadwalan terbaik pada generasi pertama dapat dilihat pada tabel 7.

b. Evaluasi Fitness

Setelah proses Inisialisasi Populasi berjalan dengan menghasilkan 70 opsi penjadwalan yang dipilih secara acak, kemudian sistem menjalankan proses evaluasi fitness. Pada tahap ini, sistem memeriksa konfigurasi shift dari individu pertama dalam populasi dan mengaitkannya dengan data karyawan. Nilai fitness dihitung berdasarkan bobot penalti dan bonus yang telah ditetapkan. Individu dengan total penalti terendah akan memperoleh nilai fitness tertinggi, sehingga lebih berpeluang dipilih dalam tahap seleksi. Berikut adalah evaluasi fitness 10 individu terbaik pada generasi pertama.

Tabel 4. Evaluasi Fitness Setiap Individu

Individu	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
Fitness	-1049	-1349	-1549	-1550	-1649	-1745	-1748	-1750	-1848	-1849

c. Seleksi

Tahap seleksi bertujuan memilih individu terbaik yang akan menjadi induk (parent) dalam proses pembentukan generasi baru. Dengan menggunakan parameter "TOURNAMENT_SIZE = 3", artinya tiga individu dipilih secara acak dari populasi, kemudian individu dengan fitness tertinggi menjadi pemenang dan dipilih sebagai induk. Metode ini menjaga keseimbangan antara eksploitasi (memilih solusi terbaik) dan eksplorasi (mempertahankan variasi populasi) agar tidak cepat terjebak pada solusi lokal. Berikut adalah hasil seleksi dengan metode Tournament Selection dengan parameter yang telah ditentukan pada generasi pertama yang induknya diambil dari setiap individu yang dihasilkan

d. Crossover

Tahap ini dilakukan untuk menggabungkan dua individu terbaik menjadi solusi baru yang diharapkan memiliki kombinasi gen lebih baik. Proses crossover menggunakan metode one-point crossover. Dua individu teratas dari populasi terbaik dipilih, lalu dilakukan pertukaran gen pada satu titik acak. Proses ini menghasilkan dua offspring baru yang merupakan kombinasi dari kedua parent tersebut. Tujuan crossover adalah menemukan kombinasi shift baru yang lebih efisien dibandingkan solusi sebelumnya. Proses ini menghasilkan output Parent 1, Parent 2, Child 1, dan Child 2 pada generasi pertama.

e. Mutasi

Mutasi bertujuan untuk menjaga keragaman genetik dalam populasi dengan melakukan perubahan acak pada sebagian gen, misalnya menukar posisi shift antar karyawan. Hal ini mencegah sistem terjebak pada solusi suboptimal (local optimum) dan memberi peluang untuk menemukan konfigurasi jadwal baru yang lebih baik. Dengan parameter Mutation Rate sebesar 0.4, maka hasil mutasi pada generasi pertama adalah sebagai berikut.

Setelah proses Inisialisasi Populasi, Evaluasi Fitness, Seleksi, Crossover, dan Mutasi pada generasi pertama, sistem kemudian menghasilkan jadwal terbaik pada generasi pertama yang dapat dilihat pada tabel jadwal dibawah ini

Tabel 5. Hasil penjadwalan generasi pertama

Nama Karyawan	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Tegar	STR1	S1	LIBUR	LIBUR	STR2	LIBUR	LIBUR
Joko	S1, S3	LIBUR	S2	LIBUR	STR1	S1	S1, S2



Nama Karyawan	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Vicko	LIBUR	LIBUR	S1	LIBUR	LIBUR	S3, STR1	LIBUR
Rasyid	S2	STR2	STR2	S2	S1	S1	S2
Fajar	S2	STR1	LIBUR	LIBUR	S1	LIBUR	LIBUR
Zulfikar	LIBUR	S1, S3	S1	LIBUR	LIBUR	STR2	S3
Tara	LIBUR	LIBUR	LIBUR	S1	S2	LIBUR	LIBUR
Yufen	LIBUR	S2	LIBUR	S1	LIBUR	S2	LIBUR
Resa	S1	LIBUR	LIBUR	S2, S3	LIBUR	S2	STR2
Haryo	LIBUR	LIBUR	S3	STR1	S3	LIBUR	S1
Arif	STR2	S2	S2, STR1	STR2	S2	LIBUR	STR1

Representasi jadwal dibuat dengan:

