PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA PADA APLIKASI PENENTUAN KELOMPOK KKM REGULER BERBASIS WEB (STUDI KASUS UIN MALANG)

SKRIPSI

Oleh :
ADI NOVENDRA PUTRA
NIM. 220605110102

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025

PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA PADA APLIKASI PENENTUAN KELOMPOK KKM REGULER BERBASIS WEB (STUDI KASUS UIN MALANG)

SKRIPSI

Diajukan kepada:
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang
Untuk memenuhi Salah Satu Persyaratan dalam
Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)

Oleh :
ADI NOVENDRA PUTRA
NIM. 220605110102

PROGRAM STUDI TEKNIK INFORMATIKA
FAKULTAS SAINS DAN TEKNOLOGI
UNIVERSITAS ISLAM NEGERI MAULANA MALIK IBRAHIM
MALANG
2025

HALAMAN PERSETUJUAN

PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA PADA APLIKASI PENENTUAN KELOMPOK KKM REGULER BERBASIS WEB (STUDI KASUS UIN MALANG)

SKRIPSI

Oleh :
ADI NOVENDRA PUTRA
NIM. 220605110102

Telah Diperiksa dan Disetujui untuk Diuji:
Tanggal: 25 November 2025

Pembimbing I,	Pembimbing II,
Nurizal Dwi Priandani, M.Kom	Dr. M. Amin Hariyadi, M.T
NIP. 19920830 202203 1 001	NIP. 19670118 200501 1 001

Mengetahui,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

HALAMAN PENGESAHAN

PENERAPAN ALGORITMA GENETIKA PADA APLIKASI PENENTUAN KELOMPOK KKM REGULER BERBASIS WEB (STUDI KASUS UIN MALANG)

SKRIPSI

Oleh :
ADI NOVENDRA PUTRA
NIM. 220605110102

Telah Dipertahankan di Depan Dewan Penguji Skripsi
dan Dinyatakan Diterima Sebagai Salah Satu Persyaratan
Untuk Memperoleh Gelar Sarjana Komputer (S.Kom)
Tanggal: 10 Desember 2025

Susunan Dewan Penguji

Ketua Penguji	: Roro Inda Melani, M.T, M.Sc NIP. 19780925 200501 2 008	(.)
Anggota Penguji I	: Nur Fitriyah Ayu Tunjung Sari, M.Cs NIP. 19911226 202012 2 001	( )
Anggota Penguji II	: Nurizal Dwi Priandani, M.Kom NIP. 19920830 202203 1 001	( )
Anggota Penguji III	: Dr. M. Amin Hariyadi, M.T NIP. 19670118 200501 1 001	( )

Mengetahui dan Mengesahkan,
Ketua Program Studi Teknik Informatika
Fakultas Sains dan Teknologi
Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang

Supriyono, M. Kom
NIP. 19841010 201903 1 012

PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN

Saya yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama	: Adi Novendra Putra
NIM	: 220605110102
Fakultas / Program Studi	: Sains dan Teknologi / Teknik Informatika
Judul Skripsi	: Penerapan Algoritma Genetika pada Aplikasi Penentuan Kelompok KKM Reguler Berbasis Web (Studi Kasus UIN Malang)

Menyatakan dengan sebenarnya bahwa Skripsi yang saya tulis ini benar-benar merupakan hasil karya saya sendiri, bukan merupakan pengambil alihan data, tulisan, atau pikiran orang lain yang saya akui sebagai hasil tulisan atau pikiran saya sendiri, kecuali dengan mencantumkan sumber cuplikan pada daftar pustaka.

Apabila dikemudian hari terbukti atau dapat dibuktikan skripsi ini merupakan hasil jiplakan, maka saya bersedia menerima sanksi atas perbuatan tersebut.

Malang, 10 Desember 2025
Yang membuat pernyataan,

Adi Novendra Putra
NIM. 220605110102

MOTTO

"Setiap orang punya porsinya masing-masing"

HALAMAN PERSEMBAHAN

Dengan penuh rasa syukur ke hadirat Allah SWT atas limpahan rahmat, kesehatan, dan kekuatan yang memungkinkan penulis menyelesaikan skripsi ini. Karya ini penulis persembahkan kepada Ayah dan Ibu tercinta atas doa, dukungan, kasih sayang, serta pengorbanan yang tidak pernah terputus. Persembahan ini juga ditujukan kepada Kakak, Adik, dan seluruh keluarga besar yang senantiasa memberikan motivasi dan perhatian dalam setiap tahapan perjalanan akademik penulis. Kontribusi dan ketulusan mereka memberikan fondasi emosional yang sangat berarti bagi keberhasilan penyusunan skripsi ini.

Persembahan ini turut penulis sampaikan kepada para Dosen dan seluruh staf akademik yang telah memberikan ilmu, bimbingan, serta arahan yang menjadi landasan penting dalam proses pengembangan pengetahuan dan keterampilan akademik. Ucapan terima kasih juga penulis tujukan kepada teman-teman terdekat yang selalu mendampingi, memberikan dukungan moral, serta menjadi ruang berbagi pengalaman selama proses studi berlangsung. Kehadiran mereka memberikan lingkungan belajar yang kondusif dan memperkaya perjalanan intelektual penulis.

Sebagai penutup, karya ini penulis persembahkan kepada diri sendiri sebagai bentuk apresiasi atas ketekunan, keteguhan, dan komitmen yang senantiasa dijaga hingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Kemauan untuk terus bertahan, belajar, dan memperbaiki diri telah menjadi bagian penting dalam proses yang penulis jalani. Penghargaan ini diharapkan menjadi pengingat untuk terus berkembang dan berkontribusi secara positif di masa mendatang.

KATA PENGANTAR

Assalamu'alaikum Warahmatullahi Wabarakatuh

Penulis menyampaikan puji syukur kepada Allah SWT atas rahmat, taufik, dan hidayah-Nya yang mengiringi setiap langkah penulis dalam proses penyelesaian skripsi ini. Allah SWT memberikan kekuatan kepada penulis untuk menempuh perjalanan panjang ini hingga karya berjudul "Penerapan Algoritma Genetika pada Aplikasi Penentuan Kelompok KKM Reguler Berbasis Web (Studi Kasus UIN Malang)" terwujud sesuai waktu yang ditentukan.

Perjalanan penelitian ini membimbing penulis melalui rangkaian proses pengumpulan data, analisis hasil, serta penyusunan akhir yang penuh tantangan. Setiap momen menghadirkan pelajaran, setiap kesulitan menumbuhkan keteguhan, dan setiap bantuan menguatkan hati. Kehadiran berbagai pihak menyertai penulis dengan ketulusan sehingga skripsi ini dapat terselesaikan dengan baik. Dengan penuh hormat, penulis menyampaikan terima kasih kepada:

1. Prof. Dr. Hj. Ilfi Nur Diana, M.Si., selaku Rektor Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
2. Prof. Dr. H. Agus Mulyono, S.Pd., M.Kes., selaku Dekan Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
3. Supriyono, M.Kom, selaku Ketua Program Studi Teknik Informatika Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.
4. Nurizal Dwi Priandani, M.Kom, dan Dr. M. Amin Hariyadi, M.T., selaku Dosen Pembimbing yang telah memberikan arahan, bimbingan, saran, dan motivasi dengan penuh kesabaran selama proses penyusunan skripsi ini.

5. Roro Inda Melani, M.T., M.Sc., selaku Ketua Penguji, serta Nur Fitriyah Ayu Tunjung Sari, M.Cs., selaku Penguji I, yang telah memberikan kritik dan saran yang sangat membangun selama proses penulisan skripsi.
6. Nia Faricha, S.Si., selaku admin Program Studi Teknik Informatika, atas bantuan, informasi, dan dukungan administratif yang sangat membantu selama masa studi hingga proses penyusunan skripsi.
7. Seluruh dosen, laboran, dan staf Program Studi Teknik Informatika, atas ilmu, bimbingan, semangat, dan dukungan yang diberikan kepada penulis selama masa studi.
8. Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LP2M) UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, atas kesediaan sebagai narasumber serta pemberian izin dalam pelaksanaan penelitian. Informasi dan dukungan yang diberikan memberikan kontribusi yang berarti terhadap pelaksanaan penelitian.
9. Pusat Teknologi Informasi dan Pangkalan Data (PTIPD) UIN Maulana Malik Ibrahim Malang, atas bantuan sebagai narasumber serta ketersediaan data penelitian yang mendukung penyusunan skripsi ini.
10. Ayah Hery Poernomo dan Ibu Yuliana, terima kasih atas doa, kasih sayang, motivasi, dan segala bentuk pengorbanan yang senantiasa menjadi kekuatan terbesar bagi penulis. Segala perhatian dan dukungan yang diberikan menjadi alasan penulis untuk terus berjuang dan menyelesaikan pendidikan hingga tahap akhir.

11. Saudara Arif dan Alia, terima kasih atas perhatian, semangat, dan dukungan yang selalu menguatkan penulis dalam perjalanan akademik.
12. Kakek Mu'Adi, terima kasih atas motivasi, dorongan, dan bantuan yang selalu menguatkan langkah penulis. Nasihat dan doa kakek menjadi penyemangat dalam setiap proses perjalanan akademik.
13. Mas Hendrik dan Mbak Dinda, terima kasih atas bantuan, dukungan, dan perhatian yang begitu tulus selama penulis menjalani masa studi.
14. Mas Harvey dan Mbak Dewi, terima kasih atas semangat, dorongan, dan nasihat yang diberikan kepada penulis, baik dalam bentuk bimbingan pribadi maupun akademik yang membantu penulis menjalani masa studi.
15. Amalia Dewi Anggraeni, atas peran, dukungan, dan perhatian yang diberikan kepada penulis selama masa studi. Dukungan tersebut menjadi penyemangat bagi penulis hingga proses penyusunan skripsi dapat diselesaikan dengan baik.
16. Teman-teman "Kontrakan Penghuni Surga", yaitu Gumilang, Fahry, Rheza, Farros, Rama, Fajar, Afif, Alpin, Syamsul, serta seluruh teman yang tidak dapat disebutkan satu per satu. Terima kasih atas kebersamaan, canda tawa, dukungan, dan bantuan yang begitu berarti, yang turut mengiringi penulis selama menjalani masa studi.
17. Seluruh warga Teknik Informatika, khususnya Angkatan 2022 "*Infinity*", terima kasih atas kebersamaan, motivasi, dan dukungan yang diberikan selama masa perkuliahan.

18. Semua pihak yang telah membantu dalam proses penyelesaian skripsi, baik secara langsung maupun tidak langsung, yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu. Segala bentuk bantuan dan doa yang diberikan sangat berarti dan memberikan kontribusi besar dalam terselesaikannya skripsi.
19. Teruntuk diri sendiri, terima kasih telah berjuang sejauh ini, tetap melangkah meski menghadapi rasa lelah dan keraguan. Terima kasih telah bertahan dan tidak menyerah, walaupun perjalanan ini tidak selalu mudah. Semoga langkah ke depan senantiasa dipenuhi keberanian, kebaikan, dan kesempatan yang lebih luas.

Penulis menyadari bahwa penelitian skripsi ini masih jauh dari kata sempurna dan memiliki berbagai keterbatasan. Dengan demikian, penulis bersedia memperoleh masukan dan kritik yang bersifat membangun demi perbaikan dan pengembangan di masa mendatang. Penulis berharap karya ini tidak hanya berguna bagi pembaca, tetapi juga mampu memberikan kontribusi yang berarti bagi masyarakat secara umum.

Wassalamu'alaikum warahmatullahi wabarakatuh.

Malang, 10 Desember 2025

Penulis

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL ..... **i**
HALAMAN PENGAJUAN ..... **ii**
HALAMAN PERSETUJUAN ..... **ii**
HALAMAN PENGESAHAN ..... **iv**
PERNYATAAN KEASLIAN TULISAN ..... **v**
MOTTO ..... **vi**
HALAMAN PERSEMBAHAN ..... **vii**
KATA PENGANTAR ..... **viii**
DAFTAR ISI ..... **xii**
DAFTAR GAMBAR ..... **xiv**
DAFTAR TABEL ..... **xv**
ABSTRAK ..... **xvi**
ABSTRACT ..... **xvii**
الملخص ..... **xviii**
BAB I PENDAHULUAN **1**
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Pernyataan Masalah 5
1.3 Batasan Masalah 6
1.4 Tujuan Penelitian 6
1.5 Manfaat Penelitian 7
BAB II STUDI PUSTAKA **8**
2.1 Penelitian Terkait 8
2.2 Masalah Pengelompokan 11
2.3 Algoritma Genetika/*Genetic Algorithm* (GA) 12
2.4 *Black Box Testing* 15
BAB III DESAIN DAN IMPLEMENTASI **17**
3.1 Desain Penelitian 17
3.2 Pengumpulan Data 17
3.2.1 Data Kriteria Pengelompokan 18
3.2.2 Data Penelitian 19
3.2.3 *User Requirement* 20
3.3 Desain Sistem 21
3.3.1 *Input Dataset* 27
3.3.2 *Input* Paramater 28
3.3.3 *Preprocessing* 29
3.3.4 Implementasi GA 29
3.4 Perhitungan Manual 33
3.4.1 Data Sampel 34
3.4.2 Parameter Inputan 35
3.4.3 *Preprocessing* Data Sampel 36
3.4.4 Perhitungan GA 37
3.5 Skenario Pengujian 43
3.5.1 Pengujian Aplikasi 44

3.5.2 Pengujian GA 45
BAB IV UJI COBA DAN PEMBAHASAN 48
4.1 Hasil 48
4.1.1 Hasil Pengembangan Website 48
4.1.2 Hasil Pengembangan *Server* 51
4.1.3 Pengujian Aplikasi 51
4.1.4 Pengujian GA 54
4.2 Pembahasan 65
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 73
5.1 Kesimpulan 73
5.2 Saran 74
DAFTAR PUSTAKA
LAMPIRAN

DAFTAR GAMBAR

Gambar 2.1 *Flowchart* GA 14
Gambar 3.1 Desain Penelitian 17
Gambar 3.2 Blok Diagram Aplikasi Penentuan Kelompok KKM 21
Gambar 3.3 *Use Case* Diagram Penentuan Kelompok KKM 23
Gambar 3.4 *Activity* Diagram Aplikasi Penentuan Kelompok KKM 27
Gambar 3.5 Representasi Kromosom 30
Gambar 3.6 Proses Metode PMX 31
Gambar 3.7 Visualisasi Mutasi *Reciprocal Exchange* 32
Gambar 4.1 Halaman *Login* 48
Gambar 4.2 Halaman Manajemen Data 49
Gambar 4.3 Halaman Penentuan Kelompok 50
Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter *PopSize* 55
Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter *Generation* 57
Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter Kombinasi Cr dan Mr 58
Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tercapainya Kriteria LP2M 68

