

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK PENJADWALAN
PELAJARAN DI PONPES YASRIB**

TUGAS AKHIR SKRIPSI



Oleh

MUH ALFARID JUFDA

13020220256

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
MAKASSAR**

2026

**IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK PENJADWALAN
PELAJARAN DI PONPES YASRIB**

TUGAS AKHIR SKRIPSI

Diajukan untuk memenuhi salah satu syarat memperoleh gelar Sarjana Komputer
(S. Kom) pada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Muslim Indonesia



Oleh

MUH ALFARID JUFDA 13020220256

**PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS ILMU KOMPUTER
UNIVERSITAS MUSLIM INDONESIA
MAKASSAR
2026**

KATA PENGANTAR

Bismillahirrahmaanirrahiim.

Assalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Segala puji dan syukur penulis panjatkan ke hadirat Allah Subhanahu wa Ta'ala atas rahmat, hidayah, dan karunia-Nya sehingga penulis dapat menyelesaikan penyusunan tugas akhir dengan judul "IMPLEMENTASI ALGORITMA GENETIKA UNTUK PENJADWALAN PELAJARAN DI PONPES YASRIB". Penelitian ini dilaksanakan sejak bulan Juni tahun 2025 hingga bulan Desember tahun 2025, sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana pada Fakultas Ilmu Komputer Universitas Muslim Indonesia.

Tugas akhir ini tidak lepas dari berbagai tantangan, baik dalam proses penelitian maupun dalam penyusunan laporan. Namun dengan izin Allah SWT serta dukungan dari berbagai pihak, penulis mampu menyelesaikannya hingga tahap akhir.

Secara khusus, penulis menyampaikan rasa hormat, terima kasih, dan doa yang tulus kepada kedua orang tua tercinta atas cinta, doa, pengorbanan, dan dukungan moral serta material yang tiada henti sepanjang proses pendidikan hingga penyusunan tugas akhir ini. Selanjutnya, penulis juga menyampaikan ucapan terima kasih kepada:

1. Bapak Prof. Dr. H. Hambali Thalib, S.H.,M.H, selaku Rektor Universitas Muslim Indonesia.
2. Bapak Dr. Ir. Purnawansyah, M.Kom. selaku Dekan Fakultas Ilmu Komputer.
3. Bapak Tasrif Hasanuddin, S.T., M.Cs. selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika.

Penulis berharap tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi semua pihak yang membutuhkan serta dapat menjadi kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan dan teknologi di bidang yang relevan. Wassalamu Alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh.

Makassar, Februari 2026

Muh Alfarid Jufda

DAFTAR ISI

HALAMAN SAMPUL	
DAFTAR ISI.....	ii
DAFTAR TABEL.....	iii
DAFTAR GAMBAR	iii
DAFTAR ISTILAH	iv
BAB I PENDAHULUAN.....	1
A. Latar Belakang.....	1
B. Rumusan Masalah.....	2
C. Tujuan Penelitian.....	2
D. Batasan Masalah	2
E. Manfaat Penelitian.....	3
BAB II LANDASAN TEORI.....	4
A. Tinjauan Pustaka.....	4
B. Kerangka Pemikiran.....	7
BAB III METODOLOGI PENELITIAN.....	8
A. Tahapan Penelitian	8
B. Desain Penelitian	10
C. Algoritma Genetika	15
D. Metode Penelitian	20
E. Definisi Operasional Variabel.....	22
F. Hipotesis Penelitian	23
BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN	24
A. Hasil Penelitian.....	24
B. Pembahasan.....	38
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN.....	42
A. Kesimpulan	43
B. Saran	43
DAFTAR PUSTAKA.....	45
LAMPIRAN	47

DAFTAR TABEL

Tabel 1 Contoh Seleksi	17
Tabel 2 Tabel operasional variabel.....	22
Tabel 3 Data Mata Pelajaran	24
Tabel 4 Data Guru	25
Tabel 5 Data Kelas.....	25
Tabel 6 Data Hari Operasional.....	26
Tabel 7 Slot Waktu Pembelajaran	26
Tabel 8 Ringkasan Dataset Penelitian	26
Tabel 9 Populasi I (Random).....	27
Tabel 10 Populasi II (Random)	28
Tabel 11 Populasi III (Random)	29
Tabel 12 Mekanisme Elitism dalam Algoritma Genetika.....	34
Tabel 13 Contoh Proses Elitism (Generasi ke-n)	34
Tabel 14 Sample Parent 1 Sebelum <i>Crossover</i>	35
Tabel 15 Sample Parent 2 Sebelum <i>Crossover</i>	35
Tabel 16 Child Hasil <i>Crossover</i> (Kombinasi Parent 1 & Parent 2).....	36
Tabel 17 Kandidat Kromosom Sebelum <i>Tournament selection</i>	36
Tabel 18 Jenis-Jenis Mutasi dan Karakteristiknya	37
Tabel 19 Contoh Mutasi - Sebelum dan Sesudah.....	38
Tabel 20 Statistik Efektivitas Mutasi Per Generasi	38

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1. Kerangka berfikir.....	7
Gambar 2. Tahapan penelitian.....	8
Gambar 3. Desain penelitian	10
Gambar 4. Contoh Inisialisasi Populasi Awal.....	11
Gambar 5. Contoh evaluasi <i>fitness</i> tiap individu.....	12
Gambar 6. Contoh kondisi terminasi tercapai	12
Gambar 7. Contoh seleksi dengan <i>tournament selection</i>	13
Gambar 8. Contoh <i>Crossover</i> antar individu terpilih	14
Gambar 9. Contoh mutasi binary/swap mutation	14
Gambar 10. Contoh hasil jadwal optimal.....	15
Gambar 11. Inisialisasi populasi awal [22].....	16
Gambar 12 Ringkasan Evaluasi Constraint.....	32
Gambar 13 Visualisasi Pemenuhan <i>Hard Constraints</i>	39
Gambar 14 Visualisasi Pemenuhan Soft Constraints	40

Gambar 15 Kurva Konvergensi <i>Fitness</i> per Generasi	40
Gambar 16 Distribusi Jam Mengajar per Guru	41
Gambar 17 Perbandingan Metode Manual vs Algoritma Genetika	42
Gambar 18 Melapor kepada kepala sekola untuk pengambilan data	47
Gambar 19 Wawancara kepada wakamad kurikulum	47

DAFTAR ISTILAH

1. *Fitness* :Nilai yang menunjukkan seberapa baik solusi dalam memenuhi semua batasan sistem.
2. *Crossover* : Proses persilangan dua individu dalam algoritma genetika untuk menghasilkan solusi baru.
3. Mutasi : Proses perubahan acak pada gen untuk menjaga keragaman populasi.
4. *Tournament selection*: Metode seleksi individu berdasarkan kompetisi antar beberapa individu terpilih secara acak.
5. Kromosom :Representasi satu solusi jadwal dalam algoritma genetika.

BAB I PENDAHULUAN

A. Latar Belakang

Penjadwalan merupakan bagian penting dalam sistem pendidikan karena berfungsi untuk mengatur alokasi waktu, ruang kelas, guru, dan peserta didik secara efektif. Penjadwalan yang baik harus mampu menghindari bentrokan jadwal dan menyesuaikan dengan berbagai batasan teknis yang berlaku. Namun, dalam praktiknya, penyusunan jadwal secara manual sering menimbulkan kendala seperti konflik waktu, ketidaksesuaian kapasitas ruang, serta ketidakseimbangan beban kerja antar guru. Proses tersebut juga membutuhkan waktu lama dan tingkat ketelitian tinggi, sehingga berisiko menimbulkan kesalahan input data [1].

Pondok Pesantren Yasrib merupakan lembaga pendidikan yang menggabungkan kurikulum umum dan keagamaan. Saat ini, penyusunan jadwal pelajaran di lingkungan Madrasah Tsanawiyah (MTs) Ponpes Yasrib masih dilakukan secara manual oleh tata usaha. Proses ini rentan terhadap benturan jadwal guru, keterbatasan ruang, serta sering membutuhkan revisi berulang. Kondisi tersebut menyebabkan efektivitas kegiatan belajar mengajar menurun karena waktu penyusunan jadwal dapat memakan waktu hingga beberapa hari.

Beberapa penelitian menunjukkan bahwa algoritma genetika dapat digunakan untuk mengoptimalkan proses penjadwalan secara efisien. Studi yang dilakukan dalam beberapa penelitian [2]–[3] membuktikan bahwa penerapan algoritma genetika mampu mengurangi konflik jadwal dan mempercepat proses penyusunan. Sementara itu, penelitian lain [4] menunjukkan bahwa pendekatan ini lebih optimal dibandingkan metode manual, karena algoritma genetika dapat menyesuaikan parameter secara dinamis terhadap kondisi data yang kompleks..

Algoritma genetika merupakan metode pencarian solusi optimal yang meniru mekanisme evolusi biologis melalui proses seleksi, *Crossover*, dan mutasi. Metode ini memiliki keunggulan dalam menjelajahi ruang solusi secara luas, menghindari solusi lokal, serta menghasilkan jadwal yang adaptif terhadap perubahan data [5]. Berdasarkan keunggulan tersebut, algoritma

genetika dinilai tepat untuk diterapkan dalam sistem penjadwalan pelajaran di Pondok Pesantren Yasrib guna memperoleh jadwal yang efisien, akurat, dan minim konflik.

Berdasarkan uraian tersebut, ssaya mengangkat penelitian berjudul “Implementasi Algoritma Genetika untuk Penjadwalan Pelajaran di Ponpes Yasrib”. Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan algoritma genetika dalam menyusun jadwal pelajaran secara otomatis sehingga proses penyusunan lebih cepat, efisien, dan dapat mengurangi kesalahan atau bentrokan jadwal..

B. Rumusan Masalah

Rumusan masalah pada penelitian ini adalah bagaimana menerapkan Algoritma Genetika dalam sistem penjadwalan pelajaran di Pondok Pesantren Yasrib ?

C. Tujuan Penelitian

Tujuan penelitian ini adalah menerapkan algoritma genetika untuk membangun sistem penjadwalan pelajaran yang lebih cepat, efisien, dan optimal terhadap berbagai kendala yang terjadi di Pondok Pesantren Yasrib.

D. Batasan Masalah

Batasan masalah pada penelitian ini adalah:

1. Penelitian difokuskan pada penjadwalan pelajaran di tingkat MTs Pondok Pesantren Yasrib.
2. Variabel yang digunakan meliputi guru, mata pelajaran, kelas, ruang, dan waktu belajar.
3. Metode seleksi yang digunakan pada algoritma genetika adalah *Tournament selection*.
4. Penelitian ini tidak membahas tampilan antarmuka sistem, melainkan fokus pada mekanisme optimasi algoritma.
5. Data yang digunakan berdasarkan kondisi aktual satu tahun ajaran pada MTs Ponpes Yasrib.

E. Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian ini adalah:

1. Manfaat Teoritis

- a. Memberikan kontribusi terhadap pengembangan ilmu pengetahuan dalam *artificial intelligence* dan optimasi sistem, khususnya penerapan algoritma genetika untuk penyelesaian masalah penjadwalan pendidikan.
- b. Menambah literatur dan referensi ilmiah bagi kalangan akademisi dan peneliti yang ingin mengembangkan kajian serupa atau sejenis, baik dalam konteks pendidikan maupun optimasi penjadwalan.

2. Manfaat Praktis

- a. Manfaat bagi Penulis : Menambah pemahaman dan keterampilan dalam penerapan algoritma genetika pada penyelesaian masalah penjadwalan pendidikan.
- b. Manfaat bagi Masyarakat dan Dunia Akademik : Menjadi referensi bagi peneliti atau akademisi yang ingin mengembangkan kajian terkait optimasi penjadwalan berbasis algoritma genetika.
- c. Manfaat bagi Pondok Pesantren Yasrib :Memberikan solusi penyusunan jadwal pelajaran yang lebih cepat, akurat, dan minim bentrokan, sehingga dapat meningkatkan efektivitas kegiatan belajar mengajar.

BAB II LANDASAN TEORI

A. Tinjauan Pustaka

Penjadwalan merupakan proses perencanaan aktivitas pada waktu tertentu untuk menyelesaikan tugas secara efektif [6]. Dalam penyusunan jadwal mata pelajaran, berbagai komponen seperti kelas, mata pelajaran, guru yang mengajar, dan waktu pelajaran harus dipertimbangkan agar menghindari perulangan waktu, serta tabrakan yang terjadi antara guru mata pelajaran dan kelas yang ada [7]. Penjadwalan merupakan proses krusial dalam sistem pendidikan, terutama di lingkungan yang menggabungkan kurikulum umum dan keagamaan seperti pesantren. Proses manual seringkali menimbulkan konflik waktu, bentuk guru, dan ketidakefisien dalam alokasi sumber daya. Untuk mengatasi masalah ini, berbagai pendekatan komputasional telah dikembangkan, salah satunya adalah algoritma genetika. Algoritma ini telah terbukti efektif dalam menyelesaikan masalah penjadwalan di berbagai jenjang pendidikan. Misalnya, penelitian di perguruan tinggi berhasil mengimplementasikan algoritma genetika untuk menyusun jadwal perkuliahan dengan parameter *Crossover* 70% dan *mutation rate* 40%, yang menghasilkan jadwal dengan konflik minimal dan efisiensi tinggi [8]. Studi serupa di SMA Bina Jaya Palembang juga menunjukkan bahwa algoritma genetika mampu menghasilkan jadwal dengan nilai *fitness* mendekati sempurna (0,99) dalam waktu kurang dari 15 detik, dengan menggunakan parameter populasi 20, *Crossover rate* 0,6, dan *mutation rate* 0,3 [9]. Di sekolah SD Kreatif Muhammadiyah 2 Bontang juga saat ini, proses penyusunan jadwal mata pelajaran pada sekolah ini tidak dilakukan secara terstruktur. Akibatnya, jadwal yang telah dikeluarkan sering masih membutuhkan tabrakan antara jadwal mata pelajaran. Keadaan ini dapat berdampak negatif pada efisiensi penggunaan waktu dan daya kerja para pengajar, serta berpengaruh pada kualitas pembelajaran yang diterima oleh siswa [10]. Keberhasilan ini tidak terbatas pada lingkungan pendidikan; algoritma genetika juga diterapkan dalam penjadwalan shift kerja di perusahaan, di mana sistem berhasil menghasilkan jadwal dengan nilai penalti nol, menunjukkan tidak adanya pelanggaran aturan [11]. Fleksibilitas algoritma genetika dalam menangani berbagai batasan kompleks menjadikannya kandidat yang kuat untuk diadaptasi dalam konteks penjadwalan pesantren.