1. S1 : Shift Pagi Outlet 1
2. S2 : Shift Sore Outlet 1
3. S3 : Shift Malam Outlet 1
4. STR1 : Shift Pagi Outlet 2
5. STR2 : Shift Sore Outlet 2

Dari hasil analisis pada generasi pertama, sistem masih belum bisa menghasilkan jadwal yang optimal dikarenakan ada beberapa point yang dilanggar seperti:

1. Terdapat 2 kasus karyawan diberikan jadwal malam ke pagi ($2 \times 100 = 200$ point penalty)
2. Terdapat 2 kasus karyawan diberikan shift dengan outlet ganda ($2 \times 200 = 400$ point penalty)
3. kasus karyawan dijadwalkan di dua shift pada hari yang sama ($4 \times 100 = 400$ point penalty).

3.5 Hasil Penjadwalan

Setelah serangkaian proses yang dimulai dari Inisialisasi Populasi, Evaluasi Fitness, Seleksi, Crossover, dan mutasi selesai dari generasi pertama hingga generasi terakhir yaitu generasi ke 50, sistem menghasilkan jadwal yang lebih optimal dengan meminimalisir melanggar *constraint* yang telah ditetapkan. Tabel 6 dibawah adalah hasil penjadwalan setelah generasi ke 50

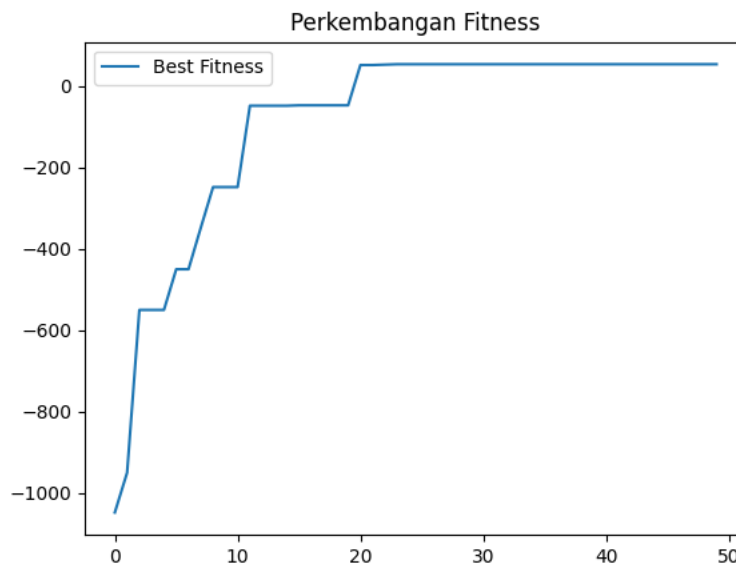
Tabel 6. Hasil Penjadwalan Gen Akhir

Nama Karyawan	Senin	Selasa	Rabu	Kamis	Jumat	Sabtu	Minggu
Tegar	Libur	S2	S3	S2	S2	STR2	LIBUR
Joko	S2	S2	LIBUR	LIBUR	STR1	S1	STR1
Vicko	STR 1	S1	LIBUR	LIBUR	S2	S1	S1
Rasyid	Libur	Libur	STR1	S1	S1	LIBUR	LIBUR
Fajar	Libur	Libur	STR2	S2	LIBUR	LIBUR	S3
Zulfikar	S2	STR2	S2	LIBUR	LIBUR	LIBUR	LIBUR
Tara	S3	Libur	LIBUR	S3	LIBUR	LIBUR	S1
Yufen	STR 2	S3	S2	S1	S3	S3	S2
Resa	S1	STR1	S1	LIBUR	S1	STR1	STR2
Haryo	S1	LIBUR	LIBUR	STR2	STR2	S2	S2
Arif	LIBUR	S1	S1	STR1	LIBUR	S2	LIBUR

Tabel diatas menampilkan hasil akhir penjadwalan kerja karyawan dalam satu minggu, mulai dari hari Senin hingga Minggu. Setiap baris menunjukkan nama karyawan, sedangkan setiap kolom menunjukkan hari kerja beserta status atau jenis shift yang dijalani, seperti S1, S2, S3, STR1, STR2, serta keterangan LIBUR. Jadwal ini merupakan hasil optimasi dari proses Algoritma Genetika yang telah mempertimbangkan berbagai batasan (*constraint*), seperti pembagian shift yang adil dan pemberian hari libur kepada karyawan. Dari tabel tersebut terlihat bahwa setiap karyawan memiliki kombinasi shift dan hari libur yang berbeda, sehingga beban kerja dapat tersebar secara merata. Dengan demikian, tabel ini menunjukkan bahwa sistem berhasil menghasilkan jadwal kerja yang terstruktur, seimbang, dan sesuai dengan aturan penjadwalan yang telah ditetapkan.