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Penelitian Terkait 8
Tabel 2.2 Istilah dalam GA 12
Tabel 3.1 Daftar *Constraint* 18
Tabel 3.2 Daftar Aturan Perhitungan Nilai *Fitness* pada *Constraint* 19
Tabel 3.3 Struktur Kolom *Dataset* 19
Tabel 3.4 Karakteristik *Dataset* 20
Tabel 3.5 *User Requirement* 21
Tabel 3.6 *Use Case* Skenario Fitur *Login* 24
Tabel 3.7 *Use Case* Skenario Fitur Manajemen Data Mahasiswa 25
Tabel 3.8 *Use Case* Skenario Fitur Penentuan Kelompok KKM 25
Tabel 3.9 Struktur Kolom Inputan *Dataset* 28
Tabel 3.10 Inputan Parameter GA 28
Tabel 3.11 Data Sampel Perhitungan Manual 34
Tabel 3.12 Karakteristik Data Sampel 35
Tabel 3.13 Parameter Perhitungan Manual 36
Tabel 3.14 Inisialisasi Kromosom 38
Tabel 3.15 Kromosom *Offspring* Hasil *Crossover* 40
Tabel 3.16 Kromosom *Offspring* Hasil Mutasi 40
Tabel 3.17 Hasil Perhitungan Nilai *Fitness* 41
Tabel 3.18 Kriteria Penghentian 42
Tabel 3.19 Hasil Penentuan Kelompok KKM dari Implementasi GA 42
Tabel 3.20 Skenario Pengujian Aplikasi dengan Metode *Black Box Testing* 44
Tabel 3.21 Rencana Pengujian Parameter GA 46
Tabel 3.22 Skenario Pengujian Parameter GA 47
Tabel 4.1 Daftar Akses Poin *Server* 51
Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aplikasi dengan *Black Box Testing* 52
Tabel 4.3 Hasil Pengujian Parameter *PopSize* 54
Tabel 4.4 Hasil Pengujian Parameter *Generation* 56
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Parameter Kombinasi Cr dan Mr 58
Tabel 4.6 Daftar Aturan Ketercapaian Kriteria 60
Tabel 4.7 Perbandingan Tercapainya Kriteria LP2M 60
Tabel 4.8 Data Sampel 3 Kelompok dari Data Penelitian 62
Tabel 4.9 Data Sampel 3 Kelompok dari Data Hasil Sistem 64

ABSTRAK

Putra, Adi Novendra. 2025. **Penerapan Algoritma Genetika pada Aplikasi Penentuan Kelompok KKM Reguler Berbasis Web (Studi Kasus UIN Malang).** Skripsi. Jurusan Teknik Informatika Fakultas Sains dan Teknologi Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Pembimbing: (I) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom (II) Dr. M. Amin Hariyadi, M.T.

.

Kata kunci: Algoritma Genetika, Masalah Pengelompokan, Aplikasi *Web*.

Penelitian ini mengkaji permasalahan penentuan kelompok Kuliah Kerja Mahasiswa (KKM) Reguler di UIN Malang yang hingga saat ini masih dilakukan secara manual oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M), sehingga masih rentan terhadap kesalahan. Penelitian ini bertujuan mengembangkan aplikasi berbasis *web* untuk menyelesaikan masalah pengelompokan mahasiswa berdasarkan 4 kriteria kompleks. Algoritma Genetika (GA) diterapkan sebagai pendekatan optimasi dalam pembentukan kelompok KKM, sedangkan pengujian aplikasi dilakukan menggunakan metode *Black Box Testing*. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa aplikasi menghasilkan tingkat validasi 100% pada 12 skenario uji, sehingga sistem dinyatakan berjalan sesuai spesifikasi. Evaluasi terhadap parameter GA menunjukkan bahwa konfigurasi terbaik diperoleh pada *PopSize* 70, *Generation* 400, *Crossover Rate* (Cr) 0,5, *Mutation Rate* (Mr) 0,5, kriteria penghentian 1,0, serta jumlah kelompok sebanyak 190, yang menghasilkan nilai *fitness* 0,983684211. Temuan tersebut menunjukkan bahwa aplikasi berbasis *web* dengan penerapan GA mampu membentuk kelompok KKM secara optimal sesuai dengan kriteria LP2M.

ABSTRACT

Putra, Adi Novendra. 2025. **The Implementation of the Genetic Algorithm on Regular KKM Grouping Web Application (A Case Study at UIN Malang).** Thesis. Informatics Engineering Department. Faculty of Science and Technology Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang. Advisor: (I) Nurizal Dwi Priandani, M.Kom (II) Dr. M. Amin Hariyadi, M.T.

.

The research investigates the challenge of determining the Regular Internship (KKM) grouping at UIN Malang, which is currently conducted manually by the Institute for Research and Community Service (LP2M) and is susceptible to errors. The research aims to develop a web-based application to address the challenge of student grouping based on four complex criteria. The researcher employed a Genetic Algorithm (GA) as an optimization strategy in the formation of KKM groups. He checked its performance using the Black Box Testing method. The outcomes of functional testing show that the application achieves a 100% validation rate across twelve test scenarios, thus affirming that the system operates in accordance with the specified criteria. An evaluation of the GA parameters reveals that the best configuration is achieved at a Population Size (PopSize) of 70, with 400 Generations, a Crossover Rate (Cr) of 0.5, a Mutation Rate (Mr) of 0.5, termination criteria of 1.0, and a total of 190 groups, resulting in a fitness value of 0.983684211. These results suggest that the developed web-based application, through the implementation of GA, is capable of optimally forming KKM groups in alignment with the LP2M criteria.

Keywords: Genetic Algorithm, Grouping Problem, Web Application.

الملخص

فوترا، أدي نوفيندرا. 2025. تطبيق الخوارزمية الجينية على تطبيق تحديد مجموعات التطبيق العملي الطلابي (KKM) النظامي على أساس الويب (دراسة الحالة بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج). البحث الجامعي. قسم الهندسة المعلوماتية، كلية العلوم والتكنولوجيا بجامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج. المشرف الأول: نوريزال دوي فرياندابي، الماجستير؛ المشرف الثاني: د. محمد أمين هاريادي، الماجستير.

الكلمات الرئيسية: خوارزمية جينية، مشكلة تجميع، تطبيق ويب.

تناول هذا البحث مشكلة تحديد مجموعات التطبيق العملي الطلابي (KKM) النظامي في جامعة مولانا مالك إبراهيم الإسلامية الحكومية مالانج، والتي لا تزال حتى الآن تُجرى يدويًا من قبل مركز البحوث وخدمة المجتمع (LP2M)، مما يجعلها معرضة للأخطاء. هدف البحث إلى تطوير تطبيق على أساس الويب لحل مشكلة تحديد مجموعات الطلاب بناءً على أربعة معايير معقدة. وقد تم تطبيق الخوارزمية الجينية (GA) كمدخل للتحسين في تكوين مجموعات KKM، في حين تم اختبار التطبيق باستخدام طريقة اختبار الصندوق الأسود. أظهرت نتائج الاختبارات الوظيفية أن التطبيق يحقق مستوى تحقق بنسبة 100% في 12 سيناريو اختبار، وبالتالي تم التأكد من أن النظام يعمل وفقًا للمواصفات. أظهرت التقييمات على معلمة GA أن أفضل تكوين تم الحصول عليه عند PopSize 70، Generation 400، Crossover Rate (Cr) 0,5، Mutation Rate (Mr) 0,5، معيار الإيقاف 1.0، وعدد المجموعات 190، مما أدى إلى قيمة كفاءة 0.983684211. أشارت هذه النتائج إلى أن التطبيق على أساس الويب مع تطبيق GA قادر على تحديد مجموعات التطبيق العملي الطلابي (KKM) بشكل مثالي وفقًا لمعايير مركز البحوث وخدمة المجتمع (LP2M).

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Kuliah Kerja Mahasiswa (KKM) merupakan kegiatan pengabdian kepada masyarakat yang dilakukan oleh mahasiswa dalam kegiatan intrakurikuler yang memadukan kegiatan Tri Dharma Perguruan Tinggi. Melalui kegiatan KKM, mahasiswa mengimplementasikan ilmu pengetahuan dan teknologi untuk melatih kemampuan mereka dalam memecahkan berbagai persoalan di masyarakat, mengembangkan potensi, dan menumbuhkan keberpihakan terhadap masyarakat marginal. Pada tahun akademik 2024/2025 KKM Reguler Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang (UIN Malang) mengangkat tema "*Moderasi Beragama, Pencegahan Stunting, Kemiskinan Ekstrim, dan Parenting*" (LP2M UIN Malang, 2024).

Menurut wawancara dengan Dr. H. Syaiful Mustofa, M.Pd., Kepala Pusat Pengabdian kepada Masyarakat (PKM) UIN Malang, pengelompokan KKM Reguler UIN Malang dilaksanakan secara manual oleh Lembaga Penelitian dan Pengabdian Masyarakat (LP2M). Proses ini menghadapi berbagai tantangan dalam mencapai susunan kelompok yang ideal. Menurut kriteria LP2M, setiap kelompok harus memenuhi 4 kriteria, yakni: (1) minimal memiliki satu anggota dari program *Hai'ah Tahfizh* Al-Qur'an (HTQ); (2) sedikit duplikasi jurusan di dalam 1 kelompok; (3) proporsi jenis kelamin yang seimbang; dan (4) jumlah anggota setiap kelompok harus merata. Namun, penerapan kriteria tersebut tidak selalu mudah dilakukan ketika proses pengelompokan dilakukan secara manual.

Pihak LP2M mengalami kesulitan dalam menerapkan kriteria ideal pada proses pembagian kelompok KKM karena jumlah peserta pada setiap periode ganjil mencapai ribuan dan data peserta bersifat dinamis. Perubahan data menyebabkan proses pengelompokan harus dilakukan secara berulang dan memerlukan waktu yang lama. Kondisi tersebut meningkatkan potensi terjadinya kesalahan dalam perhitungan komposisi kelompok apabila proses dilakukan secara manual. Oleh karena itu, LP2M akan merasa terbantu dengan hadirnya sistem penentuan kelompok berbasis komputer untuk membantu penerapan aturan pengelompokan. Mengingat banyaknya kemungkinan kombinasi kelompok dan kompleksitas kriteria yang harus dipenuhi, diperlukan metode optimasi untuk menghasilkan susunan kelompok yang mendekati kriteria ideal.

Penentuan susunan kelompok KKM menuntut tercapainya keseimbangan komposisi anggota agar setiap kelompok dapat menjalankan fungsinya secara optimal. Prinsip keseimbangan ini memiliki landasan dalam Islam, sebagaimana firman Allah SWT dalam Al-Qur'an surah Al-Infithar ayat 6-7:

يٰٓاَيُّهَا الْاِنْسَانُ مَا غَرَّكَ بِرَبِّكَ الْكَرِيْمِۙ ۝٦ الَّذِيْ خَلَقَكَ فَسَوّٰىكَ فَعَدَلَكَۙ ۝٧

"Wahai manusia, apakah yang telah memperdayakanmu (berbuat durhaka) terhadap Tuhanmu Yang Maha Mulia, yang telah menciptakanmu lalu menyempurnakan kejadianmu dan menjadikan (susunan tubuh)-mu seimbang?" (QS. Al-Infithar 82:6-7).

Ayat tersebut menunjukkan bahwa Allah SWT menciptakan manusia dengan susunan yang seimbang (*fa'adallaka*), sebuah konsep yang menegaskan bahwa keadilan tidak selalu berarti kesamaan, tetapi kesesuaian kadar, fungsi, dan proporsionalitas. Berdasarkan penelitian Muhyidin menjelaskan keseimbangan ini

sebagai prinsip bahwa suatu sistem hanya dapat berjalan baik apabila seluruh bagian berada pada porsi yang tepat dan tidak berlebih atau berkurang dari kadar yang diperlukan (Rahardjo, 1996, seperti yang dikutip oleh Muhyidin, 2019). Selaras dengan konsep tersebut, penelitian ini menerapkan metode optimasi untuk merancang mekanisme pembagian kelompok KKM yang menempatkan setiap peserta sesuai dengan kriterianya, sehingga komposisi antar kelompok berada dalam keadaan seimbang dan proporsional sesuai ketentuan LP2M.

Berdasarkan tantangan tersebut, diusulkan penerapan algoritma metaheuristik sebagai alternatif solusi untuk optimasi penentuan kelompok KKM. Algoritma metaheuristik adalah algoritma optimasi yang digunakan untuk menemukan solusi optimal untuk masalah kompleks yang tidak dapat dipecahkan dengan metode tradisional. Algoritma ini terinspirasi oleh fenomena alam seperti genetika, perilaku kawanan, dan evolusi yang digunakan untuk menemukan optimum global suatu masalah dengan menjelajahi ruang pencarian yang luas (Almufti dkk., 2023). Algoritma ini memecahkan masalah pengelompokan dengan menjelajahi ruang solusi melalui berbagai strategi seperti pencarian tetangga, proses evolusi, dan teknik *swarm* dengan menghasilkan solusi kandidat yang dievaluasi kualitasnya lalu diperbaiki secara berulang menggunakan operator seperti mutasi, persilangan, atau gerakan terinspirasi komunikasi sosial (Ramos-Figueroa dkk., 2020). Pada penelitian ini menggunakan *Genetic Algorithm* (GA) sebagai solusi alternatif untuk mengoptimalkan proses penentuan kelompok KKM.

GA adalah model komputasi dari evolusi biologis yang digunakan sebagai metode pencarian untuk memecahkan masalah dan memodelkan sistem evolusi.