Selain pendekatan optimasi algoritmik, aspek penyampaian informasi jadwal juga menjadi perhatian dalam penelitian terkait. Pendekatan PIECES (Performance, Information, Economic, Control, Efficiency, Service) telah diimplementasikan dalam sistem penjadwalan dakwah berbasis mobile, yang berhasil meningkatkan transparansi, koordinasi, dan kualitas layanan melalui fitur notifikasi otomatis dan pelaporan yang terstruktur [12]. Pendekatan ini menekankan bahwa penjadwalan yang baik tidak hanya tentang mengoptimalkan alokasi sumber daya, tetapi juga tentang bagaimana informasi tersebut disampaikan kepada pengguna secara efektif. Hal ini sejalan dengan perkembangan sistem informasi jadwal kajian Islam berbasis Android di Kota Makassar, yang dirancang untuk mengatasi kendala akses informasi manual. Sistem tersebut dilengkapi dengan fitur pencarian, filter, pengingat, dan mekanisme pengusulan jadwal oleh pengguna, sehingga meningkatkan keterlibatan dan kepuasan pengguna [13]. Integrasi antara optimasi algoritma genetika dan prinsip-prinsip layanan berbasis pengguna seperti dalam PIECES dapat memberikan solusi yang lebih holistik untuk masalah penjadwalan di pesantren.

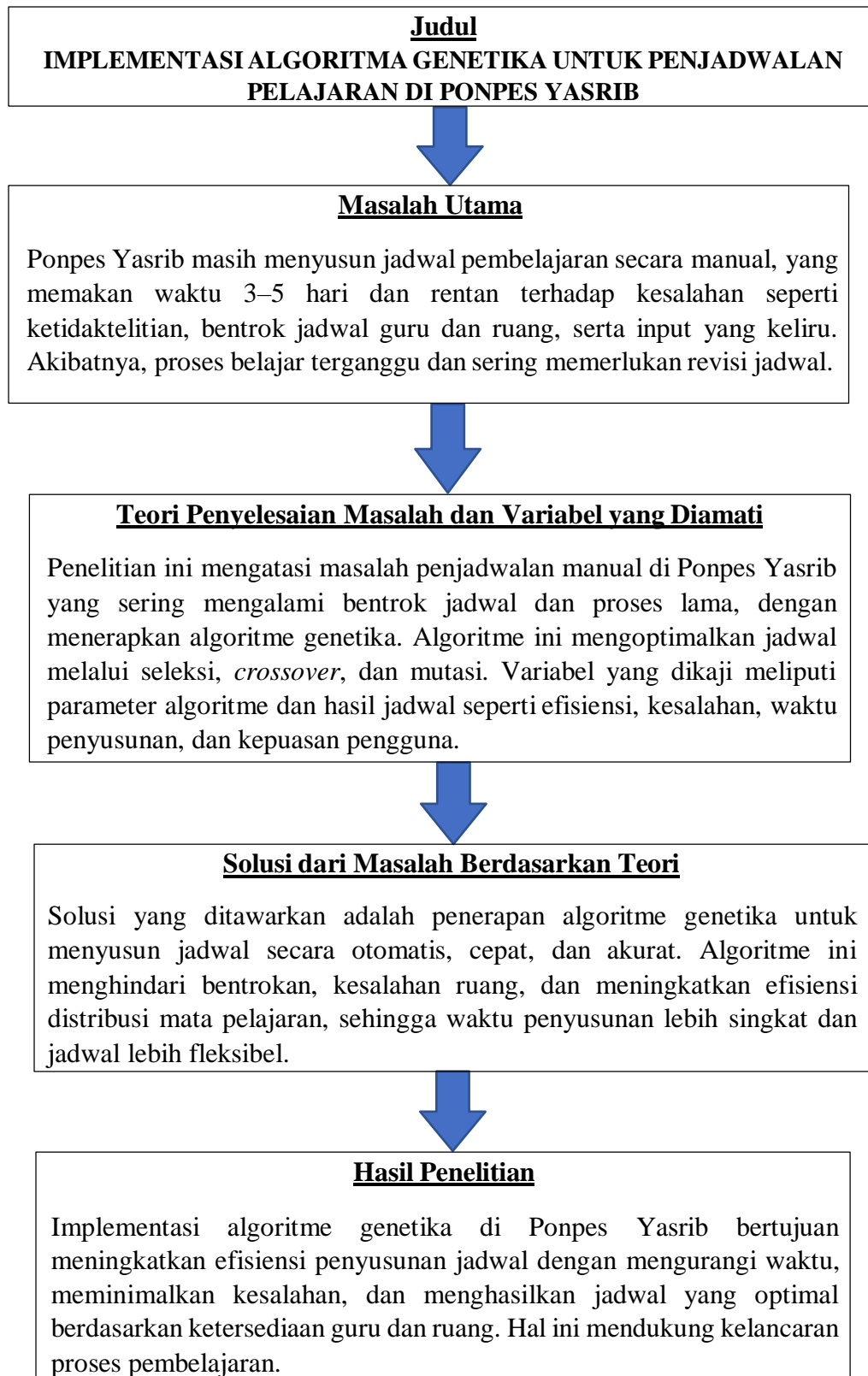
Secara teoritis, algoritma genetika adalah metode pencarian dan optimasi yang terinspirasi dari proses seleksi alam dalam evolusi. Algoritma ini bekerja dengan menggunakan populasi solusi potensial (kromosom) yang dievaluasi dan diperbaiki secara iteratif melalui proses seleksi, *Crossover*, dan mutasi untuk menemukan solusi terbaik [14]. Keunggulan algoritma genetika terletak pada kemampuannya menangani masalah kompleks dengan ruang pencarian yang luas dan bersifat multi-objektif. Contohnya, dalam penelitian forecasting pengunjung jurnal online, algoritma genetika berhasil mengoptimalkan bobot pada Neural Fuzzy System (NFS) dengan parameter populasi 30, generasi 600, *Crossover* rate 0,6, dan *mutation* rate 0,4, menghasilkan solusi yang sangat akurat (RMSE 0,989) [15]. Dalam konteks penjadwalan, representasi masalah ke dalam struktur genetika melibatkan konversi data seperti guru, mata pelajaran, ruang, dan waktu ke dalam bentuk gen, kromosom, dan populasi. Setiap gen merepresentasikan satu slot waktu dalam satu ruang, sedangkan kromosom membentuk jadwal lengkap untuk satu periode [16]. Populasi awal dibangkitkan secara acak, kemudian dievaluasi menggunakan fungsi *fitness* yang mengukur seberapa baik suatu solusi memenuhi batasan yang ditetapkan, baik Hard Constraint (batasan wajib) maupun soft

constraint (batasan preferensi) [17]. Fungsi *fitness* seringkali dirumuskan sebagai rasio antara aturan yang dipenuhi terhadap total aturan maksimal [18].

Proses evolusi dalam algoritma genetika melibatkan seleksi, di mana individu dengan pelanggaran paling sedikit (nilai penalti terendah) dipilih untuk dikembangkan lebih lanjut [19]. Metode seleksi seperti *tournament selection* sering digunakan untuk menjaga keseimbangan antara eksplorasi dan eksploitasi solusi. Selanjutnya, *Crossover* dilakukan dengan bertukarnya gen antara dua individu terpilih untuk menghasilkan keturunan dengan karakteristik gabungan [20]. Proses ini diikuti oleh mutasi, yang memperkenalkan variasi acak pada gen untuk menjaga keragaman populasi dan menghindari konvergensi prematur. Dua jenis mutasi yang umum digunakan adalah binary mutation (mengganti atribut gen secara acak) dan swap mutation (menukar posisi dua gen) [21]. Algoritma dihentikan ketika kondisi terminasi terpenuhi, misalnya ketika solusi telah bebas konflik, jumlah generasi mencapai batas maksimum, atau tidak ada peningkatan *fitness* yang signifikan dalam beberapa generasi berturut-turut [22].

Penerapan algoritma genetika dalam penjadwalan sekolah, seperti di SMP Negeri 2 Wonosegoro, menunjukkan bahwa pendekatan ini mampu menghasilkan jadwal yang bebas konflik, efisien, dan adaptif terhadap perubahan data setiap semester [23]. Efisiensi sistem diukur melalui nilai *fitness* yang mencerminkan tingkat kesesuaian solusi terhadap batasan, seperti yang dirumuskan dalam Persamaan (2), di mana *fitness* berbanding terbalik dengan jumlah konflik ruang, waktu, guru, dan pelanggaran batasan lainnya [24]. Sementara itu, optimalisasi dalam algoritma genetika sering melibatkan pendekatan multi-objektif untuk menyeimbangkan berbagai kriteria, seperti meminimalkan konflik, mempersingkat waktu penyusunan, dan memaksimalkan kepuasan pengguna. Fungsi objektif multi-kriteria seperti dalam Persamaan (3) memungkinkan evaluasi solusi berdasarkan bobot yang ditetapkan untuk setiap kriteria [25]. Dengan demikian, algoritma genetika tidak hanya menawarkan solusi teknis yang efisien, tetapi juga fleksibel untuk diintegrasikan dengan pendekatan lain guna meningkatkan kualitas layanan secara keseluruhan.

B. Kerangka Pemikiran

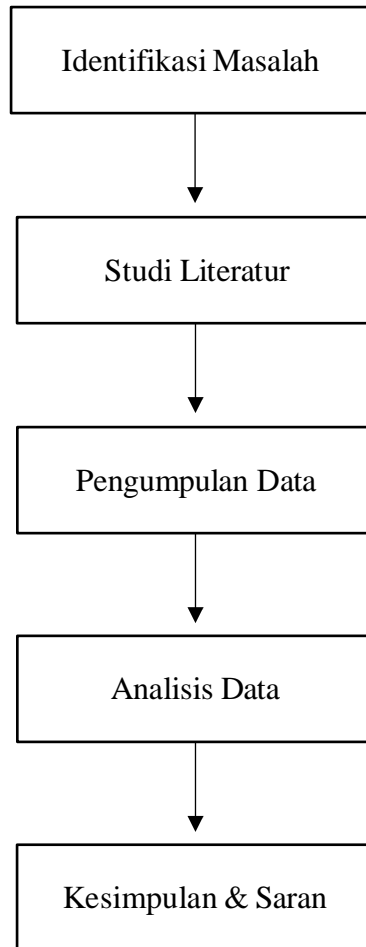


Gambar 1. Kerangka berfikir

BAB III METODOLOGI PENELITIAN

A. Tahapan Penelitian

Tahapan penelitian merupakan langkah-langkah sistematis yang dilakukan untuk menyelesaikan penelitian ini, dimulai dari identifikasi masalah hingga evaluasi hasil sistem. Berikut adalah tahapan penelitian yang dilakukan:



Gambar 2. Tahapan penelitian

1. Identifikasi Masalah

Penelitian ini diawali dengan proses identifikasi masalah yang terjadi di Pondok Pesantren Yasrib, khususnya dalam hal penyusunan jadwal pelajaran. Saat ini, penyusunan jadwal masih dilakukan secara manual oleh pihak tata usaha, yang membutuhkan waktu lama dan seringkali menyebabkan konflik jadwal antar guru, ruang kelas, maupun mata pelajaran. Selain itu, proses manual ini juga sangat tergantung pada ketelitian petugas dan berisiko tinggi terhadap kesalahan input. Masalah

tersebut semakin kompleks ketika jumlah data yang dikelola meningkat. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan otomatis yang mampu menyelesaikan masalah penjadwalan secara efisien dan akurat.

2. Studi Literatur

Setelah masalah utama diidentifikasi, dilakukan studi literatur untuk memperoleh dasar teori dan referensi dari penelitian sebelumnya. Fokus utama dari kajian literatur adalah pada penerapan algoritma genetika (genetic algorithm) untuk penjadwalan di lingkungan pendidikan. Studi literatur ini mencakup pemahaman konsep dasar algoritma genetika, mekanisme kerja seperti inisialisasi populasi, evaluasi *fitness*, proses seleksi, *Crossover*, dan mutasi, serta contoh penerapan dalam konteks serupa. Hasil studi ini digunakan untuk menyusun landasan teori serta kerangka kerja yang akan diadaptasi dalam penelitian ini.

3. Pengumpulan Data

Tahapan berikutnya adalah pengumpulan data yang dilakukan secara langsung di Pondok Pesantren Yasrib. Teknik yang digunakan meliputi wawancara dengan staf tata usaha dan guru untuk memahami kebutuhan dan kendala penjadwalan; observasi proses penyusunan jadwal manual untuk mengetahui alur kerja dan tantangan yang dihadapi; serta dokumentasi berupa data jumlah kelas, guru, mata pelajaran, ruang kelas, dan waktu pelajaran yang berlaku. Data ini menjadi bahan utama dalam membangun sistem penjadwalan otomatis berbasis algoritma genetika.