3.6 Analisis Nilai Fitness

Selama 50 generasi, sistem menunjukkan peningkatan nilai fitness yang signifikan dari nilai awal sekitar -1000 hingga mendekati 0. Pada generasi awal, nilai fitness rendah karena banyak individu yang melanggar constraint, seperti jumlah karyawan yang tidak sesuai per shift dan penugasan ganda dalam satu hari. Seiring proses evolusi berjalan, algoritma genetika melakukan seleksi, crossover, dan mutasi yang secara bertahap memperbaiki solusi. Peningkatan yang tajam pada 20 generasi pertama menunjukkan bahwa sistem berhasil mengeksplorasi solusi lebih baik, kemudian grafik mulai stabil menandakan proses konvergensi menuju solusi optimal. Kondisi ini menunjukkan bahwa kombinasi Algoritma Genetika dan Constraint Satisfaction Problem (CSP) mampu mengoptimalkan jadwal secara efektif.



Gambar 5. Pergerakan Nilai Fitness Setiap Generasi

Berdasarkan hasil akhir dari penjadwalan pada tabel 6, analisis menunjukkan:

- a. Tidak ada karyawan yang dijadwalkan di dua outlet pada hari yang sama, sehingga penalti double outlet (200) berhasil dihindari.
- b. Tidak ditemukan transisi shift malam ke pagi antar hari, menandakan penalti malam ke pagi (100) berhasil terhindari.
- c. Sebagian besar karyawan mendapatkan hari libur yang seimbang (1–2 hari per minggu), sesuai dengan status kerja (full-time/part-time).
- d. Distribusi shift seperti S1/S2 untuk Outlet 1 dan STR1/STR2 untuk Outlet 2 terlihat merata, menandakan pemerataan beban kerja.

Secara keseluruhan, kombinasi GA dan CSP terbukti mampu menghasilkan jadwal kerja yang efisien, adil, serta memenuhi constraint operasional dan preferensi personal karyawan dengan baik.

3.7 Analisis Hasil Penelitian

Hasil penelitian ini sejalan dengan penelitian terdahulu yang menerapkan Algoritma Genetika (GA) untuk penjadwalan karyawan, seperti yang dilakukan oleh Priatna dkk. dan Christie dkk [5][6], yang menunjukkan bahwa GA mampu meningkatkan efisiensi dan mengurangi konflik jadwal, meskipun masih berfokus pada pemenuhan kebutuhan tenaga kerja tanpa mempertimbangkan preferensi karyawan. Penelitian ini mengembangkan pendekatan tersebut dengan mengintegrasikan preferensi karyawan sebagai *soft constraint* dalam fungsi fitness serta menggunakan Constraint Satisfaction Problem (CSP) sebagai validator *hard constraint*, sehingga solusi yang tidak valid dapat dieliminasi sejak awal proses. Dibandingkan dengan penelitian Abram dkk. dan Pratama [7][8], integrasi GA dan CSP pada penelitian ini menghasilkan waktu komputasi yang lebih singkat (<10 detik) dan lebih sesuai untuk UMKM dengan kondisi tenaga kerja yang dinamis. Pemilihan *mutation rate* sebesar 0.4 didasarkan pada karakteristik masalah yang memiliki banyak *hard constraint* dan ukuran populasi yang relatif kecil (70 individu), sehingga diperlukan tingkat mutasi yang lebih tinggi untuk menjaga keberagaman solusi dan mencegah algoritma terjebak pada solusi lokal. Tingkat mutasi ini terbukti efektif karena mampu meningkatkan nilai fitness secara signifikan dari sekitar -1000 pada generasi awal menjadi 54 pada generasi ke-50, sementara CSP memastikan bahwa solusi hasil mutasi tetap valid secara operasional. Dengan demikian, pendekatan yang digunakan dinilai efektif dan relevan untuk penjadwalan karyawan pada UMKM dengan keterbatasan sumber daya dan aturan kerja yang kompleks.