Algoritma ini menyimpan *string biner* dalam memori komputer yang dimodifikasi seiring waktu dengan cara yang mirip dengan evolusi populasi individu melalui seleksi alam (Forrest, 1996). Konsep GA dalam konteks menyelesaikan masalah pengelompokan dimulai dengan membentuk populasi awal yang berisi representasi solusi pengelompokan. Setiap individu dalam populasi tersebut dinilai menggunakan fungsi *fitness* yang mengukur kualitas pengelompokan. Proses seleksi, *crossover*, dan mutasi kemudian dilakukan untuk menghasilkan generasi baru yang diharapkan memiliki kualitas pengelompokan lebih baik. Siklus ini berulang hingga ditemukan solusi optimal atau mendekati optimal (Kurniadi dkk., 2023). Menurut (Ramos-Figueroa dkk., 2020), studi tentang penerapan algoritma metaheuristik untuk masalah pengelompokan menunjukkan bahwa GA terbukti sebagai alternatif terbaik dengan kinerja dan fleksibilitas yang lebih tinggi dibandingkan algoritma lainnya.

Pengusulan GA dalam penelitian ini juga mengacu pada penelitian sebelumnya, yaitu *Penerapan Algoritma Genetika Dalam Pengelompokan Mahasiswa KKN (Studi Kasus: KKN Angkatan XLII Universitas Mercu Buana Yogyakarta)* yang dilakukan oleh (Rohmad & Akbar, 2024). Pada penelitian tersebut digunakan sebanyak 807 data mahasiswa yang berasal dari kelas 12D, 22D, dan 32D dengan kriteria yang ingin dicapai berupa: (1) jumlah prodi dalam 1 kelompok harus minimal 3; (2) jumlah anggota per prodi dalam 1 kelompok harus minimal 2; (3) rasio perbandingan jumlah laki-laki dan perempuan diatas 30%; (4) jumlah anggota per kelompok harus 10. Hasil penerapan GA pada penelitian tersebut menunjukkan nilai *fitness* sebesar 95% untuk kelas 22D, 86,56% untuk

kelas 12D, dan 85% untuk kelas 32D, sehingga menunjukkan bahwa GA mampu menangani beberapa batasan sekaligus dan menghasilkan susunan kelompok yang mendekati kriteria yang ditetapkan.

Meskipun beberapa studi sebelumnya telah menguji efektivitas GA pada masalah pengelompokan termasuk penelitian (Rohmad & Akbar, 2024) dimana memiliki studi kasus yang sejenis yakni pengelompokan mahasiswa Kuliah Kerja Nyata (KKN) di Universitas Mercu Buana Yogyakarta. Pada penelitian ini menitikberatkan pada studi kasus penentuan kelompok KKM Reguler UIN Malang sesuai dengan kriteria dari LP2M. Berdasarkan rekomendasi (Rohmad & Akbar, 2024) tentang kebutuhan antarmuka yang lebih *user-friendly*, penelitian ini mengembangkan aplikasi berbasis *web* sebagai sarana pembentukan dan evaluasi kelompok. Melalui penelitian ini diharapkan terwujud model GA yang tidak hanya memvalidasi efektivitasnya dalam penentuan kelompok KKM Reguler UIN Malang, tetapi juga menghadirkan solusi berupa aplikasi *web* untuk meningkatkan efisiensi dan kualitas proses pengelompokan.

1.2 Pernyataan Masalah

Dengan mempertimbangkan latar belakang yang telah diuraikan, permasalahan yang diajukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana penerapan GA dalam pengembangan aplikasi *web* untuk penentuan kelompok KKM Reguler di UIN Malang?
2. Bagaimana nilai parameter pada GA untuk mendapatkan solusi optimal dalam menghasilkan pembagian kelompok KKM Reguler di UIN Malang yang memenuhi kriteria LP2M?

1.3 Batasan Masalah

Penelitian ini menetapkan beberapa batasan agar fokus analisis lebih terarah. Adapun batasan masalah yang digunakan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Data penelitian yang digunakan berupa data pembagian kelompok KKM Reguler UIN Malang semester ganjil tahun ajaran 2024/2025 yang didapat dari Pusat Teknologi Informasi & Pangkalan Data (PTIPD) UIN Malang.
2. Kriteria pengelompokan yang diterapkan dalam algoritma merujuk pada 4 syarat utama yang ditetapkan oleh LP2M UIN Malang, yaitu:
    a. Dalam 1 kelompok minimal memiliki 1 anggota dari HTQ.
    b. Dalam 1 kelompok memiliki sedikit duplikasi jurusan.
    c. Dalam 1 kelompok memiliki proporsi jenis kelamin yang seimbang.
    d. Dalam setiap kelompok memiliki jumlah anggota harus merata.
3. Penelitian ini terbatas pada penentuan dan evaluasi parameter GA yang meliputi ukuran populasi (*PopSize*), jumlah generasi (*Generation*), *Crossover Rate* (Cr), dan *Mutation Rate* (Mr).

1.4 Tujuan Penelitian

Adapun tujuan dari penelitian ini mencakup hal-hal berikut:

1. Menerapkan GA pada pengembangan aplikasi *web* untuk otomatisasi proses penentuan kelompok KKM Reguler di UIN Malang.
2. Menentukan dan mengevaluasi nilai parameter pada GA untuk menghasilkan susunan kelompok KKM yang optimal sesuai dengan kriteria pengelompokan yang telah ditetapkan oleh LP2M.

1.5 Manfaat Penelitian

Manfaat penelitian diharapkan dapat mencapai beberapa aspek berikut:

1. Menyediakan solusi berupa aplikasi *web* untuk mengotomatisasi proses pengelompokan KKM, sehingga meningkatkan efisiensi dan kualitas kerja LP2M UIN Malang.
2. Memastikan proses pengelompokan KKM berjalan secara adil, merata, dan optimal sesuai dengan kriteria yang ditetapkan.
3. Memberikan kontribusi pada bidang ilmu komputer, khususnya dalam penerapan GA pada masalah pengelompokan yang kompleks, serta menjadi referensi bagi penelitian serupa di masa mendatang.

BAB II
STUDI PUSTAKA

2.1 Penelitian Terkait

Peneliti melakukan tinjauan terhadap sejumlah studi yang relevan untuk memperkuat landasan teori dan mendukung rancangan metode penelitian. Tabel 2.1 memuat daftar penelitian terdahulu yang menerapkan berbagai algoritma metaheuristik, di antaranya GA, *Particle Swarm Optimization* (PSO), dan *Simulated Annealing* (SA). Setiap penelitian tersebut berfokus pada penerapan algoritma optimasi untuk memperoleh solusi yang efisien dan mendekati hasil optimal. Kajian terhadap studi-studi tersebut menjadi dasar dalam menentukan pemilihan metode GA pada penelitian.

Tabel 2.1 Penelitian Terkait

No	Judul	Masalah	Hasil
1.	Penerapan GA Dalam Pengelompokan Mahasiswa KKN (Rohmad & Akbar, 2024)	Mengotomatisasi pembagian kelompok KKN sehingga memenuhi kriteria pengelompokan yang ditetapkan institusi.	GA menghasilkan susunan kelompok yang mendekati kriteria dengan nilai *fitness* tinggi pada konfigurasi tertentu.
2.	*Metaheuristics to solve grouping problems: A review and a case study* (Ramos-Figueroa dkk., 2020)	Tinjauan dan perbandingan berbagai metaheuristik untuk masalah pengelompokan.	Penelitian menunjukkan GA unggul untuk banyak kasus pengelompokan dibandingkan dengan algoritma metaheuristik yang lain.
3.	Metode SA untuk Optimasi Biaya Operasional Penerbangan (Anshari dkk., 2024)	Mengurangi biaya operasional penerbangan melalui optimasi parameter dan jadwal menggunakan *Simulated Annealing*.	SA mampu menemukan perbaikan solusi secara bertahap, tetapi kinerjanya sangat dipengaruhi parameter suhu dan jadwal pendinginan.
4.	Penaksiran Parameter Distribusi *Weibull* Menggunakan GA dan PSO (Nufus & Sutarman, 2022)	Menaksir parameter distribusi *Weibull* dan membandingkan performa GA dan PSO dalam penaksiran parameter.	GA cenderung memberikan estimasi yang lebih akurat (selisih *fitness* lebih kecil) pada skenario yang diuji dibandingkan PSO.
5.	Optimasi Rute Distribusi Bantuan Sosial di Kabupaten Pacitan Menggunakan Algoritma PSO (Mufliq dkk., 2024)	Menemukan rute distribusi yang efisien untuk program bantuan sosial (kasus rute/penugasan).	PSO berhasil menemukan rute yang mendekati optimal. Hasil penelitian menunjukkan solusi praktis untuk instansi terkait.

Penelitian oleh (Rohmad & Akbar, 2024) mengusulkan penerapan GA untuk mengotomatisasi pengelompokan peserta KKN dengan representasi kromosom berbasis indeks, inisialisasi populasi acak, serta operator seleksi, *crossover*, dan mutasi. Penelitian ini menguji berbagai konfigurasi parameter (*elites*, *offspring*, *mutants*) pada *dataset* 807 mahasiswa dan menganalisis konvergensi nilai *fitness* beserta waktu eksekusi. Hasil eksperimen menunjukkan bahwa GA mampu menghasilkan susunan kelompok yang mendekati kriteria institusi dengan nilai *fitness* tinggi (95% pada salah satu kelas). Peneliti juga merekomendasikan pengembangan antarmuka pengguna yang lebih *user-friendly*.

Penelitian oleh (Ramos-Figueroa dkk., 2020) melakukan tinjauan komprehensif atas literatur metaheuristik untuk berbagai masalah pengelompokan, mengklasifikasikan 22 tipe permasalahan dan membandingkan 17 metode metaheuristik serta skema representasi solusi. Berdasarkan studi kasus yang dilakukan, penulis menyimpulkan bahwa GA sering menunjukkan kinerja lebih baik pada banyak permasalahan pengelompokan dan bahwa pemilihan representasi serta operator yang sesuai berperan besar dalam peningkatan performa algoritma. Secara keseluruhan, GA dan pendekatan berbasis evolusi lainnya terbukti sebagai alternatif yang unggul dalam menyelesaikan berbagai masalah pengelompokan.

Selanjutnya, penelitan oleh (Anshari dkk., 2024) menerapkan SA untuk optimasi biaya operasional penerbangan dengan membangun matriks biaya dan waktu dari data penerbangan, lalu mengevaluasi fungsi objektif yang menggabungkan komponen biaya dan waktu. Algoritma diimplementasikan dengan skema *swap* dan probabilitas penerimaan berdasarkan perbedaan biaya dan suhu

saat ini. Hasil penelitian menunjukkan bahwa SA mampu menurunkan biaya operasional dan menemukan peningkatan solusi dibanding heuristik klasik, tetapi kinerja SA sangat bergantung pada parameter awal (suhu awal, laju pendinginan) serta membutuhkan perhatian terhadap waktu komputasi dan kemungkinan konvergensi ke solusi lokal.

Sementara itu, penelitian oleh (Nufus & Sutarman, 2022) meneliti penaksiran parameter distribusi *Weibull* dengan membandingkan GA dan PSO melalui simulasi menggunakan perangkat lunak R, serta mengamati selisih nilai *fitness* sebagai ukuran perbandingan. Hasil kajian menunjukkan bahwa GA cenderung memberikan penaksiran yang lebih akurat (selisih *fitness* lebih kecil) dibanding PSO pada kasus distribusi *Weibull* 2 dan 3 parameter yang diuji, dan menyatakan bahwa ukuran sampel juga memengaruhi besaran *fitness* yang diperoleh (semakin besar sampel maka semakin besar *fitness*).

Terakhir, penelitian oleh (Mufliq dkk., 2024) menerapkan PSO pada model *Travelling Salesman Problem* (TSP) untuk menentukan rute distribusi bantuan sosial di Kabupaten Pacitan dengan data koordinat lokasi distribusi. Penelitian ini menguji parameter PSO (jumlah partikel, iterasi maksimum, bobot inersia, bobot kognitif dan sosial) dan melakukan simulasi atas data jarak antar lokasi. Hasil eksperimen memperlihatkan bahwa PSO berhasil menghasilkan rute yang mendekati optimal dengan total jarak tempuh sekitar 228,35 km dan waktu komputasi yang efisien, sehingga metode ini direkomendasikan untuk implementasi praktis pada konteks distribusi bantuan sosial.

2.2 Masalah Pengelompokan

Pengelompokan merupakan proses mengorganisasi objek atau entitas ke dalam beberapa kelompok berdasarkan kriteria tertentu. Tujuan pengelompokan adalah agar objek dalam 1 kelompok memiliki kesamaan atau kedekatan, serta tetap memenuhi batasan atau kendala yang berlaku. Pada bidang pendidikan, pengelompokan dimanfaatkan untuk menyusun mahasiswa, jadwal, maupun sumber daya agar lebih efisien. Proses pengelompokan dapat dilakukan dengan menggunakan algoritma heuristik maupun metaheuristik yang dirancang untuk memperoleh solusi optimal atau mendekati optimal dalam waktu yang efisien. Secara umum, pengelompokan berfungsi membantu pengaturan dan optimalisasi penggunaan sumber daya secara sistematis dan terstruktur (Patrick & Fawei, 2020).

Pengelompokan secara umum merupakan proses mengorganisasi item atau tugas ke dalam beberapa kelompok berdasarkan kriteria tertentu, seperti kemiripan, ketergantungan, atau efisiensi, dengan tujuan menyederhanakan kompleksitas serta meningkatkan efektivitas pengelolaan sistem secara keseluruhan. Proses pengelompokan dilakukan sebagai langkah awal untuk mengurangi jumlah unit yang harus dikelola atau dioperasikan sehingga memudahkan pengambilan keputusan dan pengoptimalan sumber daya. Pengelompokan juga berfungsi meningkatkan efisiensi operasional dan meminimalkan biaya, khususnya dalam pengelolaan proyek, manufaktur, maupun logistik. Secara menyeluruh, pengelompokan bertujuan menciptakan struktur yang lebih terorganisir dan efisien dalam pengelolaan aktivitas serta pemanfaatan sumber daya (Danzinger dkk., 2020).

2.3 Algoritma Genetika/*Genetic Algorithm* (GA)

GA bersumber dari prinsip seleksi alam dan evolusi biologis. John Holland memperkenalkan GA pertama kali dalam karyanya *Adaption in natural and artificial systems* sedangkan De Jong membahasnya dalam bukunya *Adaption of the behavior of a class of genetic adaptive systems* buku-buku tersebut diterbitkan tahun 1975. Kedua buku ini membentuk dasar bagi GA (Davis, 1991, seperti yang dikutip oleh Syahputra & Yahfizham, 2023). GA adalah proses yang dikembangkan dari proses pencarian solusi yang menggunakan pencarian acak. Berikutnya pencarian akan dilakukan dengan proses teori genetika yang memperhatikan pemikiran bagaimana akan menghasilkan individu yang lebih baik. Sehingga dalam proses evolusi memperoleh individu yang terbaik (Puspitasari & Pakereng, 2023).