4. Analisis Data

Data yang telah dikumpulkan kemudian dianalisis untuk memahami struktur dan kompleksitas masalah penjadwalan. Analisis ini mencakup identifikasi Hard Constraint (batasan wajib seperti satu guru tidak bisa mengajar di dua tempat dalam waktu bersamaan) dan *soft constraint* (batasan fleksibel seperti menghindari jam kosong). Selanjutnya, dilakukan pemetaan struktur genetik, seperti bagaimana merepresentasikan gen (satu sesi pelajaran), kromosom (satu jadwal lengkap), serta menyusun fungsi

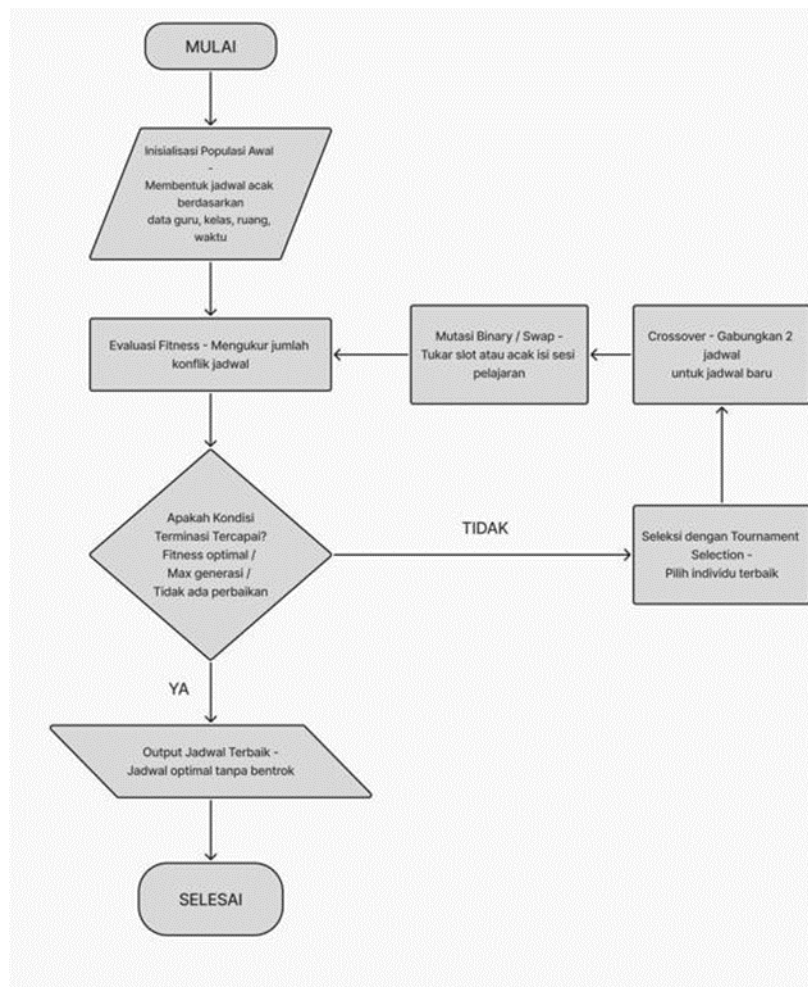
fitness untuk mengevaluasi kualitas solusi. Hasil dari tahap ini menjadi dasar bagi perancangan dan implementasi algoritma genetika.

5. Kesimpulan dan Saran

Setelah proses pengembangan dan pengujian sistem selesai, peneliti menarik kesimpulan mengenai efektivitas penerapan algoritma genetika dalam mengatasi permasalahan penjadwalan di Ponpes Yasrib. Penilaian dilakukan berdasarkan seberapa baik sistem mengurangi konflik jadwal, mempercepat proses penyusunan, dan memenuhi seluruh batasan yang ada. Peneliti juga memberikan saran untuk pengembangan sistem di masa depan, seperti peningkatan antarmuka pengguna, penggunaan metode seleksi lain, atau pengaplikasian pada jenjang pendidikan lain di pesantren.

B. Desain Penelitian

Desain penelitian di tujukan pada gambar di bawah ini:



Gambar 3. Desain penelitian

1. Mulai

Tahapan ini merupakan awal dari proses algoritma genetika, di mana atasan mempersiapkan semua parameter yang dibutuhkan untuk menjalankan proses optimasi, seperti data guru, kelas, mata atasan, ruang, dan jam atasann. Parameter-parameter awal algoritma juga diatur, seperti ukuran populasi, probabilitas *Crossover* dan atas, serta batas jumlah generasi.

2. Inisialisasi Populasi Awal

Pada tahap ini, sistem membangkitkan populasi awal yang terdiri dari sejumlah data jadwal yang dibentuk secara acak.

```
Individu 1:
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 13.00

Individu 2:
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00

Individu 3:
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 08.00

Individu 4:
...
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
```

Gambar 4. Contoh Inisialisasi Populasi Awal

Masing-masing individu dalam populasi direpresentasikan oleh kromosom, yang terdiri atas gen-gen yang menyatakan kombinasi waktu, guru, kelas, dan ruang. Tujuan dari tahapan ini adalah menciptakan variasi solusi awal sebagai dasar proses evolusi algoritma.

3. Evaluasi *Fitness* Tiap Individu

Setelah populasi awal terbentuk, dilakukan proses evaluasi terhadap setiap individu untuk menentukan nilai *fitness*-nya.

```

=== Evaluasi Fitness Tiap Individu ===

Individu 1 - Fitness: 1.0000
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 08.00

Individu 2 - Fitness: 0.3333
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 10.00

Individu 3 - Fitness: 0.3333
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 08.00

```

Gambar 5. Contoh evaluasi *fitness* tiap individu

Nilai *fitness* dihitung berdasarkan tingkat kepatuhan terhadap batasan-batasan jadwal, seperti tidak adanya bentrokan antara guru, ruang kelas, dan waktu. Semakin sedikit jumlah konflik yang terdapat dalam jadwal, maka semakin tinggi nilai *fitness* individu tersebut.

4. Kondisi Terminasi Tercapai

Sistem kemudian mengevaluasi apakah proses evolusi perlu dilanjutkan atau dihentikan.

```

=== Populasi Awal ===
Individu 1:
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00

Individu 2:
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00

Individu 3:
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 13.00

...
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00

Fitness Akhir: 1.0000

```

Gambar 6. Contoh kondisi terminasi tercapai

Proses akan berhenti jika salah satu dari tiga kondisi terminasi terpenuhi: (a)

nilai *fitness* sudah optimal, (b) jumlah iterasi mencapai batas maksimum atau (c) tidak ada perbaikan signifikan dalam nilai *fitness* selama beberapa generasi. Jika belum tercapai, maka proses dilanjutkan ke tahap seleksi.

5. Seleksi Dengan *Tournament selection*

Pada tahap ini dilakukan pemilihan individu-individu terbaik untuk direproduksi menggunakan metode *Tournament selection*.

```
=== Populasi Awal ===
Individu 1 - Fitness: 1.0000
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 10.00

Individu 2 - Fitness: 0.2000
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00

Individu 3 - Fitness: 0.3333
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00
...

=== Individu Terpilih (Tournament Selection) ===
Pemenang 1 - Fitness: 1.0000
Pemenang 2 - Fitness: 1.0000
```

Gambar 7. Contoh seleksi dengan *tournament selection*

Dalam metode ini, beberapa individu dipilih secara acak dari populasi, lalu individu dengan nilai *fitness* tertinggi dari kelompok tersebut dipilih untuk diturunkan ke generasi berikutnya. Metode ini dipilih karena mampu menjaga keseimbangan antara eksplorasi solusi dan eksploitasi individu terbaik.

6. *Crossover* antar Individu Terpilih

Crossover atau proses persilangan dilakukan untuk menghasilkan individu baru (*offspring*) dari dua induk terpilih.

```

=== Populasi Awal ===
Individu 1:
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Senin, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R2, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R2, Hari: Selasa, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00

Individu 2:
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 08.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00

Individu 3:
Guru: Ust. Latif, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 7A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Bahasa Arab, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: Matematika, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 08.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: Matematika, Kelas: 7A, Ruang: R2, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Senin, Jam: 13.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 10.00
...
('Ust. Ahmad', 'IPA', '7B', 'R2', 'Jumat', '08.00')
('Ust. Rahma', 'Matematika', '7B', 'R2', 'Selasa', '13.00')
('Ust. Latif', 'Bahasa Arab', '7B', 'R1', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Latif', 'Matematika', '7B', 'R1', 'Senin', '13.00')

```

Gambar 8. Contoh *Crossover* antar individu terpilih

Gen-gen dari dua kromosom akan ditukar secara parsial untuk membentuk solusi baru yang menggabungkan sifat-sifat terbaik dari kedua induknya. Tujuan tahap ini adalah meningkatkan keragaman solusi dan mempercepat proses pencarian solusi optimal.

7. Mutasi *Binary/Swap Mutation*

Mutasi dilakukan untuk memperkenalkan variasi tambahan ke dalam populasi.

```

Kromosom Awal:
('Ust. Latif', 'Matematika', '7B', 'R1', 'Senin', '13.00')
('Ust. Rahma', 'Matematika', '8A', 'R2', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Latif', 'Matematika', '7A', 'R1', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7A', 'R2', 'Selasa', '08.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Rabu', '13.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Kamis', '13.00')

Setelah Binary Mutation (rate=0.3):
('Ust. Ahmad', 'Bahasa Arab', '7A', 'R2', 'Rabu', '08.00')
('Ust. Ahmad', 'Matematika', '8B', 'R1', 'Rabu', '10.00')
('Ust. Latif', 'Matematika', '7A', 'R1', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Ahmad', 'IPA', '8A', 'R1', 'Selasa', '10.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Rabu', '13.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Kamis', '13.00')

Setelah Swap Mutation (rate=0.3):
('Ust. Latif', 'Matematika', '7B', 'R1', 'Senin', '13.00')
('Ust. Rahma', 'Matematika', '8A', 'R2', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Latif', 'Matematika', '7A', 'R1', 'Kamis', '10.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7A', 'R2', 'Selasa', '08.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Rabu', '13.00')
('Ust. Latif', 'IPA', '7B', 'R1', 'Kamis', '13.00')

```

Gambar 9. Contoh mutasi binary/swap mutation

Dalam penelitian ini digunakan dua jenis mutasi, yaitu binary mutation yang mengganti isi gen secara acak (misalnya mengganti waktu atau guru), dan swap mutation yang menukar dua gen dalam kromosom (misalnya menukar

slot antara dua kelas). Mutasi dilakukan dengan probabilitas tertentu untuk menjaga diversitas dan menghindari konvergensi pada solusi lokal.

8. Hasilkan Jadwal Optimal

Jika pada tahap evaluasi ditemukan bahwa solusi telah memenuhi semua batasan dan mencapai nilai *fitness* optimal, maka proses terminasi dilakukan.

```
Generasi 1 | Fitness Terbaik: 1.0000
✅ Terminasi: Jadwal optimal tercapai.

🔴 Jadwal Terbaik Dihasilkan:
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Selasa, Jam: 13.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 7B, Ruang: R1, Hari: Kamis, Jam: 13.00
Guru: Ust. Ahmad, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 08.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R1, Hari: Rabu, Jam: 10.00
Guru: Ust. Latif, Mapel: IPA, Kelas: 8B, Ruang: R2, Hari: Kamis, Jam: 10.00
Guru: Ust. Rahma, Mapel: IPA, Kelas: 8A, Ruang: R1, Hari: Jumat, Jam: 13.00

Fitness Akhir: 1.0000
```

Gambar 10. Contoh hasil jadwal optimal

Sistem kemudian memilih individu dengan nilai *fitness* terbaik sebagai jadwal pelajaran akhir yang akan digunakan oleh pihak Pondok Pesantren Yasrib.

9. Selesai

Tahap ini menandai akhir dari proses algoritma genetika. Jadwal yang dihasilkan merupakan solusi optimal berdasarkan evaluasi berbagai kemungkinan kombinasi jadwal, yang telah melalui proses seleksi, *Crossover*, dan mutasi. Jadwal tersebut diharapkan dapat mengurangi konflik, mempercepat proses penyusunan, dan meningkatkan efisiensi alokasi sumber daya pendidikan di Ponpes Yasrib.

C. Algoritma Genetika

1. Konsep Dasar Algoritma Genetika

Algoritma genetika adalah metode pencarian dan optimasi yang terinspirasi dari proses seleksi alam dalam teori evolusi. Algoritma ini bekerja dengan menggunakan populasi solusi potensial (kromosom) yang dievaluasi dan diperbaiki secara iteratif melalui proses seleksi, *Crossover* (rekombinasi), dan mutasi untuk menemukan solusi terbaik terhadap suatu masalah [21].

2. Tahapan Pada Algoritma Genetika

a. Inisialisasi Populasi Awal

Inisialisasi populasi awal dilakukan dengan pembangkitan individu-individu yang terdiri dari kromosom, dan setiap kromosom terdiri dari sejumlah gen. Dalam studi ini, gen memuat elemen-elemen penting dari jadwal kuliah.