4. KESIMPULAN

Hasil dari penelitian ini menjawab permasalahan penjadwalan shift karyawan pada UMKM Nasi Balap Cucun yang sebelumnya masih dilakukan secara manual, membutuhkan waktu lama, dan berpotensi menimbulkan konflik jadwal. Penerapan kombinasi Algoritma Genetika (GA) dan Constraint Satisfaction Problem (CSP) terbukti mampu menghasilkan jadwal kerja mingguan secara otomatis yang lebih adil dan sesuai dengan kebutuhan operasional serta preferensi karyawan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa waktu penyusunan jadwal berhasil dipercepat secara signifikan, dari rata-rata sekitar 45 menit menggunakan metode manual menjadi sekitar 8 detik dengan sistem otomatis, sehingga efisiensi waktu meningkat lebih dari 80%. Selain itu, nilai fitness meningkat dari sekitar -1000 pada generasi awal menjadi 54 pada generasi ke-50, yang menandakan berkurangnya pelanggaran constraint. Jadwal akhir tidak menunjukkan konflik antarshift, penugasan ganda, maupun pelanggaran *hard constraint*. Kontribusi penelitian ini terletak pada penerapan integrasi GA dan CSP yang efektif untuk penjadwalan karyawan pada UMKM dengan jumlah karyawan terbatas dan aturan kerja yang kompleks. Pendekatan ini membantu UMKM meningkatkan efisiensi operasional dan



pemerataan beban kerja karyawan secara praktis. Untuk penelitian selanjutnya, sistem dapat dikembangkan dengan menambahkan fitur *auto re-schedule* agar mampu menyesuaikan jadwal secara real-time ketika terjadi perubahan mendadak. Selain itu, pengujian pada skala UMKM yang lebih besar dan pengembangan optimasi multi-objektif dapat dilakukan untuk meningkatkan fleksibilitas dan kinerja sistem.