Proses kerja GA melibatkan serangkaian tahapan yang sistematis, di mana populasi solusi kandidat secara bertahap mengalami perbaikan melalui proses seleksi, reproduksi, rekombinasi, dan mutasi. Setiap tahap dalam GA memiliki peran penting dalam membentuk individu-individu baru yang diharapkan semakin mendekati solusi optimal. Istilah-istilah utama yang digunakan dalam GA tersebut dijelaskan secara ringkas pada Tabel 2.2 (Syahputra & Yahfizham, 2023):

Tabel 2.2 Istilah dalam GA

No	Istilah	Pengertian
1.	Kromosom	Kromosom adalah representasi solusi dalam algoritma genetika berupa urutan gen.
2.	Gen	Gen adalah elemen terkecil pada kromosom yang merepresentasikan satu atribut.
3.	Individu	Individu adalah 1 kromosom lengkap yang merepresentasikan sebuah solusi.
4.	Populasi	Kumpulan individu yang dipertimbangkan pada 1 generasi.
5.	*Offspring*	*Offspring* adalah individu baru yang dihasilkan dari individu melalui *crossover* atau mutasi.
6.	Generasi (*Generation*)	Generasi adalah 1 siklus populasi sebelum dan sesudah proses evolusi.

No	Istilah	Pengertian
7.	Inisialisasi Populasi	Inisialisasi populasi adalah tahap pembentukan populasi awal secara acak.
8.	Nilai *fitness*	Nilai *fitness* adalah ukuran numerik kualitas sebuah individu.
9.	Seleksi	Seleksi adalah proses memilih individu berdasarkan nilai *fitness*.
10.	Rekombinasi (*Crossover*)	Rekombinasi (*crossover*) adalah penggabungan gen dari 2 individu untuk membentuk *Offspring*.
11.	Mutasi	Mutasi adalah perubahan acak pada gen untuk memperkenalkan variasi.

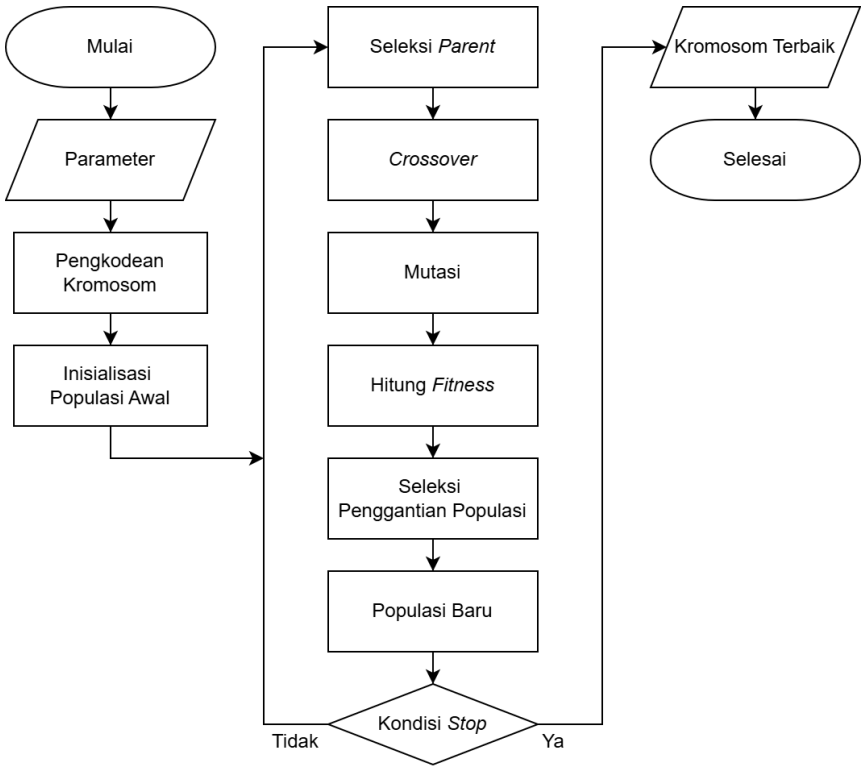
Berikut merupakan langkah-langkah dalam penyelesaian permasalahan optimasi menggunakan metode GA (Andriyadi dkk., 2022):

1. Memasukkan parameter GA yang digunakan yaitu antara lain ukuran *PopSize*, *Generation*, Cr, dan Mr.
2. Melakukan pengkodean kromosom dengan menggunakan representasi kromosom bilangan *integer* yang sesuai dengan porsi yang telah ditentukan.
3. Membangkitkan populasi awal secara acak sesuai dengan ukuran populasi yang telah ditentukan.
4. Melakukan proses reproduksi, yaitu yang pertama dengan cara *crossover* dengan memilih 2 *offspring* secara acak lalu menentukan titik potongnya dan menghasilkan *child*.
5. Melakukan proses reproduksi, yaitu yang kedua dengan cara mutasi dengan cara memilih 2 gen pada kromosom yang telah terpilih secara acak untuk dilakukan proses mutasi, kemudian ditukarkan nilai gennya tersebut dan menghasilkan *child*.
6. Melakukan perhitungan nilai *fitness* pada masing-masing individu.
7. Melakukan evaluasi dengan cara seleksi dengan memilih suatu individu sebanyak jumlah populasi gabungan dari individu dan *child* hasil proses

crossover dan mutasi untuk dapat berlanjut pada iterasi selanjutnya berdasarkan nilai *fitness* tertinggi sesuai dengan jumlah populasi.

8. Apabila telah memenuhi kriteria kondisi berhenti, maka proses iterasi akan berhenti dan dihasilkan solusi terbaik yaitu suatu individu yang memiliki nilai *fitness* tertinggi. Namun, apabila kriteria kondisi berhenti belum terpenuhi, maka proses iterasi akan terus berlanjut.

Berdasarkan tahapan penyelesaian permasalahan optimasi menggunakan metode GA yang telah dijelaskan oleh (Andriyadi dkk., 2022), proses tersebut dapat digambarkan dalam bentuk diagram alir (*flowchart*). Melalui representasi visual ini, alur kerja GA dapat dipahami dengan lebih sistematis dan memperlihatkan bagaimana proses evolusi dilakukan untuk memperoleh solusi yang optimal. *Flowchart* dari tahapan GA tersebut ditampilkan pada Gambar 2.1.



Gambar 2.1 *Flowchart* GA

Dalam penerapan GA, perumusan fungsi *fitness* merupakan langkah penting yang digunakan untuk mengevaluasi kualitas setiap solusi dalam populasi, khususnya ketika terdapat batasan yang harus dipenuhi (Rohmad & Akbar, 2024). Dalam konteks penelitian penentuan kelompok KKM Reguler UIN Malang, digunakan 4 batasan yang diwakili oleh Persamaan 2.1 ini untuk menghitung *fitness* individu, di mana masing-masing total nilai *fitness* di tiap *constraint* dijumlahkan.

$$fitness = \sum_{g=1}^{K} \sum_{i=1}^{4} C_{g,i} \text{ dengan } C_{g,i} \in \{0,1\} \quad (2.1)$$

Keterangan:
K : Jumlah kelompok (total kelompok yang akan dibentuk)
g : Indeks kelompok, $g = 1, 2, \dots, K$
i : Indeks *constraint*, $i \in \{1, 2, 3, 4\}$
$C_{g,i}$: Indikator biner untuk *constraint* ke- i pada kelompok g

2.4 *Black Box Testing*

Black Box Testing adalah metode pengujian perangkat lunak yang memandang program sebagai kotak hitam, sehingga fokus utamanya adalah pada pengujian *input* dan *output* tanpa memperhatikan struktur internal program. Tujuannya adalah untuk menemukan kesalahan berdasarkan spesifikasi yang telah ditetapkan, dengan tidak memeriksa kode sumber atau logika internalnya. Pendekatan ini menganggap bahwa pengujian berdasarkan *input* dan *output* saja dapat membantu mengidentifikasi ketidaksesuaian dengan spesifikasi. Berdasarkan karakteristiknya, pengujian ini cocok digunakan untuk menguji fungsi dan perilaku program dari sudut pandang pengguna. Namun, pengujian ini tidak mampu menjamin bahwa semua kesalahan internal telah ditemukan, karena hanya mengandalkan pengujian terhadap kondisi yang diketahui (Myers dkk., 2011).

Metode *Black Box Testing* memiliki beberapa keunggulan dibandingkan metode lain. Salah 1 keunggulannya adalah pengujian dapat difokuskan pada validasi *input* dan *ouput* tanpa memerlukan pemahaman teknis mendalam terhadap implementasi kode, sehingga proses pengujian menjadi lebih cepat. Selain itu, metode ini lebih relevan untuk memastikan pengalaman pengguna yang optimal karena pengujian dilakukan dari perspektif pengguna akhir. Adapun untuk mengukur tingkat keberhasilan pengujian tersebut digunakan metrik persentase validasi yang membandingkan jumlah *test case* yang memberikan hasil sesuai harapan (*valid*) terhadap jumlah keseluruhan *test case* yang diuji. Hasil perhitungan dinyatakan dalam bentuk persentase dan dinyatakan pada Persamaan 2.2 (Hardika dkk., 2024).

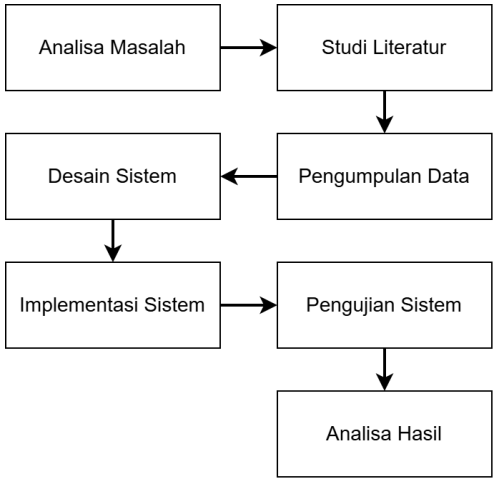
$$Persentase\ validasi = \left(\frac{Jumlah\ test\ case\ valid}{Total\ test\ case}\right) \times 100\% \qquad (2.2)$$

Keterangan:
$Persentase\ validasi$: Hasil perhitungan ditulis dalam persentase
$Jumlah\ test\ case\ valid$: Total *test case* yang sesuai harapan (*valid*)
$Total\ test\ case$: Seluruh *test case* yang dilakukan

BAB III
DESAIN DAN IMPLEMENTASI

3.1 Desain Penelitian

Pada tahap ini dibuat desain penelitian sebagai acuan pelaksanaan tahapan penelitian yang meliputi analisis masalah, studi literatur, pengumpulan data, desain sistem, implementasi sistem, pengujian sistem dan analisa hasil. Tujuan penyusunan desain tersebut untuk memastikan setiap tahapan terlaksana secara sistematis serta mempermudah pemantauan dan evaluasi proses penelitian. Pada Gambar 3.1 menyajikan representasi grafis alur penelitian mulai dari tahap awal hingga tahap akhir.



Gambar 3.1 Desain Penelitian

3.2 Pengumpulan Data

Pengumpulan data dilakukan untuk memperoleh informasi yang dibutuhkan dalam proses analisis, perancangan, dan pengujian sistem pembagian kelompok KKN. Data yang dikumpulkan berasal dari berbagai sumber, baik primer maupun

sekunder, guna memastikan bahwa sistem yang dikembangkan sesuai dengan kebutuhan pengguna dan kondisi nyata di lapangan.

3.2.1 Data Kriteria Pengelompokan

Informasi mengenai kriteria/*constraint* pengelompokan diperoleh melalui wawancara dengan Dr. H. Syaiful Mustofa, M.Pd., selaku perwakilan PKM UIN Malang , sebagai bentuk pendalaman terhadap kriteria yang telah dijabarkan pada bagian batasan masalah.. Hasil wawancara disajikan dalam Tabel 3.1 yang memuat 3 kolom berupa: (1) no; (2) aturan (deskripsi ketentuan yang harus dipenuhi oleh setiap kelompok KKM); (3) kode. Penetapan kode pada tiap aturan dimaksudkan untuk mengoperasionalisasikan kebijakan LP2M ke dalam fungsi evaluasi sehingga aturan tersebut dapat diukur secara kuantitatif pada proses optimasi menggunakan GA. Tabel ini berfungsi sebagai dasar formal dalam merumuskan fungsi *fitness* dan mekanisme penalti pada implementasi sistem.

Tabel 3.1 Daftar *Constraint*

No	***Constraint***	Kode
1.	Anggota HTQ	C1
2.	Sedikit duplikasi jurusan	C2
3.	Proporsi jenis kelamin	C3
4.	Jumlah anggota kelompok	C4

Tabel 3.2 menyajikan daftar aturan yang digunakan untuk menghitung komponen nilai *fitness* pada proses optimasi. Nilai *fitness* pada setiap aturan bersifat biner: bernilai 1 jika aturan terpenuhi dan 0 jika aturan tidak terpenuhi. Aturan terkait proporsi kelamin (C3) dan jumlah anggota kelompok (C4) dihitung dengan merujuk pada karakteristik data penelitian. Proporsi jenis kelamin ditentukan dari perbandingan jumlah mahasiswa laki-laki dan perempuan dalam *dataset*,

sedangkan jumlah anggota kelompok ditentukan berdasarkan banyaknya mahasiswa dalam *dataset* dibagi dengan jumlah kelompok yang akan dibentuk. Pemenuhan setiap aturan pada setiap kandidat solusi menjadi komponen yang digabungkan dalam perhitungan *fitness* total untuk mengevaluasi kualitas pembagian kelompok.