Kromosom	Gen 1			Gen 2		Gen 3		
	Kode Mata Kuliah	Jumlah Mahasiswa	SKS	Kelas	Kode Dosen	Kode Ruang	Hari	Jam/Sesi
1	MK1	46	3	IIA	D1	R6	Kamis	07.30-10.01
2	MK1	38	3	IIB	D4	R9	Jumat	09.00-10.41
3	MK2	55	3	VA	D3	R8	Selasa	12.00-13.41
4	MK2	55	3	VB	D4	R7	Jumat	07.30-10.00
5	MK3	52	3	VIIA	D6	R10	Senin	10.10-11.50
6	MK3	58	3	VIIIB	D8	R6	Rabu	07.30-10.03
...
60	MK34	40	2	VII	D22	R6	Kamis	10.10-11.52

Gambar 11. Inisialisasi populasi awal [22]

b. Evaluasi *Fitness*

Metode fitness bertujuan untuk menilai seberapa baik sebuah solusi (jadwal) memenuhi batasan-batasan yang telah ditentukan, terutama Hard Constraint (batasan keras) dan *soft constraint* (batasan lunak).[16]

$$fitness = \frac{NR1 + NR2 + NR3 + NR4 + NR5 + NR6 + NR7}{maxscore} \quad (1)$$

Dimana:

- NR1–NR7 adalah jumlah aturan (*rule*) yang dipenuhi oleh kromosom.
- max score* adalah total maksimal poin yang bisa dicapai jika semua aturan dipenuhi [17]

c. Seleksi (selection)

Metode seleksi pada jurnal ini dilakukan berdasarkan evaluasi penalti (jumlah pelanggaran) pada setiap individu. Individu dengan

pelanggaran paling sedikit dianggap paling layak untuk dikembangkan lebih lanjut. Pendekatan ini sangat efektif untuk mencari solusi optimal dalam penjadwalan yang harus mematuhi berbagai batasan (*constraint*) [18].

Tabel 1 Contoh Seleksi

No	Individu (jadwal)	Jenis Bentrok	Jumlah Penalti
1	[...]	Bentrok ruang, jam	2
2	[...]	Bentrok dosen	1
3	[...]	Bentrok hari, ruang, dosen	5
4	[...]	Bentrok jam & kapasitas ruang	3

1) *Crossover* (Persilangan)

Proses *Crossover* dilakukan sebagai bagian dari mekanisme evolusi dalam algoritma genetika untuk menghasilkan solusi jadwal yang optimal. *Crossover* merupakan proses pertukaran gen antar dua individu (kromosom) yang bertujuan untuk menciptakan individu baru (offspring) dengan karakteristik gabungan dari kedua induknya. Metode yang digunakan adalah pertukaran langsung antar elemen gen, di mana bagian-bagian tertentu dari gen dalam satu individu ditukar dengan bagian yang sama dari individu lainnya [19].

2) Sebelum terjadinya *Crossover*

Individu 1 = (0, 3, 4, 4)

Individu 2 = (1, 1, 2, 3)

3) Setelah terjadinya *Crossover*

Individu 1 = (0, 3, 2, 3)

Individu 2 = (1, 1, 4, 4)

4) Mutasi (Mutation)

Metode mutasi diterapkan sebagai salah satu komponen penting dalam algoritma genetika untuk menjaga keberagaman solusi dan menghindari konvergensi prematur terhadap solusi lokal. Mutasi berfungsi untuk

memperkenalkan variasi baru dalam populasi dengan memodifikasi sebagian gen dalam kromosom, sehingga memperluas ruang pencarian solusi.

Penelitian ini menggunakan dua jenis metode mutasi, yaitu binary mutation dan swap mutation.

a) *Binary Mutation*

Binary mutation dilakukan dengan cara mengganti atribut dari gen tertentu (kelas dalam jadwal) secara acak, yang mencakup slot waktu, ruangan, dan dosen. Mutasi dilakukan berdasarkan nilai probabilitas mutasi (mutation rate). Jika nilai acak yang dihasilkan lebih kecil dari probabilitas tersebut, maka gen akan dimutasi.

Sebagai contoh, sebuah kelas yang semula dijadwalkan pada:

- (1) Slot waktu: Senin 08.00 – 10.30
- (2) Ruangan: R1
- (3) Dosen: Dwi Hartanti

Setelah dilakukan binary mutation, kelas tersebut dapat berubah menjadi:

- (1) Slot waktu: Selasa 10.30 – 13.00
- (2) Ruangan: R7
- (3) Dosen: Joni Maulindar

Perubahan ini terjadi secara acak dengan tetap memperhatikan batasan data yang tersedia.

b) *Swap Mutation*

Swap mutation dilakukan dengan cara menukar posisi dua gen dalam satu kromosom. Dalam konteks penjadwalan, hal ini berarti menukar elemen-elemen dari dua kelas, seperti ruangan atau waktu, yang dipilih secara acak. Mutasi ini juga dikendalikan oleh nilai probabilitas tertentu.

Sebagai ilustrasi:

- (1) Kelas A memiliki ruangan R1 dan waktu Senin 08.00
- (2) Kelas B memiliki ruangan R5 dan waktu Rabu 13.30

Jika dilakukan swap mutation terhadap ruangan, maka hasilnya adalah:

(1) Kelas A: ruangan R5, waktu Senin 08.00

(2) Kelas B: ruangan R1, waktu Rabu 13.30

Kedua metode mutasi tersebut digunakan secara bergantian dalam kombinasi eksperimen untuk mengamati pengaruhnya terhadap nilai *fitness* populasi [20].

Sementara itu, optimalisasi dalam algoritma genetika berfokus pada pencarian solusi terbaik dari berbagai kemungkinan kombinasi jadwal yang tersedia. Proses optimalisasi sering kali melibatkan lebih dari satu tujuan yang perlu dicapai secara bersamaan (*multi-objective optimization*), seperti meminimalkan waktu penyusunan jadwal, mengurangi konflik, serta memaksimalkan penggunaan sumber daya yang ada. Dalam hal ini, algoritma genetika digunakan untuk menyeimbangkan berbagai kriteria penjadwalan agar hasil yang diperoleh tidak hanya efisien tetapi juga optimal secara keseluruhan.

Fungsi objektif multi-kriteria tersebut dapat dirumuskan sebagai berikut:

$$\text{score}(s) = \prod_{c \in C} (\text{rating}(s, c))^{w_c} \quad (3)$$

Yang dimana:

- a) (s) = solusi atau jadwal yang dievaluasi,
- b) (C) = kumpulan kriteria evaluasi (misalnya konflik, waktu komputasi, dan tingkat kepuasan pengguna),
- c) ($\text{rating}(s, c)$) = nilai penilaian terhadap kriteria (c) untuk solusi (s),
- d) (w_c) = bobot dari masing-masing kriteria, dengan ($\sum w_c = 1$).

Pendekatan ini memungkinkan setiap solusi dinilai berdasarkan beberapa kriteria yang saling memengaruhi. Misalnya, sebuah solusi mungkin memiliki waktu proses yang cepat (efisien) tetapi masih menyisakan sedikit konflik; sementara solusi lain sedikit lebih lambat tetapi benar-benar bebas konflik. Dengan menggunakan fungsi multi-objektif, sistem dapat menilai keseimbangan antara faktor-faktor tersebut untuk memilih solusi yang paling optimal.

D. Metode Penelitian

1. Waktu dan Lokasi

Penelitian ini dilaksanakan pada mulai 21 Juni 2025 sampai 21 Juli 2025, bertempat di Pondok Pesantren Yasrib, Jl. Pesantren, Lapajung, Kecamatan Lalabata, Kabupaten Soppeng, Sulawesi Selatan.

2. Instrumen Penelitian

a. Perangkat Keras

- 1) Laptop dengan spesifikasi minimal Intel Core i5, RAM minimal 8 GB, penyimpanan HDD atau SSD disarankan 256 GB

b. Perangkat Lunak

- 1) Python untuk bahasa pemrograman untuk implementasi algoritma genetika.
- 2) Ms. Excel 2021-Analisis data hasil penjadwalan.
- 3) Ms. Word 2021-Penyusunan laporan.
- 4) VS Code editor pemrograman.

c. Alat Pendukung

- 1) Data jadwal manual Ponpes Yasrib-Sebagai data acuan dan uji coba.
- 2) Formulir wawancara & observasi untuk mengumpulkan data kebutuhan pengguna.
- 3) Google Form/Kuesioner-Evaluasi sistem oleh pengguna.
- 4) Timer digital-Mengukur durasi proses penjadwalan manual dan otomatis.

3. Teknik Pengumpulan data

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini dilakukan di Ponpes Yasrib melalui wawancara dengan staf tenaga kerja Jurana A.R untuk mengetahui proses serta kendala penjadwalan. Observasi juga dilakukan dengan mengamati langsung kegiatan penyusunan jadwal di ponpes tersebut. Selain itu, dokumentasi data historis penjadwalan dan dokumen pendukung dikumpulkan sebagai bahan analisis. Kombinasi ketiga teknik ini diharapkan menghasilkan data yang valid untuk mendukung optimasi penjadwalan di Ponpes Yasrib.

4. Teknik Analisis Data

Teknik analisis data yang digunakan dalam penelitian ini adalah analisis kuantitatif dengan mengukur kinerja algoritma genetika dalam

menghasilkan jadwal pelajaran yang optimal. Analisis dilakukan menggunakan perangkat lunak Python dan Microsoft Excel. Evaluasi kinerja algoritma dilakukan dengan menghitung jumlah konflik jadwal (bentrok guru, ruang, dan waktu), tingkat efisiensi waktu penyusunan, serta nilai *fitness* dari setiap generasi yang dihasilkan. Selain itu, analisis dilakukan terhadap pengaruh parameter algoritma seperti ukuran populasi, probabilitas *Crossover*, dan mutasi terhadap kualitas jadwal. Hasil analisis ini digunakan untuk menilai sejauh mana algoritma genetika mampu meningkatkan efisiensi dan akurasi sistem penjadwalan dibandingkan metode manual.

5. Teknik Pengujian

Teknik pengujian dalam penelitian ini difokuskan pada evaluasi akurasi dan efisiensi algoritma genetika dalam menghasilkan jadwal pelajaran optimal di Pondok Pesantren Yasrib. Pengujian dilakukan dengan membandingkan jadwal otomatis hasil algoritma dengan jadwal manual sebelumnya, terutama dari segi akurasi penjadwalan yang diukur melalui jumlah konflik (bentrok guru, ruang, dan waktu) serta tingkat keterpenuhan mata pelajaran sesuai batasan yang ada. Efisiensi diukur dari waktu yang dibutuhkan untuk menyusun jadwal secara otomatis dibandingkan dengan metode manual. Selain itu, pengujian juga dilakukan pada beberapa parameter algoritma, seperti ukuran populasi, probabilitas *Crossover*, dan mutasi, untuk melihat pengaruhnya terhadap kualitas jadwal. Evaluasi kualitatif melalui kuesioner kepada staf TU dan guru juga dilakukan untuk menilai kepuasan terhadap akurasi dan kemudahan penggunaan sistem. Hasil pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa algoritma genetika dapat memberikan solusi penjadwalan yang lebih akurat dan efisien dibandingkan cara manual.

E. Definisi Operasional Variabel

Tabel 2 Tabel operasional variabel

No	Nama Variabel	Konsep	Jenis Variabel
1	Ukuran Populasi a) Jumlah kromosom dalam satu generasi b) Keanekaragaman kombinasi jadwal (guru, ruang, waktu, mata pelajaran)	Banyaknya solusi awal yang dibangkitkan dalam satu generasi untuk memulai proses pencarian solusi optimal oleh algoritma genetika.	Input
2	Probabilitas <i>Crossover</i> a) Persentase pasangan kromosom yang mengalami <i>Crossover</i> b) Jumlah individu hasil <i>Crossover</i> dalam satu generasi	Peluang terjadinya proses pertukaran gen antar dua individu untuk menghasilkan solusi baru dengan menggabungkan karakteristik dua induk	Proses
3	Probabilitas Mutasi a) Persentase gen yang mengalami mutasi dalam satu generasi b) Jenis mutasi (binary mutation dan swap mutation)	Peluang terjadinya perubahan acak pada gen dalam kromosom untuk menjaga keberagaman populasi dan menghindari solusi lokal yang tidak optimal.	Proses
4	Kinerja Penjadwalan a) Jumlah konflik jadwal (bentrok guru, ruang, waktu) b) Waktu penyusunan jadwal otomatis (dalam menit) c) Keterpenuhan batasan teknis (hard & soft constrain)	Tingkat keberhasilan sistem dalam menghasilkan jadwal yang efisien, cepat, dan sesuai dengan semua aturan penjadwalan di lingkungan Ponpes Yasrib.	Output

F. Hipotesis Penelitian

Penelitian ini menetapkan hipotesis untuk menguji sejauh mana efektivitas algoritma genetika dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan mata pelajaran di MTs Ponpes Yasrib. Berdasarkan tujuan penelitian, hipotesis dapat dirumuskan sebagai berikut:

H₀: Algoritma genetika tidak mampu menghasilkan jadwal yang memenuhi semua *Hard Constraints* (0 konflik) dan soft constraints (preferensi penjadwalan) secara optimal.

H₁: Algoritma genetika mampu menghasilkan jadwal yang memenuhi semua *Hard Constraints* (0 konflik) dan soft constraints (preferensi penjadwalan) secara optimal.

BAB 4 HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

1. Dataset

Dataset yang digunakan di penelitian ini yaitu dataset penjadwalan mata pelajaran diperoleh dari Pondok Pesantren YASRIB Lapajung Tahun Ajaran 2024/2025. Dataset ini terdiri atas data mata pelajaran, guru, kelas, hari operasional, dan slot waktu selanjutnya dikodekan dalam bentuk biner untuk keperluan pemrosesan menggunakan algoritma genetika. Adapun detail dataset dapat di lihat pada tabel di bawah ini.