REFERENCES

- [1] Husaini.M, R. Siti, dan A. Marizka, "Implementasi Program Perluas Jangkauan UMKM Di Kabupaten Balangan," *Implementasi Progr. Perluas Jangkauan UMKM Di Kabupaten Balangan*, vol. 2, no. 4, hal. 1275--1289, 2023, doi: 10.55681/sentri.v2i6.1027.
- [2] S. Yufra dan M. Taneo, "Research in Business & Social Science Improving the human resource capability of food SMEs managers through training : A preliminary research," *International Journal Of Research In Business And Social Science*, vol. 11, no. 9, hal. 90–96, 2022, doi: 10.20525/ijrbs.v11i9.2163.
- [3] N. N. Hasan, F. Maulana, A. P. Wiguna, dan O. Iqbal, "Pemanfaatan Teknologi Informasi Untuk Efisiensi Operasional UMKM," vol. 2, no. 4, hal. 285–291, 2023, doi: <https://doi.org/10.60126/sainmikum.v2i4.1094>.
- [4] S. I. Farida dan L. Hakim, "Pengaruh Kompensasi dan Motivasi Terhadap Kinerja Karyawan Departement Food And Beverage pada Gran Melia Hotel, Jakarta Selatan," *J. Madani Ilmu Pengetahuan, Teknol. dan Hum.*, vol. 5, no. 1, hal. 1–18, 2022, doi: 10.33753/madani.v5i1.167.
- [5] W. Priatna, J. Warta, dan D. Sulistiyono, "Implementasi Algoritma Genetika untuk Aplikasi Penjadwalan Sistem Kerja Shift," *Techno.Com*, vol. 22, no. 1, hal. 235–246, 2023, doi: 10.33633/tc.v22i1.7049.
- [6] S. A. Christie, R. Priskila, dan A. C. Saputra, "Sistem Penjadwalan Karyawan Meine Welt menggunakan Algoritma Genetika," *J. Inf. Technol. Comput. Sci.*, vol. 4, no. 4, hal. 371–383, 2024, doi: <https://doi.org/10.47111/jointecom.v4i4>.
- [7] K. Abram, N. Achmad, M. R. F. Payu, N. Nurwan, D. Wungguli, dan A. Asriadi, "Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Karyawan Ira Stationary," *Euler J. Ilm. Mat. Sains dan Teknol.*, vol. 11, no. 1, hal. 22–34, 2023, doi: 10.34312/euler.v11i1.17364.
- [8] Y. Pratama, "Optimalisasi Penjadwalan Karyawan Paruh Waktu Berdasarkan Nilai Fitness Terbaik Menggunakan Algoritma Genetika," *J. Nas. Inform.*, vol. 2, no. 2, hal. 114–142, 2021, doi: <https://ejournal-ibik57.ac.id/index.php/junif/article/view/336>.
- [9] M. Desmarini, N. R. Sarip, dan D. S. Agustini, "Sistem Penjadwalan Rapat Pada Kantor Dinas Perhubungan Provinsi Sumatera Utara Menggunakan Algoritma Genetika," *Jurnal Elektronika dan Komputer*, vol. 17, no. 2, hal. 635–643, 2024, doi: <https://doi.org/10.51903/elkom.v17i2.2218>.
- [10] P. Pirozmand, A. A. R. Hosseinabadi, M. Farrokhzad, M. Sadeghilalimi, S. Mirkamali, dan A. Slowik, "Multi-objective hybrid genetic algorithm for task scheduling problem in cloud computing," *Neural Comput. Appl.*, vol. 33, no. 19, hal. 13075–13088, 2021, doi: 10.1007/s00521-021-06002-w.
- [11] F. Mone dan J. E. Simarmata, "Aplikasi Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Kuliah," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 15, no. 4, hal. 615–628, 2021, doi: 10.30598/barekengvol15iss4pp615-628.
- [12] A. Toyib Hidayat, L. Hakim, Rio, dan M.Afif Ravanza, "Implementasi Sistem Penjadwalan Mata Kuliah Menggunakan Metode Algoritma Genetika Berbasis Web," *Bull. Comput. Sci. Res.*, vol. 4, no. 1, hal. 50–56, 2023, doi: 10.47065/bulletincsr.v4i1.304.
- [13] A. Harfani, "Penerapan Metode Constraint Satisfaction Problem Pada Sistem Pakar Diagnosa Penyakit Shigellosis," *J. Informatics Manag. Inf. Technol.*, vol. 2, no. 4, hal. 150, 2022, [Daring]. Tersedia pada: <https://hostjournals.com/jimat%7C10.47065/jimat.v2i4.179>
- [14] R. Ghina Zahidah dan R. Amanda Putri, "Implementasi Algoritma Constraint Satisfaction Problems dan Backtracking Pada Penjadwalan Kegiatan Belajar Mengajar," *Media Teknol. Inf. dan Kompter J.*, vol. 9, no. 1, hal. 82–91, 2025, doi: 10.47002/metik.v9i1.1042.
- [15] V. S. Reddy, V. K. Prasad, J. Wang, dan K. T. V. Reddy, *Soft Computing and Signal Processing*. Springer, 2020. doi: <https://doi.org/10.1007/978-981-16-1249-7>.
- [16] H. A. Hatim dan F. Ahmad, "Pendekatan Algoritma Genetika Dalam Upaya Optimalisasi Penjadwalan Di PT. Nuansa Indah," *JISI: Jurnal Integrasi Sistem Industri*, vol. 9, no. 2, hal. 145–154, 2022, doi: <https://dx.doi.org/10.24853/jisi.9.2>.
- [17] L. Aryani dan S. Yurinda, "Optimasi Penjadwalan Petugas Penjagaan Portal Dinas Perhubungan Batang Hari dengan Algoritma Genetika," *JISTech (Journal of Islamic Science and Technology)*, vol. 10, no. 1, hal. 72–84, 2025, doi: <http://dx.doi.org/10.30829/jistech.v10i1.23318>.
- [18] H. Mayyani *et al.*, "Penerapan Algoritma Genetika Dengan Metode Roulette Wheel Dan Replacement Pada Masalah Memaksimumkan Omzet," *J. Math. Its Appl.*, vol. 19, no. 2, hal. 153–172, 2023, doi: <https://doi.org/10.29244/milang.19.2.153-172>.
- [19] Emirensiana Padaka, Yulius Nahak Tetik, dan Dian Fransiska Ledi, "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Mata Pelajaran Di SMK Negeri 1 Kota Tambolaka," *J. Pendidikan, Sains Dan Teknol.*, vol. 2, no. 4, hal. 966–974, 2023, doi: <https://doi.org/10.47233/jpst.v2i4.1314>.
- [20] L. Syakina, T. Bakhtiar, F. Hanum, dan P. T. Supriyo, "Penentuan Rute Distribusi Rastra Menggunakan Algoritma Genetika," *MILANG J. Math. Its Appl.*, vol. 19, no. 2, hal. 97–115, 2023, doi: 10.29244/milang.19.2.97-115.