Tabel 3.2 Daftar Aturan Perhitungan Nilai *Fitness* pada *Constraint*

No	Kode	Aturan	Nilai *Fitness*
1.	C1	Dalam 1 kelompok memiliki anggota HTQ ≥ 1	1
		Dalam 1 kelompok tidak memiliki anggota HTQ ≥ 1	0
2.	C2	Rasio duplikasi jurusan dalam 1 kelompok < 50%	1
		Rasio duplikasi jurusan dalam 1 kelompok ≥ 50%	0
3.	C3	Proporsi kelamin dalam kelompok memenuhi aturan	1
		Proporsi kelamin dalam kelompok tidak memenuhi aturan	0
4.	C4	Jumlah anggota dalam kelompok memenuhi aturan	1
		Jumlah anggota dalam kelompok tidak memenuhi aturan	0

3.2.2 Data Penelitian

Data penelitian diperoleh dari PTIPD UIN Malang berupa *dataset* mahasiswa peserta KKM Reguler pada semester ganjil Tahun Ajaran 2024/2025. Pengambilan data dilakukan berdasarkan permintaan resmi dan persetujuan pihak berwenang. *Dataset* digunakan sebagai sumber untuk analisis dan pengujian algoritma, sedangkan penelitian ini tidak dibatasi pada periode tersebut. Tabel 3.3 menyajikan struktur kolom *dataset* yang dipakai dalam penelitian ini. Penelitian ini menjaga kerahasiaan dan kredensial mahasiswa dengan menganonimkan seluruh identitas pribadi serta membatasi akses data hanya untuk keperluan penelitian.

Tabel 3.3 Struktur Kolom *Dataset*

No	Kolom	Keterangan
1.	*Group*	Penanda kelompok tempat mahasiswa ditempatkan (label/nomor kelompok)
2.	*Gender*	Penanda jenis kelamin mahasiswa (Laki-laki / Perempuan)
3.	Fakultas	Penanda asal fakultas mahasiswa
4.	Jurusan	Penanda asal jurusan atau program studi mahasiswa
5.	HTQ	Penanda status keanggotaan HTQ (1 = anggota, 0 = bukan)

Selanjutnya, pada Tabel 3.4 menyajikan karakteristik *dataset* yang digunakan dalam penelitian ini. Karakteristik tersebut menjadi dasar perhitungan proporsi jenis kelamin, penentuan ukuran, dan jumlah kelompok dalam perancangan fungsi *fitness* dan prosedur pengujian algoritma.

Tabel 3.4 Karakteristik *Dataset*

No	Karakteristik	Jumlah
1.	Jumlah mahasiswa	2338
2.	Jumlah jurusan	24
3.	Mahasiswa anggota HTQ	226
4.	Mahasiswa laki-laki	947
5.	Mahasiswa perempuan	1391
6.	Jumlah kelompok	190

Berdasarkan Tabel 3.4 dilakukan perhitungan aturan *constraint* yang berkaitan dengan proporsi jenis kelamin (C3) dan jumlah anggota kelompok (C4). Perhitungan proporsi jenis kelamin menghasilkan komposisi sekitar 40% mahasiswa laki-laki dan 60% mahasiswa perempuan, adapun toleransi sebesar ±10% sebagai batas keseimbangan kelamin pada setiap kelompok. Perhitungan jumlah anggota kelompok menghasilkan rata-rata 12 hingga 13 mahasiswa per kelompok yang diperoleh dari pembagian total mahasiswa terhadap 190 kelompok. Ketentuan ini memberikan dasar perhitungan bagi proses evaluasi fungsi *fitness* dan memastikan bahwa mekanisme pembentukan kelompok mengikuti kondisi karakteristik *dataset* secara proporsional.

3.2.3 *User Requirement*

Informasi mengenai kebutuhan pengguna (*user requirement*) diperoleh melalui hasil wawancara dengan Dr. H. Syaiful Mustofa, M.Pd., selaku perwakilan PKM UIN Malang. Hasil analisis wawancara dirangkum dalam Tabel 3.5, yang

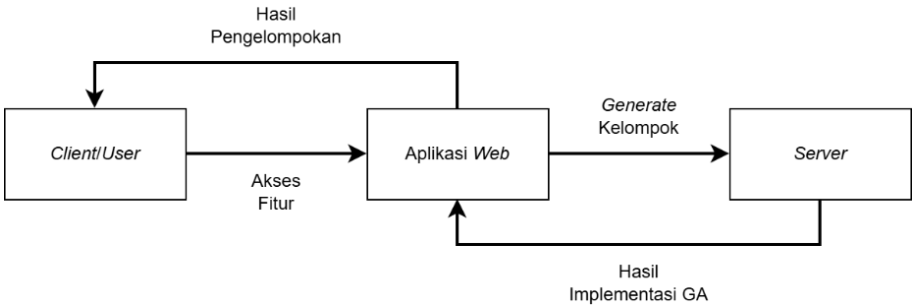
memuat 3 kolom utama, yaitu: (1) *Req ID* sebagai identitas kebutuhan, (2) *User Requirement* yang menjelaskan kebutuhan fungsional sistem, dan (3) *Acceptance Criteria* yang menggambarkan indikator keberhasilan yang dapat diuji menggunakan metode *Black Box Testing*. Tabel 3.5 menjadi dasar dalam penyusunan skenario pengujian sistem penentuan kelompok KKM.

Tabel 3.5 *User Requirement*

Req ID	***User Requirement***	***Acceptance Criteria***
UR01	Fitur *login* admin (1 *role*)	Sistem dapat memverifikasi kredensial admin sehingga admin yang terdaftar dapat masuk menggunakan *username* dan *password* yang *valid*.
UR02	Fitur manajemen data mahasiswa	Sistem memungkinkan admin untuk menambah, menampilkan, memperbarui, dan menghapus data mahasiswa.
UR03	Fitur halaman penentuan kelompok	Sistem menampilkan data mahasiswa dan menyediakan antarmuka bagi admin untuk mengatur parameter penentuan kelompok.
UR04	Fitur *generate* kelompok KKM	Sistem dapat memproses pembentukan kelompok KKM secara otomatis berdasarkan parameter yang telah ditentukan.
UR05	Fitur hasil penentuan kelompok	Sistem menampilkan hasil pembentukan kelompok KKM yang telah dihasilkan, termasuk data mahasiswa pada setiap kelompok.

3.3 Desain Sistem

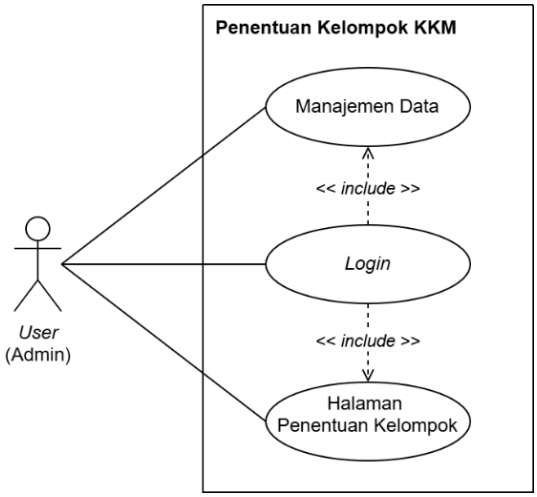
Berikut adalah desain sistem dalam bentuk blok diagram yang digunakan sebagai acuan dalam penelitian ini seperti pada Gambar 3.2:



Gambar 3.2 Blok Diagram Aplikasi Penentuan Kelompok KKM

Ilustrasi pada Gambar 3.2 menunjukkan blok diagram aplikasi penentuan kelompok KKM berbasis *web* yang terdiri atas 3 komponen utama, yaitu *client*, aplikasi *web*, dan *server*. Pada sisi *client*, pengguna (admin) mengakses aplikasi melalui peramban *web* untuk melakukan *login*, mengelola data mahasiswa, serta mengatur parameter pembentukan kelompok. *Client* mengakses aplikasi *web* yang berfungsi sebagai penghubung antara antarmuka pengguna dengan logika sistem, kemudian diteruskan ke *server* untuk diproses. Pada sisi *server*, sistem menjalankan logika utama aplikasi yakni optimasi pembentukan kelompok KKM menggunakan GA. Hasil pemrosesan berupa susunan kelompok KKM dikembalikan ke aplikasi *web* dan ditampilkan kepada pengguna. Dengan demikian, meskipun sistem berbasis aplikasi *web*, seluruh proses komputasi dan penerapan GA dilakukan pada sisi *server*, sedangkan aplikasi *web* berfungsi sebagai media interaksi dan visualisasi hasil kepada pengguna.

Gambar 3.3 menunjukkan *use case* diagram sistem penentuan kelompok KKM yang dikembangkan dalam penelitian ini. Diagram tersebut menggambarkan hubungan antara aktor dengan fungsi-fungsi utama sistem sesuai dengan *user requirement* yang telah dijelaskan pada Tabel 3.5. Melalui *use case* diagram, alur interaksi antara pengguna dan sistem dapat dipahami secara lebih jelas, sehingga membantu dalam proses perancangan dan implementasi fitur.



Gambar 3.3 *Use Case* Diagram Penentuan Kelompok KKM

Gambar 3.3 menggambarkan *use case* diagram sistem penentuan kelompok KKM berbasis *web*. Diagram tersebut menunjukkan bahwa aktor utama dalam sistem adalah admin, yang memiliki hak akses penuh terhadap seluruh fungsi aplikasi. Admin dapat melakukan proses *login* untuk masuk ke dalam sistem, kemudian mengelola data mahasiswa melalui *use case* manajemen data, yang mencakup kegiatan menambah, mengubah, menghapus, serta menampilkan data mahasiswa. Setelah data tersedia, admin dapat mengakses Halaman Penentuan Kelompok untuk mengatur parameter dan menjalankan proses pembentukan kelompok KKM secara otomatis menggunakan GA. Hubungan *include* pada diagram menunjukkan bahwa setiap proses manajemen data maupun penentuan kelompok memerlukan autentikasi melalui proses *login* terlebih dahulu. Dengan demikian, diagram ini menggambarkan keterkaitan antar-fungsi utama sistem dan interaksi yang dilakukan oleh admin sebagai pengguna aplikasi.

Tabel 3.6 berikut menggambarkan skenario *use case* untuk fitur *login* admin pada sistem penentuan kelompok KKM. Skenario ini disusun berdasarkan

kebutuhan fungsional yang tercantum pada *user requirement* UR01, yaitu sistem mampu memverifikasi kredensial admin dengan benar. Fitur ini merupakan tahap awal sebelum admin dapat mengakses seluruh fungsi yang tersedia dalam sistem.

Tabel 3.6 *Use Case* Skenario Fitur *Login*

***Use Case* ID**	**UCS01**
Nama *Use Case*	*Login* Admin
Aktor	Admin
Prekondisi	Akun admin telah terdaftar.
Deskripsi Singkat	Admin melakukan proses *login* untuk mengakses sistem.
Alur Utama	1. Admin membuka halaman *login*. 2. Memasukkan *username* dan *password*. 3. Sistem memverifikasi kredensial. 4. Jika *valid*, admin diarahkan ke halaman utama.
Alur Alternatif	Jika kredensial salah, sistem menampilkan pesan kesalahan.
Postcondition	Admin berhasil masuk ke sistem.
Kaitan dengan UR	UR01 Fitur *login* admin.

Berdasarkan skenario pada tabel tersebut, proses dimulai ketika admin memasukkan *username* dan *password* melalui halaman *login*. Sistem kemudian *mem*validasi data yang dimasukkan dengan data yang tersimpan dalam basis data. Jika kredensial *valid*, admin akan diarahkan ke halaman utama sistem. Namun, apabila data yang dimasukkan tidak sesuai, sistem akan menampilkan pesan kesalahan. Fitur ini memastikan bahwa hanya pengguna yang tervalidasi sebagai admin yang dapat mengakses sistem.

Tabel 3.7 menampilkan skenario *use case* untuk fitur manajemen data mahasiswa. Fitur ini dikembangkan berdasarkan *user requirement* UR02 yang menjelaskan bahwa sistem memungkinkan admin untuk menambah, memperbarui, menampilkan, dan menghapus data mahasiswa. Fitur ini menjadi fondasi utama dalam pengelolaan informasi terkait data mahasiswa yang akan digunakan pada proses penentuan kelompok KKM.

Tabel 3.7 *Use Case* Skenario Fitur Manajemen Data Mahasiswa

***Use Case* ID**	**UCS02**
Nama *Use Case*	Manajemen Data Mahasiswa
Aktor	Admin
Prekondisi	Admin telah *login* ke sistem.
Deskripsi Singkat	Admin mengelola data mahasiswa yang akan digunakan dalam proses pembentukan kelompok.
Alur Utama	1. Admin membuka halaman manajemen data. 2. Sistem menampilkan daftar mahasiswa. 3. Admin dapat menambah, mengubah, menghapus, atau menampilkan data mahasiswa.
Alur Alternatif	Jika *input* tidak *valid*, sistem menampilkan pesan kesalahan dan membatalkan penyimpanan.
Postcondition	Data mahasiswa tersimpan atau diperbarui sesuai tindakan.
Kaitan dengan UR	UR02 Fitur manajemen data mahasiswa.

Pada Tabel 3.7 dijelaskan bahwa admin memiliki peran utama dalam mengelola data mahasiswa melalui antarmuka sistem berbasis *web*. Fitur ini memungkinkan admin untuk menampilkan, menambah, mengubah, dan menghapus data mahasiswa yang akan digunakan dalam proses pembentukan kelompok KKN. Jika terjadi kesalahan *input*, sistem akan menampilkan pesan kesalahan dan membatalkan proses penyimpanan hingga data diperbaiki. Dengan adanya proses validasi ini, kualitas data dapat terjaga, sehingga mendukung proses pembentukan kelompok KKM yang sesuai dengan kondisi nyata mahasiswa terdaftar.

Tabel 3.8 memperlihatkan skenario *use case* untuk fitur penentuan kelompok KKM. Fitur ini dikembangkan untuk memenuhi *user requirement* UR03, UR04, dan UR05, yang berkaitan dengan halaman penentuan kelompok KKM dengan fitur berupa pengaturan parameter GA, proses pembentukan kelompok KKM, serta tampilan hasil penentuan kelompok.