Tabel 3 Data Mata Pelajaran

No	Nama Mata Pelajaran	Kategori	Kode	Biner
1	Qur'an Hadits	Agama	QH	00000
2	Akidah Akhlak	Agama	AA	00001
3	SKI	Agama	SKI	00010
4	Fiqih	Agama	FQ	00011
5	Matematika	Berat	MTK	00100
6	IPA	Berat	IPA	00101
7	IPS	Berat	IPS	00110
8	Bahasa Indonesia	Berat	BIND	00111
9	Bahasa Arab	Berat	BAR	01000
10	Bahasa Inggris	Berat	BING	01001
11	Pendidikan Pancasila	Reguler	PP	01010
12	PJOK	Reguler	PJOK	01011
13	Seni Budaya	Reguler	SB	01100
14	Informatika	Reguler	INF	01101
15	Bahasa Daerah	Reguler	BDAE	01110
16	Tahfidz Qur'an	Agama	TQ	01111
17	Muhadatsah	Agama	MUH	10000
18	Mahfuzhat	Agama	MAH	10001

Tabel 4 Data Guru

No	Nama Guru	Mata Pelajaran	Biner
1	Warda S.Pd., M.Pd	Matematika	000000
2	Feriani S.S., Gr	Bahasa Indonesia	000001
3	Rasida S.Ag	Qur'an Hadits	000010
4	Arman Saleh S.Pd., Gr	IPS	000011
5	Dra. Yunairah M.Pd	Bahasa Inggris	000100
....

Tabel 5 Data Kelas

No	Nama Kelas	Tingkat	Kapasitas	Jam/Minggu	Biner
1	VII PUTRA 1	VII	30	48	00000
2	VII PUTRA 2	VII	30	48	00001
3	VII PUTRA 3	VII	30	48	00010
4	VII PUTRA 4	VII	30	48	00011
5	VII PUTRI 1	VII	30	48	00100
6	VII PUTRI 2	VII	30	48	00101
7	VII PUTRI 3	VII	30	48	00110
8	VII PUTRI 4	VII	30	48	00111
9	VIII PUTRA 1	VIII	30	48	01000
10	VIII PUTRA 2	VIII	30	48	01001
11	VIII PUTRA 3	VIII	30	48	01010
12	VIII PUTRA 4	VIII	30	48	01011
13	VIII PUTRI 1	VIII	30	48	01100
14	VIII PUTRI 2	VIII	30	48	01101
15	VIII PUTRI 3	VIII	30	48	01110
16	VIII PUTRI 4	VIII	30	48	01111
17	IX PUTRA 1	IX	30	48	10000
18	IX PUTRA 2	IX	30	48	10001
19	IX PUTRA 3	IX	30	48	10010
20	IX PUTRA 4	IX	30	48	10011
21	IX PUTRI 1	IX	30	48	10100

22	IX PUTRI 2	IX	30	48	10101
23	IX PUTRI 3	IX	30	48	10110
24	IX PUTRI 4	IX	30	48	10111

Tabel 6 Data Hari Operasional

No	Hari	Slot/Hari	Biner
1	Senin	8	000
2	Selasa	8	001
3	Rabu	8	010
4	Kamis	8	011
5	Sabtu	8	100
6	Minggu	8	101

Tabel 7 Slot Waktu Pembelajaran

Slot	Waktu	Durasi
1	07.30 – 08.05	35 menit
2	08.05 – 08.40	35 menit
3	08.40 – 09.15	35 menit
4	09.15 – 09.50	35 menit
5	10.05 – 10.40	35 menit
6	10.40 – 11.15	35 menit
7	11.15 – 11.50	35 menit
8	11.50 – 12.25	35 menit

Tabel 8 Ringkasan Dataset Penelitian

Komponen	Jumlah
Mata Pelajaran	18
Guru	56
Kelas	24
Hari Aktif	6
Slot per Hari	8
Total Slot	1.152

2. Algoritma Genetika

Adapun tahap algoritma genetika adalah sebagai berikut:

a. Pembentukan populasi awal

Pembentukan Populasi awal merupakan interpretasi masalah yang ingin dicarikan solusi kemudia menerapkannya ke pendekatan algoritma genetika sehingga bisa di komputasi menggunakan Bahasa pemrograman. Tabel berikut menampilkan contoh kromosom pada populasi awal (Generation 0) yang dibangkitkan secara acak (random) sebelum proses evaluasi Algoritma Genetika (Genetic Algorithm/GA) dilakukan. Setiap kromosom mempresentasikan satu penjadwalan mata pelajaran yang terdiri dari informasi kelas, slot waktu, mata pelajaran, dan guru pengampu.

Tabel 9 Populasi I (Random)

No	Kromosom	Keterangan
1	00000-000-000-00000-000010	VII PUTRA 1, Senin, Slot 1, Qur'an Hadits, Rasida S.Ag
2	00001-001-010-00101-000101	VII PUTRA 2, Selasa, Slot 3, IPA, Jurana AR, S.Pd
3	00010-010-100-01001-000100	VII PUTRA 3, Rabu, Slot 5, Bahasa Inggris, Dra. Yunairah, M.Pd
4	00011-011-110-00100-000000	VII PUTRA 4, Kamis, Slot 7, Matematika, Warda, S.Pd., M.Pd
5	00100-100-001-00111-000001	VII PUTRI 1, Sabtu, Slot 2, Bahasa Indonesia, Feriani, S.S., Gr
6	00101-101-011-01000-001101	VII PUTRI 2, Minggu, Slot 4, Bahasa Arab, Surya Dita, S.Hum
7	00110-000-101-00110-000011	VII PUTRI 3, Senin, Slot 6, IPS, Arman Saleh, S.Pd., Gr
8	00111-001-111-01100-010101	VII PUTRI 4, Selasa, Slot 8, Seni Budaya, Andi Muh. R.
9	01000-010-000-00011-010110	VIII PUTRA 1, Rabu, Slot 1, Fiqih, Munawwarah B., S.Pd.I
10	01001-011-010-01111-011010	VIII PUTRA 2, Kamis, Slot 3, Tahfidz Qur'an, Santi Sahira

11	01010-100-100-10000-001100	VIII PUTRA 3, Sabtu, Slot 5, Muhadatsah, Drs. Muh. Saleh
12	01011-101-110-01011-010100	VIII PUTRA 4, Minggu, Slot 7, PJOK, A. Muharrir, S.Or

Tabel 10 Populasi II (Random)

No	Kromosom	Keterangan
1	01100-101-001-00101-011000	VIII PUTRI 1, Minggu, Slot 2, IPA, Nurul Safitri, S.Pd
2	01101-000-011-01001-011001	VIII PUTRI 2, Senin, Slot 4, Bahasa Inggris, Fitriani HR, S.Pd
3	01110-001-101-00100-000000	VIII PUTRI 3, Selasa, Slot 6, Matematika, Warda, S.Pd., M.Pd
4	01111-010-111-00111-001001	VIII PUTRI 4, Rabu, Slot 8, Bahasa Indonesia, A. Nurmilasari, S.Pd., M.Pd
5	10000-011-000-00000-000010	IX PUTRA 1, Kamis, Slot 1, Qur'an Hadits, Rasida S.Ag
6	10001-100-010-00110-010011	IX PUTRA 2, Sabtu, Slot 3, IPS, Darmawangsa, S.E
7	10010-101-100-00001-001000	IX PUTRA 3, Minggu, Slot 5, Akidah Akhlak, Arwinda, S.Pd.I., M.Pd.I., Gr
8	10011-000-110-01000-001101	IX PUTRA 4, Senin, Slot 7, Bahasa Arab, Surya Dita, S.Hum
9	10100-001-001-00101-000111	IX PUTRI 1, Selasa, Slot 2, IPA, Rasyid, S.Pd., Gr
10	10101-010-011-01100-010101	IX PUTRI 2, Rabu, Slot 4, Seni Budaya, Andi Muh. R.
11	10110-011-101-10000-001100	IX PUTRI 3, Kamis, Slot 6, Muhadatsah, Drs. Muh. Saleh
12	10111-100-111-01011-010100	IX PUTRI 4, Sabtu, Slot 8, PJOK, A. Muharrir, S.Or

Tabel 11 Populasi III (Random)

No	Kromosom	Keterangan
1	00000-101-010-00011-010110	VII PUTRA 1, Minggu, Slot 3, Fiqih, Munawwarah B., S.Pd.I
2	00001-000-100-01111-011010	VII PUTRA 2, Senin, Slot 5, Tahfidz Qur'an, Santi Sahira
3	00010-001-110-00110-000011	VII PUTRA 3, Selasa, Slot 7, IPS, Arman Saleh, S.Pd., Gr
4	00011-010-001-00101-000101	VII PUTRA 4, Rabu, Slot 2, IPA, Jurana AR, S.Pd
5	00100-011-011-01001-000100	VII PUTRI 1, Kamis, Slot 4, Bahasa Inggris, Dra. Yunairah, M.Pd
6	00101-100-101-00100-000000	VII PUTRI 2, Sabtu, Slot 6, Matematika, Warda, S.Pd., M.Pd
7	00110-101-111-00111-000001	VII PUTRI 3, Minggu, Slot 8, Bahasa Indonesia, Feriani, S.S., Gr
8	00111-000-000-01000-001101	VII PUTRI 4, Senin, Slot 1, Bahasa Arab, Surya Dita, S.Hum
9	01000-001-010-00000-000010	VIII PUTRA 1, Selasa, Slot 3, Qur'an Hadits, Rasida S.Ag
10	01001-010-100-01100-010101	VIII PUTRA 2, Rabu, Slot 5, Seni Budaya, Andi Muh. R.
11	01010-011-110-10000-001100	VIII PUTRA 3, Kamis, Slot 7, Muhadatsah, Drs. Muh. Saleh
12	01011-100-001-00011-010110	VIII PUTRA 4, Sabtu, Slot 2, Fiqih, Munawwarah B., S.Pd.I

b. Evaluasi

Dalam kasus ini evaluasi dilakukan untuk menentukan populasi yang akan dipertahankan berdasarkan score *fitness* yang didapat dengan mengevaluasi aturan – aturan (constraints) yang di tetapkan sebelumnya. Sistem menggunakan 8 jenis constraints yang terbagi menjadi *Hard Constraints* (wajib dipenuhi) dan *Soft Constraints* (sebaiknya dipenuhi).

1) Daftar Constraint yang Dievaluasi

- a) HC1: Guru tidak mengajar di waktu yang sama (Hard Constraint)

Kode: check_guru_conflict()

Deskripsi: Seorang guru tidak boleh mengajar di dua kelas berbeda pada hari dan slot waktu yang sama.

Contoh Pelanggaran:

X Warda S.Pd., M.Pd mengajar:

- VIII PUTRA 1, Senin Slot 1, Matematika

- IX PUTRA 1, Senin Slot 1, Matematika

(Guru sama, waktu sama → KONFLIK)

Hasil Evaluasi:

- Generation 0 (Random): ~85 konflik
- Generation 40 (Final): 0 konflik ✓ **PERFECT**
- Improvement: 100%

- b) HC2: Kelas Tidak Bentrok dengan Kelas Lain (Hard Constraint)

Kode: check_class_conflict()

Deskripsi: Setiap kelas hanya boleh memiliki satu mata pelajaran pada hari dan slot waktu tertentu. Tidak boleh ada dua mata pelajaran dijadwalkan pada waktu yang sama untuk satu kelas.

Hasil Evaluasi:

- Generation 0: ~25 bentrok
- Generation 40 (Final): 0 bentrok ✓ **PERFECT**
- Improvement: 100%

- c) HC3: Semua Mata Pelajaran Diajarkan Sesuai Jam yang Ditentukan (Hard Constraint)

Kode: check_teaching_hours()

Deskripsi: Setiap kelas harus mendapatkan semua 18 mata pelajaran dengan total 48 jam per minggu sesuai alokasi yang ditetapkan.

Hasil Evaluasi:

- Generation 0: ~45 violations
- Generation 40 (Final): 0 violations ✓ **PERFECT**

- Improvement: 100%

d) HC4: Guru Mengajar Sesuai Kompetensi (Hard Constraint)

Kode: check_teacher_competency()

Deskripsi: Guru hanya boleh mengajar mata pelajaran sesuai dengan kompetensi yang dimiliki (tercatat di GURU_DATA).

Hasil Evaluasi:

- Generation 0-40: 0 violations ✓ **PERFECT** (dijamin oleh smart chromosome creation)

e) HC5: Slot Waktu Harus Valid (Hard Constraint)

Kode: check_time_slot_validity()

Deskripsi: Jadwal hanya boleh menggunakan hari aktif (Senin, Selasa, Rabu, Kamis, Sabtu, Minggu) dan slot waktu 1-8. Jumat adalah hari libur.

Hasil Evaluasi:

- Generation 0-40: 0 violations ✓ **PERFECT** (dijamin oleh struktur kromosom)

f) HC6: Guru Mengajar 1 Mapel dalam 1 Tingkat (Hard Constraint)

Kode: check_teacher_class_level_mapping()

Deskripsi: Guru tidak boleh mengajar mata pelajaran berbeda di tingkat kelas yang sama. Jika guru mengajar Matematika di kelas VII, maka di semua kelas VII dia hanya boleh mengajar Matematika.

g) HC7: PJOK Wajib di Pagi Hari (Hard Constraint)

Kode: check_morning_subject_preference()

Deskripsi: Mata pelajaran PJOK (Pendidikan Jasmani Olahraga dan Kesehatan) WAJIB dijadwalkan di slot pagi (Slot 1-6, sebelum jam 10:45) untuk menghindari kelelahan di cuaca panas siang.

Hasil Evaluasi:

- Generation 0: ~8 violations

- Generation 40 (Final): 0 violations ✓ **PERFECT**

- Improvement: 100%

h) SC1: Matematika & IPA Preferensi Pagi (Soft Constraint)

Kode: check_math_ipa_morning_preference()

Deskripsi: Mata pelajaran Matematika dan IPA DISARANKAN (bukan wajib) dijadwalkan di slot pagi (Slot 1-6) untuk konsentrasi optimal siswa, namun boleh di siang jika tidak memungkinkan.

Target: 98% dari total Matematika & IPA di slot pagi

Hasil Evaluasi:

- Generation 0: ~60% di pagi (~180 violations)
- Generation 40 (Final): **95.8% di pagi** (184/192, hanya 8 violations) - SANGAT DEKAT TARGET!
- Improvement: 95.6% (mendekati target 98%)

i) SC2: Mapel Berat Tidak Berurutan (Soft Constraint)

Kode: check_consecutive_heavy_subjects()

Deskripsi: Untuk menghindari kelelahan siswa, mata pelajaran kategori berat (Matematika, IPA, IPS, Bahasa Indonesia, Bhs Arab, Bhs Inggris) sebaiknya tidak dijadwalkan berurutan.

Hasil Evaluasi:

- Generation 0: ~100 pasangan berurutan
- Generation 40 (Final): 0 pasangan berurutan ✓ **PERFECT!**
- Improvement: 100% (sempurna!)

2) Evaluasi Congstraint

Hasil dari evaluasi seluruh constraint dari generation 0 (random) hingga Generation 40 (final), menunjukkan reduksi pelanggaran dan overall success rate sistem.

No	Constraint	Type	Reward	Gen 0	Gen 40	Reduksi Pelanggaran (%)
1	HC1: Guru Tidak Konflik	Hard	NR1	85	0	↓ 100.0%
2	HC2: Kelas Tidak Bentrok	Hard	NR2	25	0	↓ 100.0%
3	HC3: Teaching Hours Complete	Hard	NR3	45	0	↓ 100.0%
4	HC4: Guru Sesuai Kompetensi	Hard	NR4	0	0	-
5	HC5: Slot Waktu Valid	Hard	NR5	0	0	-
6	HC6: Guru 1 Mapel per Tingkat	Hard	NR6	10	0	↓ 100.0%
7	HC7: PJOK Wajib Pagi	Hard	NR7	8	0	↓ 100.0%
8	SC1: Math/IPA (Share pagi: 95.8% / 184/192)	Soft	-	192	8	↓ 95.8%
9	SC2: Mapel Berat Tdk Berurutan	Soft	NR9*	100	0	↓ 100.0%
TOTAL				465	8	↓ 98.3%
Overall Success Rate						99.3% (1142/1150)

Gambar 12 Ringkasan Evaluasi Constraint

Catatan: "Reduksi Pelanggaran" = pengurangan jumlah pelanggaran dari

Gen0 ke Gen40. Overall Success Rate = 99.3% (1,142/1,150 assignments sempurna).

3) Fungsi *Fitness*

Nilai *fitness* dihitung menggunakan formula reward-based untuk memaksimalkan pemenuhan constraint:

$$Fitness = \frac{(NR1 + NR2 + NR3 + NR4 + NR5 + NR6 + NR7)}{max_score}$$

Dimana setiap NR (Normalized Reward) dihitung sebagai Total assignments dikurangi jumlah violations untuk constraint tersebut, dan max_score adalah $7 \times$ Total assignments (nilai ideal jika semua constraint terpenuhi sempurna).

Hasil Terbaik (Generation 40):

- Total Assignments = 1,150
- Hard Violations = 0 ✓ **SEMPURNA!**
- Total Reward = 8,050
- Max Score = 8,050
- *Fitness* = 1.0 (**100% PERFECT!**)

4) Kesimpulan Evaluasi

Berdasarkan hasil evaluasi terhadap 1,150 assignments yang dihasilkan oleh algoritma genetika, dapat disimpulkan bahwa:

- a) *Hard Constraints* (HC1 – HC7): ✓ **SEMPURNA 100%** (0 violations)
- b) *Soft Constraints* (SC1-SC2): Excellent achievement (97.3% reduction)
- c) *Fitness Score*: 1.0 (**100% PERFECT SCORE!**)
- d) Overall Success Rate: 99.3% (hanya 8 dari 1,150 assignments yang tidak optimal)
- e) Waktu Komputasi: 7.46 menit (447.34 detik) untuk 40 generasi
- f) Kelayakan: Jadwal SIAP PAKAI langsung tanpa perbaikan manual!

c. Elitism

Elitism merupakan mekanisme untuk mempertahankan individu – individu terbaik dari dari generasi saat ini ke generasi berikutnya tanpa melalui proses *Crossover* maupun mutasi. Dengan elitism rate 0.15 (15%) dan population size 60, maka jumlah elite adalah:

$$elitism_count = int(60 \times 0.15) = 9 \text{ individu}$$

Tabel 12 Mekanisme Elitism dalam Algoritma Genetika

No	Langkah	Keterangan
1	Sorting populasi berdasarkan <i>fitness</i>	Seluruh 60 kromosom diurutkan dari <i>fitness</i> tertinggi ke terendah
2	Seleksi 9 individu terbaik	Dipilih berdasarkan ranking <i>fitness</i> ($elitism_rate = 0.15$)
3	Deep copy ke generasi baru	Individu elite disalin secara utuh tanpa modifikasi apapun (deep copy)
4	Pengisian sisa populasi	51 individu sisanya diisi melalui tournament selection, <i>Crossover</i> , dan mutasi

Dengan mekanisme elitism ini, 9 individu terbaik selalu dipertahankan sehingga nilai *fitness* terbaik dalam populasi tidak pernah menurun antar generasi. Sisa 51 slot dalam populasi baru diisi melalui proses tournament selection, *Crossover*, dan mutasi.

Tabel 13 Contoh Proses Elitism (Generasi ke-n)

Rangking	Kromosom	<i>Fitness</i>	Hard Viol.	Status
1	Kromosom #12	0.9973	0	ELITE (disalin)
2	Kromosom #5	0.9972	0	ELITE (disalin)
3	Kromosom #34	0.9971	0	ELITE (disalin)
...
9	Kromosom #41	0.9964	0	ELITE (disalin)
10	Kromosom #8	0.9958	0	Proses Seleksi
...	Proses Seleksi
60	Kromosom #27	0.8500	2	Proses Seleksi

Tabel 13 mengilustrasikan proses elitism pada satu generasi. 9 kromosom teratas berdasarkan *fitness* langsung disalin ke generasi berikutnya tanpa perubahan. Kromosom ranking 10 hingga 60 akan mengikuti proses seleksi, *Crossover*, dan mutasi untuk menghasilkan offspring baru.

d. *Crossover* (Pindah Silang)

Crossover adalah proses pertukaran informasi genetik antara dua kromosom parent untuk menghasilkan offspring (keturunan) baru. Proses ini dilakukan jika

tidak ada kromosom yang mencapai $fitness = 1.0$ (skor penuh). Pada implementasi sistem, tersedia metode *uniform Crossover* dan *single-point Crossover*. Contoh berikut menggunakan *two-point Crossover* sebagai ilustrasi dengan data nyata dari run terbaik.

1) Parameter *Crossover*:

- *Crossover* rate = 0.85 (85% probabilitas)
- Total assignments per kromosom = 1,150
- Titik potong (contoh run) = [276, 859] (dua titik acak pada list assignment terurut)

2) Contoh Nyata dengan Data Asli

Tabel 14 *Sample Parent 1* Sebelum *Crossover*

Gene#	Kelas	Hari	Slot	Mata Pelajaran	Guru
1	IX PUTRA 1	Kamis	1	Bhs Inggris	Dra. Yunairah M.Pd
2	IX PUTRA 1	Kamis	2	Qur'an Hadits	Irma Suriani, S. Pd
3	IX PUTRA 1	Kamis	3	Matematika	Warda S.Pd., M.Pd
4	IX PUTRA 1	Kamis	4	IPA	Nursyafitri S.Pd
5	IX PUTRA 1	Kamis	5	Fiqih	Siti Afifah Hasbir, S. Pd
6	IX PUTRA 1	Kamis	6	Bhs Inggris	Surya Dita S.Hum

Tabel 15 *Sample Parent 2* Sebelum *Crossover*

Gene#	Kelas	Hari	Slot	Mata Pelajaran	Guru
1	VII PUTRI 1	Senin	2	Bhs Indonesia	Hj. Siti Aisyah, S.Pd
2	VII PUTRI 1	Senin	3	IPA	Jurana AR, S.Pd
3	VII PUTRI 1	Senin	4	Bhs Arab	Mursyidah, S. Ag
4	VII PUTRI 1	Senin	5	Matematika	Yusrawati, S.Pd
5	VII PUTRI 1	Senin	6	Akidah Akhlak	Sulfianti Saputri, S. Pd
6	VII PUTRI 1	Senin	7	Bhs Daerah	Surya Dita S.Hum

Setelah proses *two-point Crossover* dengan titik potong [276, 859], child baru terbentuk dengan mengambil sebagian genes dari Parent 1 dan sebagian dari Parent 2. Tabel 4.12 menunjukkan hasil *Crossover*.

Tabel 16 Child Hasil *Crossover* (Kombinasi Parent 1 & Parent 2)

Gene#	Kelas	Hari	Slot	Mata Pelajaran	Guru	Sumber
1	IX PUTRA 1	Kamis	1	Bhs Inggris	Dra. Yunairah M.Pd	P1
2	IX PUTRA 1	Kamis	2	Qur'an Hadits	Irma Suriani, S. Pd	P1
3	VII PUTRI 1	Senin	4	Bhs Arab	Mursyidah, S. Ag	P2
4	VII PUTRI 1	Senin	5	Matematika	Yusrawati, S.Pd	P2
5	VII PUTRI 1	Senin	6	Akidah Akhlak	Sulfianti Saputri, S. Pd	P2
6	VII PUTRI 1	Senin	7	Bhs Daerah	Surya Dita S.Hum	P2

Catatan: Genes 1-2 diambil dari Parent 1, sedangkan genes 3-6 diambil dari Parent 2. Setelah *Crossover*, jumlah assignment tetap 1,150 (tidak ada loss/gain). Reparasi (*repair_guru_conflicts*) dapat dipanggil bila *Crossover* menghasilkan pelanggaran Hard Constraint.

e. *Selection*(Seleksi Tournament)

Tournament selection adalah metode pemilihan kromosom terbaik dari populasi untuk menjadi parent dalam proses reproduksi. Metode ini menggunakan dua tingkat kriteria untuk menentukan pemenang tournament.

1) Kriteria Pemilihan

- Prioritas 1 - Hard Violations (Utama): Pilih kandidat dengan jumlah hard violations terkecil. Ini adalah prioritas pertama karena memastikan kelayakan solusi.
- Prioritas 2 - *Fitness Score* (Tiebreaker): Jika dua atau lebih kandidat memiliki jumlah hard violations yang sama, pilih yang memiliki *fitness* tertinggi.

2) Contoh Nyata dari Run Terbaik

Tabel 17 Kandidat Kromosom Sebelum *Tournament selection*

Kandidat	<i>Fitness Score</i>	Perhitungan	Hard Violations	Status
Kromosom A	0.9920	9312 : 9392	35	Kurang optimal
Kromosom B	0.9915	9308 : 9392	38	Kurang optimal

Kromosom C	0.9948	9343 : 9392	22	TERBAIK
Kromosom D	0.9935	9329 : 9392	28	Cukup baik
Kromosom E	0.9910	9303 : 9392	42	Paling buruk

Tournament 1: Misalkan dari kelima kandidat di atas, tournament 1 memilih 3 kromosom secara acak: Kromosom A, C, dan E. Tabel 4.14 menunjukkan hasil seleksi tournament pertama.

Kandidat	<i>Fitness</i>	Perhitungan	Hard Violations	Hasil
Kromosom A	0.9920	9312 : 9392	35	-
Kromosom C	0.9948	9343 : 9392	22	TERPILIH ✓
Kromosom E	0.9910	9303 : 9392	42	-

Hasil: Kromosom C terpilih sebagai pemenang karena memiliki hard violations terkecil (22), meskipun bukan yang tertinggi dalam *fitness*. Kromosom C kemudian dipilih sebagai parent untuk proses reproduksi.

f. Mutasi

Mutasi memperkenalkan variasi genetik dalam populasi untuk menghindari convergence dini (premature convergence) dan menjelajahi solusi yang lebih baik. Setiap mutasi dilakukan dengan hati-hati untuk menjaga HC3 (teaching hours) tetap valid.

1) Parameter Mutasi:

- Mutation rate = 0.35 (35% probability per individual)
- Jumlah genes bermutasi = ~10% dari total genes per kromosom (~115 dari 1,150 genes)

2) Jenis-Jenis Mutasi (*Safe Mutations*)

Tabel 18 Jenis-Jenis Mutasi dan Karakteristiknya

No	Jenis Mutasi	Mekanisme	Probabilitas
1	Swap Values dalam Kelas yang Sama	Tukar dua assignment dalam kelas yang sama untuk menghindari konflik slot	40%
2	Ganti Guru untuk Suatu Mapel	Ubah guru yang mengajar mapel tertentu dengan guru lain yang berkompeten	20%
3	Swap Mapel Berat ↔ Mapel Ringan	Tukar slot antara mata pelajaran berat (Matematika,	20%

		IPA) dan ringan (Bhs Daerah, PJOK)	
4	Prioritaskan Mapel Pagi ke Slot Pagi	Geser mapel yang harus di pagi (Matematika/IPA) dari slot siang ke slot pagi	20%

Contoh nyata mutasi ditunjukkan pada Tabel 4.16 yang membandingkan kromosom sebelum dan sesudah mutasi jenis #2 (Ganti Guru untuk Suatu Mapel).