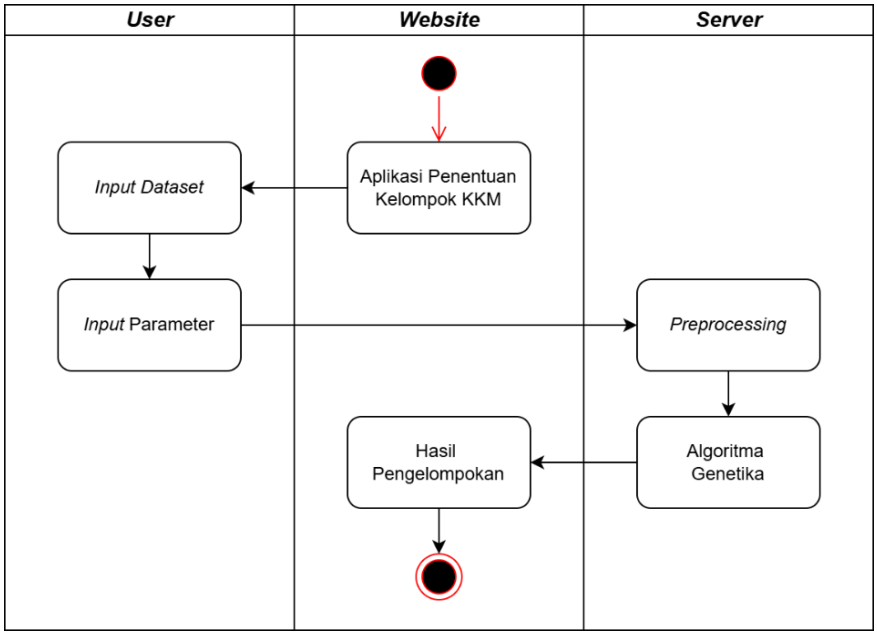
Tabel 3.8 *Use Case* Skenario Fitur Penentuan Kelompok KKM

***Use Case* ID**	**UCS03**
Nama *Use Case*	Penentuan Kelompok KKM
Aktor	Admin
Prekondisi	Admin telah *login* dan data mahasiswa tersedia.

***Use Case* ID**	**UCS03**
Deskripsi Singkat	Admin melakukan konfigurasi parameter dan menjalankan proses pembentukan kelompok menggunakan algoritma genetika.
Alur Utama	1. Admin membuka halaman penentuan kelompok. 2. Admin mengatur parameter pembentukan. 3. Sistem memproses data menggunakan GA. 4. Sistem menampilkan hasil pembentukan kelompok.
Alur Alternatif	Jika parameter tidak *valid*, sistem menampilkan pesan kesalahan dan meminta perbaikan.
Postcondition	Hasil pembentukan kelompok tersimpan dan dapat ditinjau oleh admin.
Kaitan dengan UR	UR03 Halaman penentuan kelompok. UR04 *Generate* kelompok KKM. UR05 Hasil penentuan kelompok.

Skenario pada Tabel 3.8 menunjukkan admin dapat menentukan parameter GA melalui halaman *web* yang telah disediakan. Setelah parameter dipilih, sistem akan memproses data mahasiswa di sisi *server* menggunakan GA untuk menghasilkan pembentukan kelompok secara otomatis. Hasil pembentukan tersebut kemudian ditampilkan dalam bentuk daftar kelompok yang dapat ditinjau oleh admin. Dengan demikian, fitur ini merepresentasikan integrasi antara pengelolaan data berbasis *web* dan implementasi GA untuk penentuan kelompok KKM berbasis *server*.

Gambar 3.4 memperlihatkan *activity* diagram aplikasi penentuan kelompok KKM yang menggambarkan alur operasional sistem mulai dari pemasukan data hingga keluaran hasil pengelompokan. Diagram tersebut menekankan urutan aktivitas dan titik keputusan yang dilalui, serta membedakan tugas yang dilaksanakan pada antarmuka *web* dan sisi *server*.



Gambar 3.4 *Activity* Diagram Aplikasi Penentuan Kelompok KKM

Ilustrasi pada Gambar 3.4 menunjukkan alur kerja sistem yang dirancang dalam penelitian ini. Tahapan dimulai dari *input* berupa *dataset* mahasiswa KKM Reguler dan penentuan parameter algoritma. Data yang telah dimasukkan kemudian melalui tahap *praprocessing* untuk memastikan format dan atribut sesuai dengan kebutuhan perhitungan. Selanjutnya, data hasil *praprocessing* diproses menggunakan GA untuk menghasilkan solusi pembagian kelompok. Hasil pengelompokan tersebut menjadi *output* sistem yang menampilkan susunan kelompok sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Alur pada diagram tersebut menegaskan bahwa sistem bekerja secara terstruktur, dimulai dari *input* data hingga penyajian hasil akhir dalam bentuk daftar kelompok KKM.

3.3.1 *Input Dataset*

Pada tahap ini, *dataset* mahasiswa digunakan sebagai *input* utama ke dalam sistem GA. Struktur kolom *dataset* dijelaskan pada Tabel 3.9 yang berisi atribut-

atribut relevan untuk proses pengelompokan, yaitu ID, Jenis kelamin, Jurusan, dan HTQ. Kolom tersebut menjadi dasar bagi sistem dalam melakukan perhitungan sesuai dengan kriteria pengelompokan, sehingga data yang dimasukkan dapat diproses lebih lanjut melalui tahapan *preprocessing* dan GA.

Tabel 3.9 Struktur Kolom Inputan *Dataset*

No	Kolom	Keterangan
1.	ID	Nilai unik sebagai penanda mahasiswa
2.	Jenis kelamin	Penanda jenis kelamin mahasiswa (Laki-laki / Perempuan)
3.	Jurusan	Penanda asal jurusan atau program studi mahasiswa
4.	HTQ	Penanda status keanggotaan HTQ (1 = anggota, 0 = bukan)

3.3.2 *Input* Paramater

Tabel 3.10 menyajikan parameter *input* yang digunakan dalam GA pada penelitian ini. Jenis parameter utama, seperti *PopSize*, *Generation,* Cr, dan Mr, merujuk pada penelitian (Mahmudy dkk., 2021) sebagai acuan metodologis. Selain itu, penelitian ini menambahkan parameter Kriteria Penghentian dan Jumlah Kelompok untuk menyesuaikan tujuan khusus penentuan kelompok KKM Reguler. Seluruh parameter tersebut dapat diatur melalui antarmuka sistem sebelum proses optimasi dijalankan.

Tabel 3.10 Inputan Parameter GA

No	Parameter	Keterangan
1.	*PopSize*	Banyaknya individu yang dilibatkan pada setiap generasi
2.	Cr	Kemungkinan terjadinya persilangan (*crossover*) pada suatu generasi
3.	Mr	Kemungkinan terjadinya mutasi pada setiap individu
4.	*Generation*	Banyaknya generasi yang akan dibentuk dimana akan menentukan lama penerapan GA
5.	Kriteria Penghentian	Nilai *fitness* yang ingin dicapai sebagai batas terminasi
6.	Jumlah Kelompok	Jumlah kelompok KKM Reguler yang ingin dibentuk

3.3.3 *Preprocessing*

Pada tahap *preprocessing* data yang masuk akan dibersihkan dan diolah untuk menghasilkan atribut turunan yang diperlukan dalam perhitungan *constraint*, khususnya untuk kode C3 (proporsi jenis kelamin) dan C4 (jumlah anggota kelompok). Langkah-langkah yang dilaksanakan meliputi:

1. Validasi format dan konsistensi kolom (memastikan kolom ID, Jenis kelamin, Jurusan, dan HTQ tersedia dan berformat seragam).
2. Normalisasi nilai kategorikal (mengubah nilai HTQ ke format biner 0/1).
3. Perhitungan statistik agregat dasar jumlah total mahasiswa (N), jumlah laki-laki (L), jumlah perempuan (P), dan jumlah kelompok (K) yang menjadi dasar perhitungan proporsi.
4. Perhitungan nilai ekspektasi per kelompok untuk proporsi jenis kelamin dan jumlah anggota, yaitu: proporsi_laki (PL) = L / N, proporsi_perempuan (PP) = P / N, dan jumlah_anggota (A) = N / K, jika N tidak habis dibagi K maka sisa bagi mahasiswa akan dibagi satu-persatu ke kelompok awal.
5. Hasil preprocessing berupa data bersih dan variabel turunan (N, L, P, K, PL, PP dan A) kemudian disimpan dalam struktur yang siap dipakai oleh modul GA, nilai-nilai turunan inilah yang akan digunakan untuk mengevaluasi dan menghasilkan penilaian biner pada *constraint* C3 dan C4 saat proses perhitungan *fitness* dijalankan.

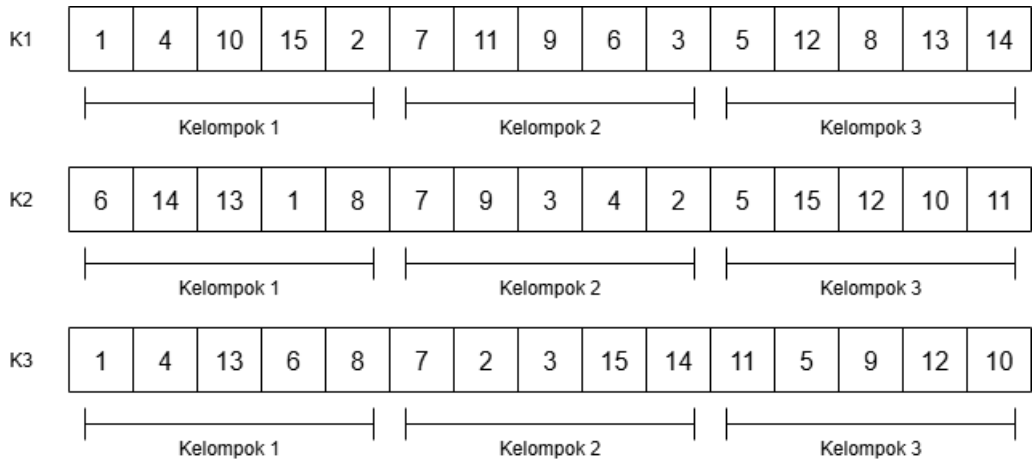
3.3.4 Implementasi GA

Pada penelitian ini proses penentuan kelompok KKM Reguler menggunakan GA yang ditampilkan pada Gambar 2.1. Adapun uraian teknis

mengenai inisialisasi populasi, seleksi, reproduksi, perhitungan *fitness*, populasi baru, dan hasil solusi (kromosom terbaik) akan dibahas secara terpisah pada subbab implementasi GA dan perhitungan manual.

3.3.4.1 Inisialisasi Populasi

Representasi kromosom yang digunakan untuk GA pada penelitian ini adalah representasi permutasi. Dalam 1 individu terdapat beberapa gen yang direpresentasikan dalam bentuk angka-angka. Setiap angka dalam setiap kromosom akan mewakili ID mahasiswa. Satu kromosom atau susunan gen akan mewakili sebuah ID mahasiswa berdasarkan letak urutannya akan dibagi setiap segmen kelompok. Dimisalkan sebuah kromosom K1 tersusun dengan susunan gen 1 4 10 15 2 7 11 9 6 3 5 12 8 13 14. Kromosom K1 mempunyai arti setiap urutan segmentasi kelipatan variabel jumlah_anggota (A) mewakili pembagian kelompok KKM Reguler. Gambar 3.5 menunjukkan contoh individu yang dibangkitkan dengan representasi permutasi.



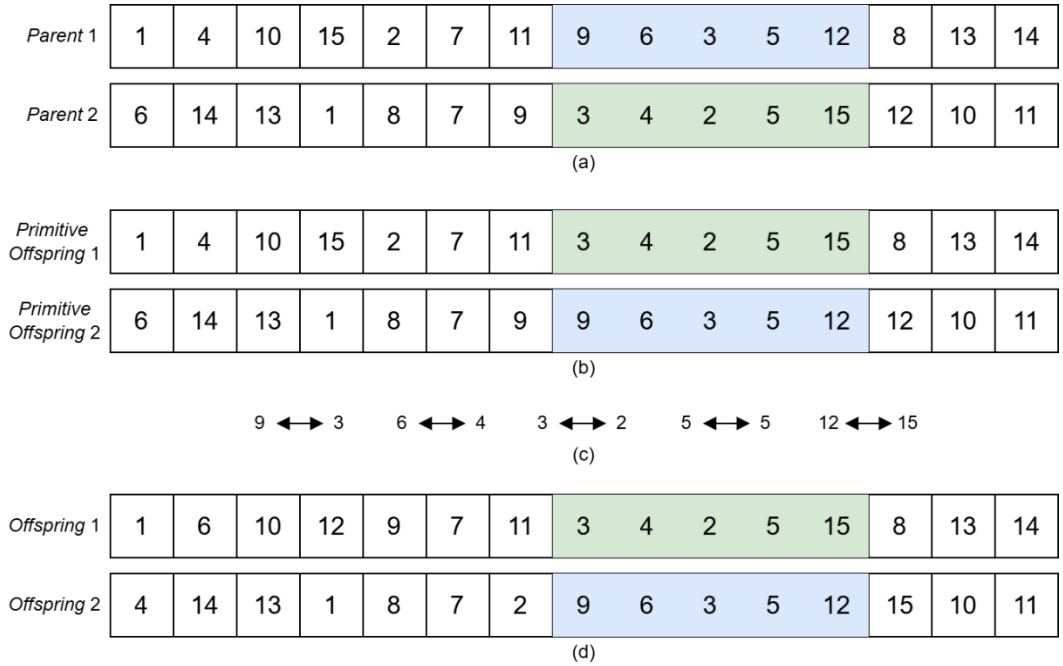
Gambar 3.5 Representasi Kromosom

3.3.4.2 Seleksi *Parent*

Pada penelitian ini seleksi *parent* dilakukan secara acak. Operator *crossover* menghasilkan keturunan (*offspring*) dengan menggunakan 2 kromosom berbeda sebagai *parent*. Operator mutasi hanya menggunakan 1 kromosom sebagai *parent*. Jumlah *offspring* yang dihasilkan menggunakan operator *crossover* ditentukan oleh Cr, sementara jumlah *offspring* yang dihasilkan menggunakan operator mutasi ditentukan oleh Mr (Mahmudy dkk., 2021).

3.3.4.3 *Crossover*

Pada penelitian ini digunakan metode *partially matched crossover* (PMX) karena metode tersebut dapat mencegah adanya gen ganda pada *offspring*. Proses metode PMX ditunjukkan pada Gambar 3.6 (Ismaredah & Radiles, 2023).