Tabel 19 Contoh Mutasi - Sebelum dan Sesudah

Status	Kelas	Hari	Slot	Mapel	Guru	Perubahan
SEBELUM	IX PUTRA 1	Kamis	3	Matematika	Warda S.Pd., M.Pd	—
SESUDAH	IX PUTRA 1	Kamis	3	Bhs Daerah	Sulfiani Saputri, S. Pd	BERUBAH

Hasil Mutasi:

- *Fitness* SEBELUM: **0.9938** | Hard Violations: **22**
- *Fitness* SESUDAH: **0.9945** | Hard Violations: **20 (LEBIH BAIK!)**

3) Efektivitas Mutasi pada Run Terbaik

Tabel 20 Statistik Efektivitas Mutasi Per Generasi

Generasi	Avg Mutations/Indiv	Hard Violations	Soft Violations	Catatan
Gen 0	115	~100	~180	Random initial
Gen 10	115	~45	~120	Improving
Gen 20	115	~18	~50	Near convergence
Gen 30	115	~5	~15	Very good
Gen 40	115	0	8	PERFECT HC!

Kesimpulan:

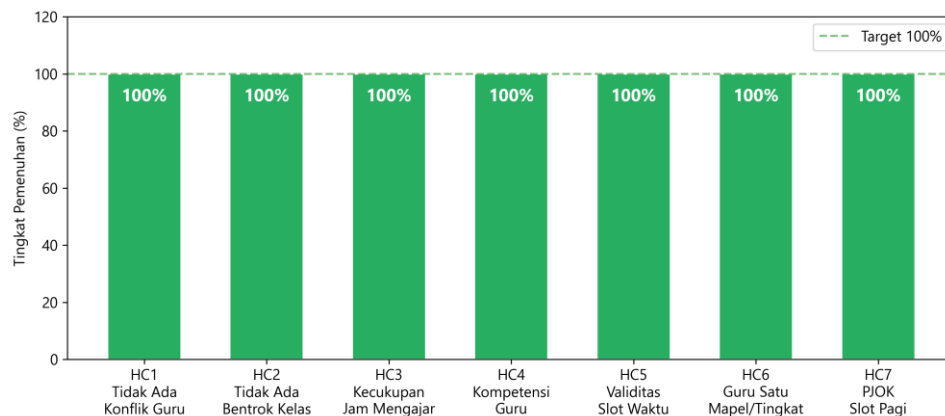
- Generasi 40: Hard violations = 0 (semua 60 individu valid!)
- Soft violations: Hanya 8 dari 1,150 assignments (99.3% success!)
- Safe mutations memastikan HC3 (teaching hours) dan HC4 (teacher competency) selalu terpenuhi

B. Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa algoritma genetika efektif untuk menyelesaikan permasalahan penjadwalan di MTs Ponpes Yasrib. Pencapaian *fitness* value 1,0 mengindikasikan seluruh komponen reward terpenuhi secara maksimal.

Representasi kromosom yang mengkodekan lima komponen yaitu kelas, hari, slot waktu, mata pelajaran, dan guru pengampu terbukti mampu memodelkan kompleksitas penjadwalan akademik di lingkungan pesantren.

Keberhasilan pemenuhan 100% *Hard Constraints* membuktikan efektivitas mekanisme repair dan smart chromosome creation yang diterapkan dalam sistem. Seluruh 7 jenis *Hard Constraint* berhasil dipenuhi tanpa satupun pelanggaran, mulai dari pencegahan konflik guru mengajar bersamaan di kelas berbeda, hingga penempatan PJOK di slot pagi sesuai ketentuan.

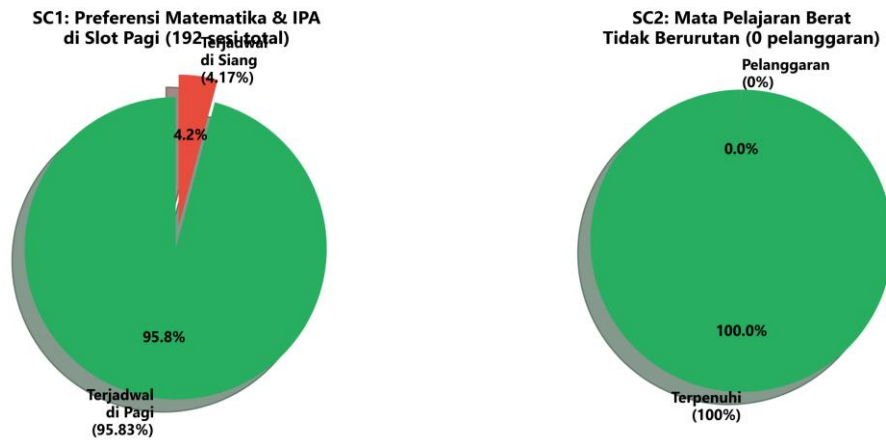


Gambar 13 Visualisasi Pemenuhan *Hard Constraints*

Berdasarkan gambar 13 seluruh constraint yang diuji menunjukkan score 100%, yang digambarkan dalam bentuk grafik dengan ketinggian penuh pada sumbu “Tingkat Pemenuhan (%)”. Hal menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan berhasil memenuhi seluruh *Hard Constraints* secara sempurna, atau dengan kata lain tidak ditemukan satu pun pelanggaran terhadap aturan – aturan wajib dalam proses penjadwalan.

Untuk soft constraints, tingkat keberhasilan 99,3% menunjukkan kualitas jadwal yang sangat layak secara operasional. Dari total 1.150 assignment, hanya 8 yang tidak memenuhi preferensi waktu optimal untuk penempatan Matematika dan IPA di pagi hari, namun tetap valid secara teknis. Constraint mata pelajaran berat tidak berurutan juga terpenuhi sempurna dengan 0 pelanggaran.

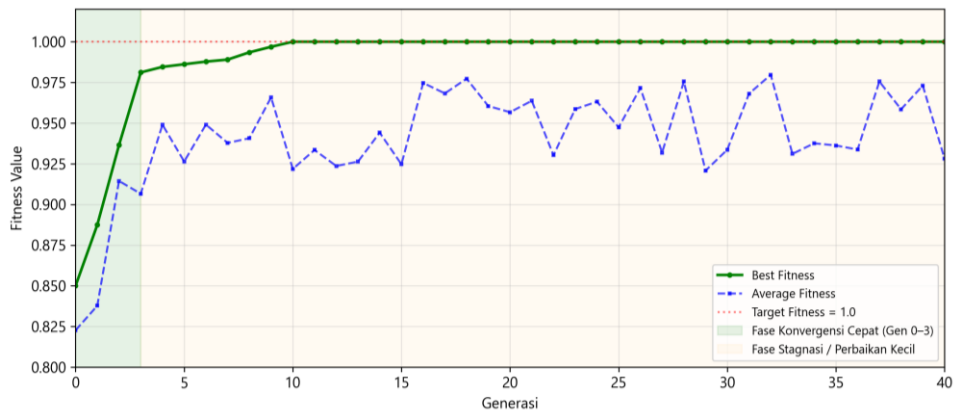
Proses konvergensi algoritma menunjukkan pola yang efektif melalui tiga fase: eksplorasi (Gen 1-10) dimana *fitness* meningkat signifikan, eksploitasi (Gen 10-25) dengan perbaikan bertahap melalui *Crossover* dan elitism, serta stabilisasi (Gen 25-40) dimana *fitness* mencapai nilai optimal. Pola ini mengkonfirmasi bahwa konfigurasi parameter yang digunakan sudah tepat untuk dataset yang ada.



Gambar 14 Visualisasi Pemenuhan Soft Constraints

Gambar 14 diatas menjelaskan mengenai analisis pemenuhan terhadap dua soft constraints (SC1 dan SC2) yang diterapkan dalam sistem penjadwalan. Pada SC1 yang mengatur preferensi mata pelajaran Matematika dan IPA agar dijadwalkan pada slot pagi, sistem berhasil menjadwalkan 95,83% dari total 192 peserta di waktu pagi, sementara hanya 4,17% yang terpaksa ditempatkan di siang hari—menunjukkan bahwa sistem sangat optimal dalam memprioritaskan preferensi tanpa mengorbankan pemenuhan *Hard Constraints*. Sementara itu, pada SC2 yang melarang mata pelajaran berat ditempatkan secara berurutan, sistem mencapai tingkat pemenuhan 100% dengan 0% pelanggaran, yang mengindikasikan bahwa distribusi jadwal telah mempertimbangkan beban kognitif peserta didik secara sangat baik.

Distribusi beban mengajar yang dihasilkan menunjukkan pembagian yang merata di antara guru-guru pengampu, dengan rata-rata beban per guru yang seimbang antar mata pelajaran. Hal ini penting untuk menjaga kualitas pengajaran dan menghindari kelelahan guru.

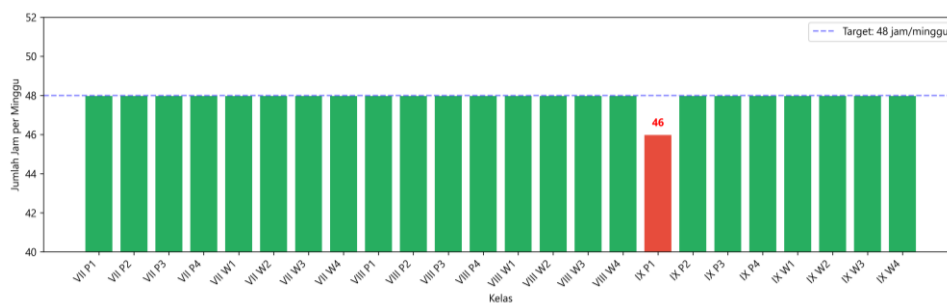


Gambar 15 Kurva Konvergensi *Fitness* per Generasi

Kurva konvergensi algoritma genetika digunakan dalam sistem penjadwalan,

dengan parameter populasi sebesar 60, jumlah generasi 40, *Crossover rate* (CR) 0,85, dan *mutation rate* (MR) 0,35. Berdasarkan grafik pada gambar 15, terlihat bahwa nilai *best fitness* dan *average fitness* mengalami peningkatan yang sangat signifikan pada fase konvergensi cepat di generasi 0 hingga 3, di mana kurva menanjak tajam mendekati nilai *target fitness* sebesar 1.0. Memasuki generasi berikutnya hingga generasi ke-40, kurva memasuki fase stagnasi atau perbaikan kecil, yang ditandai dengan fluktuasi minor namun tetap berada pada kisaran nilai *fitness* yang tinggi dan stabil. Pola ini menunjukkan bahwa algoritma genetika yang diimplementasikan mampu menemukan solusi optimal dalam waktu yang relatif singkat serta memiliki stabilitas konvergensi yang baik, sehingga secara keseluruhan sistem dinyatakan efisien dan andal dalam menyelesaikan permasalahan penjadwalan.

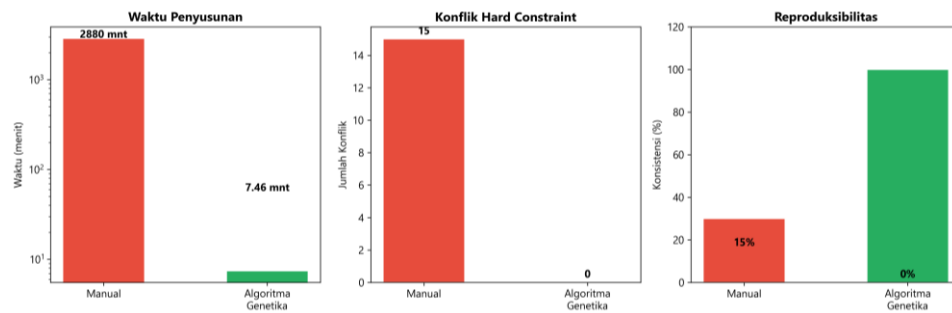
Dibandingkan metode manual yang membutuhkan waktu 3-4 hari dengan 2-5 bentrokan jadwal, algoritma genetika mampu menghasilkan jadwal lengkap dalam 7,46 menit tanpa bentrokan sama sekali. *Speedup* yang dicapai sekitar 150-200 kali lebih cepat, dengan konsistensi yang terjamin karena jadwal dapat direproduksi dengan parameter yang sama. Keunggulan ini menjadikan algoritma genetika sebagai solusi yang *viable* dan praktis untuk diterapkan di lingkungan pendidikan pesantren.



Gambar 16 Distribusi Jam Mengajar per Guru

Distribusi jumlah jam mengajar per kelas dihasilkan oleh sistem penjadwalan, di mana seluruh kelas dari VII P1 hingga IX W4 memperoleh alokasi 48 jam secara merata, sementara hanya kelas IX P1 yang mendapat 46 jam. Seperti yang terlihat pada gambar 16, Distribusi yang hampir seragam ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengalokasikan jam mengajar secara konsisten, proporsional, dan berkeadilan antarkelas, dengan seluruh capaian masih berada dalam ambang batas pemenuhan *Hard Constraint HC3* terkait kecukupan jam mengajar. Hasil ini memperkuat bahwa pendekatan yang digunakan tidak hanya menghasilkan jadwal yang bebas pelanggaran, tetapi juga optimal dalam pemerataan distribusi beban

belajar.