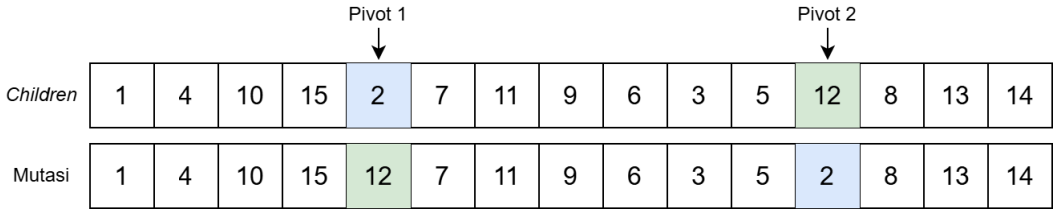


Gambar 3.6 Proses Metode PMX

Langkah-langkah proses PMX adalah sebagai berikut, pertama pilih secara acak 2 titik potong pada 2 masing-masing *offspring*, ciptakan 2 *primitive offspring* dengan menukarkan gen di dalam area titik potong, setelah itu definisikan daftar pertukaran gen. Kemudian tentukan jalur pertukaran antar gen selain gen yang berada pada area titik potong. Tukarkan gen yang sudah ditentukan jalurnya sebelumnya. Hasil dari pertukaran tersebut melahirkan *offspring* 1 dan *offspring* 2.

3.3.4.4 Mutasi

Pada penelitian ini digunakan metode mutasi *Reciprocal Exchange*. Metode mutasi *Reciprocal Exchange* tidak akan menghasilkan gen yang sama pada anaknya, dimana cara kerjanya adalah dengan memilih 2 posisi secara acak kemudian menukar kedua posisi tersebut. Pada Gambar 3.7 merupakan contoh metode mutasi *Reciprocal Exchange* (Ramadhania & Rani, 2021).



Gambar 3.7 Visualisasi Mutasi *Reciprocal Exchange*

3.3.4.5 Hitung *Fitness*

Dalam konteks penelitian penentuan kelompok KKM Reguler UIN Malang, proses evaluasi fungsi *fitness* dinyatakan sebagai jumlah indikator pemenuhan 4 *constraint* pada setiap kelompok sebagaimana dirumuskan pada persamaan 2.1. Secara operasional, setiap kelompok dievaluasi terhadap 4 *constraint* dan nilai total *fitness* individu diperoleh dengan menjumlahkan skor biner dari seluruh kelompok sehingga nilai yang lebih tinggi menandakan solusi yang lebih optimal.

3.3.4.6 Seleksi Penggantian Populasi

Pada penelitian ini menggunakan metode seleksi *Elitism*. Pendekatan penggantian populasi dengan *Elitism* diterapkan dengan menggabungkan populasi *parent* dan *offspring* ke dalam sebuah kolam sementara yang selanjutnya diurutkan berdasarkan nilai *fitness* tiap individu. Selanjutnya sejumlah *PopSize* individu dengan nilai *fitness* terbaik dipilih dari kolam sementara untuk membentuk populasi pada generasi berikutnya. Mekanisme pemilihan ini menjamin bahwa kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi tetap dipertahankan antar generasi sehingga proses konvergensi menuju solusi yang baik dapat dipercepat. Siklus GA diulang dengan melakukan proses reproduksi pada populasi terpilih hingga tercapai jumlah iterasi atau kriteria penghentian yang telah ditetapkan (Mahmudy dkk., 2021).

3.3.4.7 Kondisi *Stop*

Proses GA dihentikan apabila kriteria penghentian terpenuhi, misalnya ketika jumlah generasi maksimum tercapai atau nilai *fitness* sudah memenuhi kriteria penghentian. Jika kriteria penghentian terpenuhi, maka solusi berupa susunan pembagian kelompok KKM Reguler diambil dari individu dengan nilai *fitness* terbaik. Adapun penerapan kondisi penghentian bertujuan untuk mencegah proses iterasi yang berlebihan dan memastikan efisiensi waktu komputasi.

3.4 Perhitungan Manual

Pada penelitian ini perhitungan manual dilakukan untuk menggambarkan dan menjelaskan proses implementasi GA dalam penentuan kelompok KKM. Perhitungan ini bertujuan memastikan setiap tahapan utama mulai dari inisialisasi

populasi, seleksi *parent*, operasi *crossover*, mutasi, hingga perhitungan nilai *fitness* telah berjalan sesuai dengan rancangan yang dijelaskan pada subbab sebelumnya. Selain itu, perhitungan manual juga digunakan sebagai acuan pembanding terhadap hasil eksekusi sistem agar keakuratan perhitungan algoritma dapat terverifikasi dengan baik.

3.4.1 Data Sampel

Tabel 3.11 memperlihatkan data sampel yang digunakan dalam perhitungan manual, yang terdiri atas kolom ID, Jenis Kelamin, Jurusan, HTQ sesuai dengan inputan *dataset* yang sudah dijelaskan pada tabel 3.9. Data sampel diambil secara acak dari *dataset* utama dengan kriteria bahwa setiap sampel memuat anggota untuk 3 kelompok sehingga representasi distribusi atribut antar kelompok terjaga. Pengambilan secara acak ini bertujuan untuk memastikan bahwa contoh perhitungan merefleksikan variasi nyata pada populasi mahasiswa dan memudahkan verifikasi langkah-langkah algoritma secara manual.

Tabel 3.11 Data Sampel Perhitungan Manual

ID	Jenis Kelamin	Jurusan	HTQ
1	PR	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak
2	PR	BIOLOGI	Tidak
3	PR	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak
4	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak
5	LK	ILMU AL-QUR`AN DAN TAFSIR	Tidak
6	PR	AL-AHWAL AL-SYAKHSHIYYAH	Tidak
7	PR	PSIKOLOGI	Tidak
8	PR	PERBANKAN SYARI`AH	Tidak
9	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak
10	LK	MANAJEMEN	Tidak
11	LK	MANAJEMEN	Ya
12	LK	AKUNTANSI	Tidak
13	PR	PSIKOLOGI	Tidak
14	LK	PSIKOLOGI	Tidak
15	PR	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak
16	LK	MANAJEMEN	Tidak
17	PR	PSIKOLOGI	Tidak
18	PR	ILMU AL-QUR`AN DAN TAFSIR	Tidak

ID	Jenis Kelamin	Jurusan	HTQ
19	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak
20	PR	MANAJEMEN	Tidak
21	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak
22	LK	AKUNTANSI	Tidak
23	PR	PERBANKAN SYARI`AH	Ya
24	PR	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak
25	PR	BIOLOGI	Tidak
26	PR	AL-AHWAL AL-SYAKHSHIYYAH	Tidak
27	LK	PERBANKAN SYARI`AH	Tidak
28	LK	BIOLOGI	Ya
29	PR	PSIKOLOGI	Tidak
30	LK	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak
31	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak
32	LK	HUKUM TATA NEGARA	Tidak
33	LK	MANAJEMEN	Tidak
34	PR	MANAJEMEN	Tidak
35	LK	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak
36	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak
37	PR	PSIKOLOGI	Tidak

Tabel 3.12 menyajikan karakteristik ringkas dari data sampel dengan kolom Jumlah mahasiswa, Jumlah jurusan, Mahasiswa anggota HTQ, Mahasiswa laki-laki, Mahasiswa perempuan, Jumlah kelompok dan Nilai *fitness*. Informasi pada tabel ini digunakan untuk menggambarkan komposisi data secara kuantitatif, sehingga perhitungan manual dan tahapan *preprocessing* dapat diimplementasikan.

Tabel 3.12 Karakteristik Data Sampel

No	Karakteristik	Jumlah
1.	Jumlah mahasiswa	37
2.	Jumlah jurusan	12
3.	Mahasiswa anggota HTQ	3
4.	Mahasiswa laki-laki	19
5.	Mahasiswa perempuan	18
6.	Jumlah kelompok	3
7.	Nilai *fitness*	0.75

3.4.2 Parameter Inputan

Tabel 3.13 memperlihatkan data parameter yang digunakan dalam eksperimen GA, yang terdiri atas kolom *PopSize*, *Generation*, Cr, Mr, Kriteria Penghentian, dan Jumlah Kelompok sesuai dengan penjelasan inputan parameter

pada Tabel 3.5. Nilai-nilai parameter disederhanakan sehingga pembahasan tidak menjadi terlalu panjang namun tetap mencakup variasi yang representatif untuk mengevaluasi perilaku algoritma.

Tabel 3.13 Parameter Perhitungan Manual

No	Parameter	Nilai
1.	*PopSize*	2
2.	*Generation*	3
3.	Cr	0.5
4.	Mr	0.5
5.	Kriteria Penghentian	0.8
6.	Jumlah Kelompok	3

3.4.3 Preprocessing Data Sampel

Tahap *preprocessing* dilakukan untuk memastikan bahwa data sampel telah bersih, konsisten, dan siap digunakan dalam perhitungan GA. Proses ini mencakup serangkaian langkah yang telah dijelaskan pada Subbab 3.3.3, pada bagian perhitungan manual menerapkan langkah-langkah tersebut secara langsung terhadap data sampel yang digunakan. Tujuan utama *preprocessing* adalah menghasilkan atribut turunan yang diperlukan untuk perhitungan *constraint*, khususnya untuk proporsi jenis kelamin (C3) dan jumlah anggota kelompok (C4).

Langkah pertama dilakukan dengan memvalidasi format dan konsistensi kolom pada data sampel. Peneliti memastikan bahwa seluruh kolom, yaitu ID, Jenis Kelamin, Jurusan, dan HTQ, telah tersedia serta berformat seragam sesuai ketentuan *dataset* utama. Setelah proses validasi selesai, peneliti mengubah nilai atribut HTQ dari format teks “Ya” dan “Tidak” menjadi format biner 1 dan 0 agar dapat diolah secara numerik dalam perhitungan *constraint*.

Langkah berikutnya adalah perhitungan statistik agregat dasar sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.12. Berdasarkan data sampel, jumlah total mahasiswa (N)

adalah 37, dengan 19 mahasiswa laki-laki (L) dan 18 mahasiswa perempuan (P), yang akan dibagi ke dalam 3 kelompok (K). Nilai-nilai tersebut digunakan untuk menghitung ekspektasi proporsi dan ukuran kelompok. Hasil perhitungan menunjukkan bahwa proporsi mahasiswa laki-laki (PL) sebesar 19/37 = 6,162, yang berarti setiap kelompok diharapkan memiliki rentang 5-7 mahasiswa laki-laki. Proporsi mahasiswa perempuan (PP) sebesar 18/37 = 5,837, sehingga setiap kelompok diharapkan memiliki rentang 4-6 mahasiswa perempuan. Adapun jumlah anggota kelompok (A) sebesar 37/3 = 12,333, yang berarti setiap kelompok diharapkan terdiri atas 11-13 mahasiswa.

Langkah terakhir dilakukan dengan menyimpan hasil *preprocessing* berupa data bersih dan variabel turunan (N, L, P, K, PL, PP, A) ke dalam struktur data yang siap digunakan oleh modul GA. Variabel-variabel tersebut digunakan untuk mendukung proses evaluasi *constraint* C3 dan C4 dalam perhitungan *fitness*.

3.4.4 Perhitungan GA

Tahap perhitungan GA dilakukan untuk menggambarkan proses pembentukan solusi secara manual berdasarkan data sampel yang telah melalui tahap *preprocessing*. Tujuan utama tahap ini adalah untuk menjelaskan alur kerja algoritma secara terperinci mulai dari pembentukan populasi awal hingga diperolehnya kromosom terbaik yang memenuhi seluruh *constraint* pembagian kelompok. Setiap langkah perhitungan disusun sesuai urutan proses pada implementasi GA sebagai berikut:

1. Inisialisasi Populasi

Pada tahap inisialisasi populasi, dibentuk sejumlah individu awal yang masing-masing merepresentasikan solusi potensial dalam bentuk kromosom. Setiap kromosom berisi urutan ID mahasiswa yang disusun secara acak sesuai jumlah *PopSize* yang telah ditentukan pada parameter. Tujuan pembentukan populasi awal adalah memberikan keragaman solusi agar algoritma memiliki ruang pencarian yang luas dalam menemukan kombinasi pembagian kelompok yang optimal. Pada Tabel 3.14 ditampilkan inisialisasi populasi dari data sampel yang telah dipilih.

Tabel 3.14 Inisialisasi Kromosom

Kromosom	Representasi Kromosom
K1	23, 18, 20, 27, 11, 22, 29, 7, 13, 1, 34, 15, 12, 28, 25, 21, 35, 8, 33, 10, 2, 19, 30, 6, 16, 4, 32, 31, 9, 17, 24, 26, 3, 14, 5, 36, 37
K2	16, 32, 17, 10, 14, 12, 5, 21, 22, 33, 1, 24, 30, 4, 18, 23, 34, 28, 3, 2, 29, 31, 7, 6, 20, 36, 15, 37, 25, 27, 19, 11, 8, 26, 35, 9, 13

2. Seleksi *Parent*

Pada penelitian ini seleksi *parent* dilakukan secara acak untuk memberikan peluang yang seimbang bagi setiap individu dalam populasi agar dapat berpartisipasi dalam proses reproduksi. Operator *crossover* menghasilkan *offspring* dengan menggunakan 2 kromosom berbeda sebagai *parent*, sedangkan operator mutasi hanya menggunakan 1 kromosom sebagai *parent*. Jumlah *offspring* yang dihasilkan dari proses *crossover* ditentukan oleh nilai Cr, sementara jumlah *offspring* yang dihasilkan dari proses mutasi ditentukan oleh nilai Mr. Adapun hasil seleksi *parent* adalah sebagai berikut:

a. Proses seleksi *parent* untuk operasi *crossover* dilakukan dengan nilai Cr ditetapkan sebesar 0,5 dengan *PopSize* sebanyak 2 individu. Pada tahap ini, 2

kromosom terpilih sebagai *parent*, yaitu K2 dan K1, yang kemudian digunakan untuk menghasilkan 1 *offspring* baru sebagai K3 melalui operasi *crossover*.

b. Selanjutnya, proses seleksi *parent* untuk operasi mutasi dilakukan dengan Mr sebesar 0,5 dan ukuran populasi yang sama, yaitu 2 individu. Pada tahap ini, 1 kromosom terpilih sebagai *parent*, yaitu K2, yang kemudian menghasilkan 1 *offspring* baru sebagai K4 melalui proses mutasi.