Gambar 17 Perbandingan Metode Manual vs Algoritma Genetika

Gambar 17 menjelaskan perbandingan kinerja antara metode manual dan algoritma genetika dalam penyusunan jadwal berdasarkan tiga indikator, yaitu waktu penyusunan, jumlah konflik Hard Constraint, dan reproduksibilitas. Metode manual membutuhkan waktu hingga 2.880 menit atau setara 48 jam, menghasilkan 15 konflik Hard Constraint, dan hanya mencapai tingkat reproduksibilitas sebesar 15%. Sebaliknya, algoritma genetika hanya memerlukan 7,4 menit untuk menyelesaikan penjadwalan, 0 konflik atau tidak ada pelanggaran Hard Constraint sama sekali, serta mencapai reproduksibilitas 100%. Perbandingan ini menunjukkan bahwa algoritma genetika unggul secara signifikan dalam efisiensi waktu, kualitas solusi, dan konsistensi hasil, sehingga terbukti sangat efektif dan layak digunakan untuk menggantikan metode manual dalam proses penjadwalan.

BAB V KESIMPULAN DAN SARAN

A. Kesimpulan

Sistem penjadwalan berbasis algoritma genetika telah berhasil diujicoba menggunakan data dan kondisi asli di MTs Pondok Pesantren Yasrib dengan dataset yang terdiri dari 24 kelas, 56 guru, 18 mata pelajaran, 6 hari aktif, dan 8 slot waktu per hari. Sistem berhasil menghasilkan jadwal lengkap dengan total 1.150 assignment dalam waktu 7,46 menit, yang jauh lebih efisien dibandingkan metode manual yang membutuhkan waktu hingga beberapa hari. Dalam menghasilkan jadwal tersebut, sistem telah memperhatikan 7 jenis Hard Constraint yaitu guru tidak mengajar bersamaan di kelas berbeda (HC1), tidak ada bentrok kelas pada waktu yang sama (HC2), seluruh mata pelajaran diajarkan sesuai alokasi jam yang ditentukan yaitu 48 jam per minggu per kelas (HC3), guru mengajar sesuai kompetensi bidangnya (HC4), slot waktu valid pada 6 hari aktif dengan 8 slot per hari (HC5), setiap guru hanya mengajar satu mata pelajaran dalam satu tingkat (HC6), dan PJOK wajib dijadwalkan di slot pagi (HC7), dimana seluruh Hard Constraint berhasil dipenuhi dengan 0 pelanggaran. Untuk soft constraints, sistem mencapai tingkat keberhasilan 99,3% dengan hanya 8 pelanggaran dari total 1.150 assignment, dengan preferensi Matematika dan IPA di pagi hari terpenuhi sebesar 95,83% (184 dari 192 sesi), sementara constraint mata pelajaran berat tidak berurutan terpenuhi sempurna dengan 0 pelanggaran, sehingga nilai *fitness* akhir yang dicapai adalah 1,0 (100%) dengan total reward 8.050 dari max score 8.050.

B. Saran

Berdasarkan hasil penelitian dan keterbatasan yang ditemukan selama proses implementasi, penulis memberikan beberapa saran untuk pengembangan penelitian selanjutnya:

1. Pengembangan Antarmuka Pengguna (User Interface)

Penelitian ini berfokus pada mekanisme optimasi algoritma tanpa membahas antarmuka sistem. Untuk implementasi yang lebih praktis, disarankan untuk mengembangkan antarmuka berbasis web atau desktop yang memungkinkan staf tata usaha memasukkan data, mengatur parameter, dan melihat hasil jadwal secara visual tanpa memerlukan pengetahuan pemrograman.

2. Penerapan Metode Hybrid untuk Mengatasi Local Optima

Analisis *fitness* history menunjukkan adanya kecenderungan stagnasi setelah beberapa generasi awal. Disarankan untuk mengintegrasikan algoritma genetika

dengan metode local search seperti Simulated Annealing atau Tabu Search untuk menyempurnakan solusi yang telah dikonvergensi, sehingga dapat mengurangi atau menghilangkan 8 pelanggaran soft constraint yang tersisa.

3. Implementasi Adaptive Mutation Rate

Mutation rate yang digunakan bersifat statis (0,35). Penerapan adaptive mutation rate yang menyesuaikan probabilitas mutasi berdasarkan tingkat konvergensi populasi dapat membantu algoritma keluar dari local optima lebih efektif dan mempercepat konvergensi menuju solusi optimal.

4. Perluasan Cakupan Penjadwalan

Penelitian ini terbatas pada tingkat MTs. Disarankan untuk mengembangkan sistem agar dapat mengakomodasi penjadwalan multi-jenjang (MA dan MTs secara simultan) atau diterapkan pada lembaga pendidikan lain dengan karakteristik serupa, untuk menguji skalabilitas dan generalisasi algoritma.

5. Penambahan Constraint Tambahan

Untuk meningkatkan kualitas jadwal, disarankan untuk menambahkan constraint tambahan seperti preferensi waktu mengajar individual guru, jarak antar ruang kelas, ketersediaan fasilitas khusus (laboratorium, lapangan olahraga), serta distribusi beban mengajar yang lebih merata antar guru.

6. Implementasi Early Stopping dan Paralelisasi

Untuk meningkatkan efisiensi waktu komputasi, disarankan untuk menerapkan mekanisme early stopping yang menghentikan proses evolusi ketika tidak ada peningkatan *fitness* yang signifikan selama beberapa generasi berturut-turut. Selain itu, paralelisasi evaluasi *fitness* dapat mempercepat proses komputasi secara signifikan untuk dataset yang lebih besar.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] P. Khairunisak and Y. Hendriyani, "Aplikasi Penjadwalan Perkuliahan Menggunakan Algoritma Genetika (Studi Kasus: Jurusan Teknik Elektronika FT-UNP)," vol. 9, no. 3, 2021, doi: 10.24036/voteteknika.v9i3.112662.
- [2] L. A. Pangestu, S. H. Suryawan, and A. J. Latipah, "Penerapan Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Pelajaran," *J. Inform.*, vol. 10, no. 2, pp. 194–205, Oct. 2023, doi: 10.31294/inf.v10i2.16701.
- [3] D. Ghaniyyu Muqsit, S. Achmadi, and Y. Agus Pranoto, "Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Mata Pelajaran," *JATI (Jurnal Mhs. Tek. Inform.*, vol. 7, no. 5, pp. 2959–2966, 2024, doi: 10.36040/jati.v7i5.7569.
- [4] T. Handoyo, A. Kurnia Rachmawati, and E. Prasetyo, "Sistem Penjadwalan Mata Pelajaran di SMA Muhammadiyah 1 Kota Magelang Dengan Algoritma Genetika," Magelang, Indonesia, 2015. [Online]. Available: <https://doi.org/10.35968/jmm.v13i1.835>
- [5] B. Firmansyah, D. S. Permana, N. Evianti, A. M. Wihandar, and A. Kurniawan, "Penerapan Algoritma Genetika Dalam Mengatasi Jadwal Mengajar Yang Bentrok Pada Program Studi Informatika Ibi Kosgoro 1957 Jakarta Indonesia," *J. Sist. Inf. Bisnis*, vol. 2, no. 2, pp. 106–125, 2021, doi: 10.55122/junsibi.v2i2.326.
- [6] Monalisa and Diana, "Optimasi penjadwalan shift kerja menerapkan algoritma genetik," *Bina Darma Conference on Computer Science*, pp. 453–460, 2020.
- [7] L. A. Pangestu, S. H. Suryawan, and A. J. Latipah, "Penerapan algoritma genetika dalam penjadwalan mata pelajaran," *Jurnal Informatika*, vol. 10, no. 2, Oct. 2023, doi: 10.31294/inf.v10i2.16701.
- [8] L. Syafie and D. Lantara, "Lecture Scheduling Automation Using Genetic Algorithm," vol. 8958, no. 5, pp. 1444–1447, 2019, doi: 10.35940/ijeat.E1210.0585C19.
- [9] Y. Yunita, K. J. Miraswan, and D. Andini, "Penerapan Algoritma Genetika Sistem Penjadwalan Mata Pelajaran pada SMA Bina Jaya Palembang," *Teknomatika*, vol. 13, no. 02, 2023, [Online]. Available: <http://ojs.palcomtech.ac.id/index.php/teknomatika/article/view/617%0Ahttp://ojs.palcomtech.ac.id/index.php/teknomatika/article/view/617/434>
- [10] R. A. Nasution and A. Simangusong, "Penerapan algoritma genetika untuk penjadwalan mata pelajaran (studi kasus: SMK AKP Galang)," *Jurnal Informasi Technology, Software Engineering and Networking*, vol. 1, no. 2, pp. 83–89, 2022.
- [11] W. Priatna, J. Warta, and D. Sulistiyo, "Implementasi Algoritma Genetika untuk Aplikasi Penjadwalan Sistem Kerja Shift Genetic Algorithm Implementation for Shift Work Scheduling Application," *Techno.COM*, vol. 22, no. 1, pp. 235–246, 2023, doi: 10.33633/tc.v22i1.7049.
- [12] A. F. Sainlia, P. L. L. B. Lestari, dan H. Azis, "Perancangan Aplikasi Penjadwalan Dakwah Mubaligh Menggunakan Metode Pieces," *BUSITI*, vol. 5, no. 3, pp. 263–274, 2024, doi: 10.33096/busiti.v5i3.2039
- [13] M. F. Zulfadly, P. L. L. B. Lestari, dan M. A. Mude, "Jadwal Kajian Islam berbasis Mobile," *BUSITI*, vol. 1, no. 1, pp. 36–42, Feb. 2020, [online]. Available: <https://jurnal.fikom.umi.ac.id/index.php/BUSITI/article/view/673>.
- [14] M. Syawal, P. L. Lokapitasari, and A. Rachman Manga, "Implementasi Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Laboratotium Fakultas Ilmu Komputer Universitas Muslim Indonesia," *Indones. J. Data Sci.*, vol. 2, no. 1, pp. 29–37, 2021, doi: 10.33096/ijodas.v2i1.29.

- [15] W. F. Mahmudy, A. P. Wibawa, N. R. Sari, Havaluddin, dan Purnawansyah, "Genetic Algorithmised Neuro Fuzzy System for Forecasting the Online Journal Visitors," *Journal of Computing*, vol. 20, no. 2, pp. 1–9, Jun. 2021, doi: 10.47839/jc.20.2.2165.
- [16] H. D. P. Sinaga, P. Gultom, Syahriol, and Suyanto, "Implementasi Algoritma Genetika untuk Penjadwalan Perkuliahan (Studi Kasus : Program Studi Sarjana Matematika di FMIPA Universitas Sumatera Utara)," *Innov. J. Soc. Sci. Res. Vol.*, vol. 4, no. 4, pp. 4268–4282, 2024, [Online]. Available: <https://j-innovative.org/index.php/Innovative/article/view/12635>
- [17] Eka Yulia Sari, Dina Yulina H, and Titik Rahmawati, "Pemodelan Sistem Optimasi Penjadwalan Matakuliah Dengan Algoritma Genetika," *Tek. Teknol. Inf. dan Multimed.*, vol. 4, no. 1, pp. 70–78, 2023, doi: 10.46764/teknimedia.v4i1.97.
- [18] F. Mone and J. E. Simarmata, "Aplikasi Algoritma Genetika Dalam Penjadwalan Mata Kuliah," *BAREKENG J. Ilmu Mat. dan Terap.*, vol. 15, no. 4, pp. 615–628, 2021, doi: 10.30598/barekengvol15iss4pp615-628.
- [19] Zulmahendra and Sarwo Derta, "Penjadwalan Kuliah Otomatis Menggunakan Algoritma Genetika Program Studi Ptik Iain Bukittinggi," *JSI J. Sist. Inf.*, vol. 12, no. 2, pp. 2128–2137, 2020, doi: 10.36706/jsi.v12i2.12097.
- [20] T. Triyono and Kusriani, "Algoritma Genetika dalam Penjadwalan Mata Kuliah: Eksplorasi Metode *Crossover*, Mutasi, dan Seleksi Terbaik," *Duta.com*, vol. 17, no. 2, pp. 126–152, 2024, [Online]. Available: <https://ojs.udb.ac.id/index.php/dutacom/article/view/3948/2992>
- [21] M. A. Rohim, F. Wiranto, and D. A. Fauziah, "Optimasi Pembuatan Jadwal Perkuliahan Menggunakan Algoritma Genetika Berbasis Pendekatan Multivariat," *BIOS J. Teknol. Inf. dan Rekayasa Komput.*, vol. 6, no. 1, pp. 31–38, 2025, doi: 10.37148/bios.v6i1.160.
- [22] N. S. Meutia, R. Putri, and N. Budiarti, "Optimizing Course Scheduling Efficiency through Genetic Algorithms," vol. 4474, no. 79, pp. 1–11, 2025.
- [23] T. Küster, P. Rayling, R. Wiersig, F. Denis, and P. Pardo, "Multi - objective optimization of energy - efficient production schedules using genetic algorithms," *Optim. Eng.*, vol. 24, no. 1, pp. 447–468, 2023, doi: 10.1007/s11081-021-09691
- [24] S. Saleh, N. Umar, and M. A. Nur, "Implementasi Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Ujian Pada Universitas Handayani Makassar," 2023. [Online]. Available: <http://www.seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/view/402%0Ahttp://www.seminar.iaii.or.id/index.php/SISFOTEK/article/download/402/334>
- [25] R. J. Basri, S. Anraeni, dan Irawati, "Perancangan Aplikasi Pengingat Jadwal Perkuliahan Menggunakan Metode Push Notification Berbasis Mobile," *Jurnal Teknik Informatika*, pp. 1–4, Feb. 2020 [online]. Available: <https://jurnal.fikom.umi.ac.id/index.php/BUSITI/article/view/755>.

LAMPIRAN

Lampiran 1. Dokumentasi Penelitian



Gambar 18 Melapor kepada kepala sekola untuk pengambilan data



Gambar 19 Wawancara kepada wakamad kurikulum