3. Crossover

Proses *crossover* dilakukan untuk menghasilkan kromosom baru dengan menggabungkan sebagian gen dari 2 *parent* yang terpilih. Teknik yang digunakan adalah PMX karena sesuai untuk representasi permutasi seperti urutan ID mahasiswa. Dalam implementasinya, 2 titik potong dipilih secara acak pada kromosom, kemudian menukar segmen di antara kedua *parent*. Hasilnya berupa 2 kromosom baru yang mewarisi sebagian gen dari masing-masing *parent*. Proses ini bertujuan mempertahankan sifat baik dari solusi sebelumnya sekaligus menciptakan variasi baru pada populasi.

Proses penentuan titik potong pada tahap *crossover* diperoleh secara acak. Berdasarkan hasil acakan, diperoleh titik potong pertama pada posisi 19 dan titik potong kedua pada posisi 21, sehingga segmen yang akan ditukar berada pada range gen ke-19 hingga gen ke-21. Pada posisi tersebut, kromosom K1 memiliki urutan gen [33, 10, 2], sedangkan kromosom K2 memiliki urutan gen [3, 2, 29]. Segmen gen pada rentang titik potong tersebut kemudian ditukar di antara kedua kromosom sehingga menghasilkan 2 *offspring* baru yang mewarisi sebagian gen dari masing-masing *parent*. Proses ini memperkenalkan variasi genetik pada populasi tanpa

mengubah keseluruhan struktur kromosom, sehingga memungkinkan algoritma untuk mengeksplorasi kombinasi solusi yang lebih beragam pada generasi berikutnya. Adapun hasil *offspring* dari proses *crossover* dengan metode PMX ditunjukkan pada Tabel 3.15.

Tabel 3.15 Kromosom *Offspring* Hasil *Crossover*

Kromosom	Representasi Kromosom
K3	23, 18, 20, 27, 11, 22, 2, 7, 13, 1, 34, 15, 12, 28, 25, 21, 35, 8, 3, 29, 10, 19, 30, 6, 16, 4, 32, 31, 9, 17, 24, 26, 33, 14, 5, 36, 37

4. Mutasi

Tahap mutasi dilakukan dengan menukar posisi 2 gen secara acak pada kromosom hasil seleksi *parent*. Operator yang digunakan adalah *Reciprocal Exchange*, di mana 2 posisi gen dipilih secara acak kemudian saling ditukar. Proses mutasi ini menjaga keberagaman populasi dan mencegah algoritma berhenti pada solusi lokal. Pada implementasinya, parameter Mr diterapkan secara sederhana dengan melakukan 1 kali pertukaran pada kromosom terpilih. Berdasarkan hasil acakan, diperoleh titik pertama pada posisi 13 dan titik kedua pada posisi 18, sehingga segmen yang akan ditukar berdasarkan titik yang terpilih. Tabel 3.16 menampilkan *offspring* hasil dari mutasi dengan *Reciprocal Exchange*.

Tabel 3.16 Kromosom *Offspring* Hasil Mutasi

Kromosom	Representasi Kromosom
K4	16, 32, 17, 10, 14, 12, 5, 21, 22, 33, 1, 24, 28, 4, 18, 23, 34, 30, 3, 2, 29, 31, 7, 6, 20, 36, 15, 37, 25, 27, 19, 11, 8, 26, 35, 9, 13

5. Hitung *Fitness*

Setelah proses mutasi selesai, setiap kromosom dihitung nilai *fitness*-nya berdasarkan 4 *constraint* yang telah ditetapkan, yaitu keberadaan anggota HTQ (C1), proporsi jurusan (C2), proporsi jenis kelamin (C3), dan keseragaman jumlah

anggota (C4). Perhitungan nilai *fitness* diimplementasikan berdasarkan persamaan 2.1 dengan hasil akhir antara 0,0 hingga 1,0 sebagai representasi solusi tersebut dinyatakan optimal. Kromosom dengan nilai *fitness* lebih tinggi menunjukkan solusi pembagian kelompok yang lebih baik karena memenuhi lebih banyak kriteria. Tabel 3.17 berisi hasil perhitungan nilai *fitness* beserta urutan solusi terbaik untuk seluruh kromosom.

Tabel 3.17 Hasil Perhitungan Nilai *Fitness*

Kromosom	**Nilai *Fitness***	**Ranking**
K1	0.666666667	3
K2	0.666666667	3
K3	0.75	2
K4	0.833333333	1

6. Seleksi Penggantian Populasi

Tahap seleksi penggantian populasi dilakukan dengan mempertahankan kromosom terbaik dari populasi sebelumnya agar solusi terbaik tidak hilang selama proses evolusi. Pendekatan yang digunakan adalah *Elitism*, yaitu memasukkan individu terbaik dari generasi sebelumnya ke dalam populasi baru berdasarkan *PopSize*. Tujuannya adalah menjaga stabilitas solusi terbaik yang telah ditemukan agar dapat bersaing dengan hasil rekombinasi baru. Berdasarkan Tabel 3.14 didapatkan bahwa kromosom terbaik adalah K3 dan K4, maka kromosom tersebut akan digunakan sebagai populasi awal untuk generasi selanjutnya.

7. Populasi Baru

Populasi baru dibentuk berdasarkan hasil implementasi seleksi penggantian populasi menggunakan pendekatan *Elitism*. Seluruh individu dalam populasi baru kemudian akan menjadi kandidat untuk iterasi generasi berikutnya. Proses ini

memastikan bahwa setiap generasi membawa kombinasi solusi yang semakin mendekati optimal.

8. Kondisi *Stop*

Proses GA dihentikan ketika kriteria penghentian telah tercapai. kriteria penghentian ditetapkan berdasarkan 2 parameter, yakni *Generation* dan Kriteria Penghentian. Jika jumlah *Generation* atau Kriteria Penghentian telah terpenuhi, maka proses evolusi berhenti dan hasil terbaik dari generasi terakhir digunakan sebagai solusi akhir. Pada Tabel 3.18 menunjukkan bahwa pada generasi pertama telah memenuhi kriteria penghentian yakni pada Kriteria Penghentian. Berdasarkan hal tersebut, proses iterasi generasi dihentikan.

Tabel 3.18 Kriteria Penghentian

	Generation	**Kriteria Penghentian (Nilai *Fitness*)**
Kriteria Penghentian	3	>= 0.8
Kondisi Sekarang	1	0.833333333

9. Kromosom Terbaik

Kromosom terbaik diperoleh dari individu dengan nilai *fitness* tertinggi pada populasi terakhir. Kromosom ini merepresentasikan pembagian kelompok yang paling optimal berdasarkan *constraint* yang ditetapkan. Berdasarkan Tabel 3.17 menunjukkan bahwa kromosom dengan nilai *fitness* tertinggi ditunjukkan oleh K4, sehingga K4 dinyatakan sebagai solusi optimal hasil penentuan kelompok KKM Reguler di UIN Malang. Pada Tabel 3.19 menampilkan hasil penentuan kelompok KKM dari implementasi GA.

Tabel 3.19 Hasil Penentuan Kelompok KKM dari Implementasi GA

No	**ID**	**Jenis Kelamin**	**Jurusan**	**HTQ**	**Kelompok**
1.	16	LK	MANAJEMEN	Tidak	1
2.	32	LK	HUKUM TATA NEGARA	Tidak	1
3.	17	PR	PSIKOLOGI	Tidak	1

No	ID	Jenis Kelamin	Jurusan	HTQ	Kelompok
4.	10	LK	MANAJEMEN	Tidak	1
5.	14	LK	PSIKOLOGI	Tidak	1
6.	12	LK	AKUNTANSI	Tidak	1
7.	5	LK	ILMU AL-QUR`AN DAN TAFSIR	Tidak	1
8.	21	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak	1
9.	22	LK	AKUNTANSI	Tidak	1
10.	33	LK	MANAJEMEN	Tidak	1
11.	1	PR	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak	1
12.	24	PR	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak	1
13.	28	LK	BIOLOGI	Ya	1
14.	4	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak	2
15.	18	PR	ILMU AL-QUR`AN DAN TAFSIR	Tidak	2
16.	23	PR	PERBANKAN SYARI`AH	Ya	2
17.	34	PR	MANAJEMEN	Tidak	2
18.	30	LK	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak	2
19.	3	PR	TEKNIK INFORMATIKA	Tidak	2
20.	2	PR	BIOLOGI	Tidak	2
21.	29	PR	PSIKOLOGI	Tidak	2
22.	31	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak	2
23.	7	PR	PSIKOLOGI	Tidak	2
24.	6	PR	AL-AHWAL AL-SYAKHSHIYYAH	Tidak	2
25.	20	PR	MANAJEMEN	Tidak	2
26.	36	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak	3
27.	15	PR	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak	3
28.	37	PR	PSIKOLOGI	Tidak	3
29.	25	PR	BIOLOGI	Tidak	3
30.	27	LK	PERBANKAN SYARI`AH	Tidak	3
31.	19	LK	BAHASA DAN SASTRA ARAB	Tidak	3
32.	11	LK	MANAJEMEN	Ya	3
33.	8	PR	PERBANKAN SYARI`AH	Tidak	3
34.	26	PR	AL-AHWAL AL-SYAKHSHIYYAH	Tidak	3
35.	35	LK	BAHASA DAN SASTRA INGGRIS	Tidak	3
36.	9	LK	HUKUM BISNIS SYARI'AH	Tidak	3
37.	13	PR	PSIKOLOGI	Tidak	3

3.5 Skenario Pengujian

Pada penelitian ini akan dilaksanakan 2 jenis untuk menilai kesesuaian solusi yang diusulkan. Pertama, *Black Box Testing* digunakan untuk memverifikasi fungsi aplikasi *web* dari sisi *input-output* tanpa melihat struktur internal sehingga memastikan seluruh fungsi berjalan sesuai spesifikasi. Kedua, pengujian kinerja metode GA pada berbagai kombinasi parameter dilihat pada nilai *fitness* yang

dicapai sehingga dapat diketahui sejauh mana metode yang diterapkan memenuhi tujuan penelitian. Hasil kedua pengujian tersebut akan digunakan untuk menentukan keberhasilan pendekatan yang diusulkan.

3.5.1 Pengujian Aplikasi

Berdasarkan (Ayuardini dkk., 2024), pengujian sistem dilakukan untuk memastikan integrasi antar komponen dalam aplikasi telah berfungsi sesuai dengan kebutuhan pengguna. Tujuan utama dari pengujian aplikasi adalah untuk menegaskan bahwa seluruh fitur pada sistem telah beroperasi dengan benar sesuai rancangan. Adapun tahapan pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Menjalankan aplikasi *web* dan memastikan setiap halaman dapat diakses dengan benar.
2. Menguji fungsi tombol pada setiap halaman, untuk memastikan seluruh fitur berjalan sesuai rancangan.
3. Memastikan setiap proses menghasilkan keluaran (*output*) yang sesuai dengan harapan pengguna.

Tabel 3.20 memuat daftar skenario *Black Box Testing* yang akan dilaksanakan untuk memverifikasi fungsi-fungsi utama aplikasi secara sistematis.

Tabel 3.20 Skenario Pengujian Aplikasi dengan Metode *Black Box Testing*

ID	*Use Case*	Skenario Pengujian	Prekondisi	Langkah Uji	Hasil yang Diharapkan
SAP01	UCS01	*Login* dengan kredensial *valid*	Akun admin sudah terdaftar	1. Buka halaman *login*. 2. Masukkan *username* & *password valid*. 3. Klik *Login*.	Sistem memverifikasi dan mengarahkan ke halaman utama admin.

ID	*Use Case*	Skenario Pengujian	Prekondisi	Langkah Uji	Hasil yang Diharapkan
SAP02	UCS01	*Login* dengan *password* salah	Akun admin terdaftar	1. Buka halaman *login*. 2. Masukkan *username valid* dan *password* salah. 3. Klik *Login*.	Sistem menolak akses, menampilkan pesan kesalahan kredensial dan tidak mengizinkan masuk.
SAP03	UCS01	*Login* dengan *field* kosong	Halaman *login* tersedia	1. Buka halaman *login*. 2. Biarkan salah satu/kedua *field* kosong. 3. Klik *Login*.	Sistem menampilkan validasi (mis. "*Username* wajib diisi" dan tidak melanjutkan proses.
SAP04	UCS02	Tampilkan daftar mahasiswa	Admin sudah *login*	1. Masuk ke fitur. 2. Buka halaman daftar mahasiswa.	Halaman menampilkan daftar mahasiswa sesuai data di *database*.
SAP05	UCS02	Tambah mahasiswa dengan data *valid*	Admin *login* dan halaman tambah mahasiswa tersedia	1. Pilih Tambah Mahasiswa. 2. Isi semua *field* wajib dengan nilai *valid*. 3. Klik Simpan.	Data tersimpan, sistem menampilkan pesan sukses, dan mahasiswa muncul di daftar.
SAP06	UCS02	Tambah mahasiswa dengan *field* wajib kosong	Admin *login*	1. Pilih Tambah Mahasiswa. 2. Kosongkan *field* wajib. 3. Klik Simpan.	Sistem menolak penyimpanan, menampilkan pesan validasi. Data tidak tersimpan.
SAP07	UCS02	Ubah data mahasiswa	Ada data mahasiswa dan admin *login*	1. Pilih mahasiswa pada daftar. 2. Klik Edit. 3. Ubah *field*. 4. Klik Simpan.	Sistem menyimpan perubahan, menampilkan pesan sukses, dan daftar menunjukkan data terbaru.

3.5.2 Pengujian GA

Berdasarkan (Mahmudy dkk., 2021; Priandani & Mahmudy, 2015), penelitian ini melakukan rangkaian skenario uji coba dengan beberapa asumsi yang telah ditetapkan. Uji coba menggunakan data sebanyak 2.338 mahasiswa peserta KKM Reguler UIN Malang tahun akademik 2024/2025. Skenario pengujian yang dilakukan meliputi:

1. Pengujian *PopSize* untuk menentukan nilai optimal dalam GA pada proses pembentukan kelompok KKM Reguler.

2. Pengujian *Generation* untuk menentukan nilai optimal dalam GA pada proses pembentukan kelompok KKM Reguler.
3. Pengujian kombinasi Cr dan Mr untuk memperoleh nilai terbaik dalam GA pada proses pembentukan kelompok KKM Reguler.

Setiap skenario pengujian dijalankan sebanyak 10 kali percobaan. Hasil dari seluruh percobaan diakumulasi, kemudian dihitung nilai rata-ratanya, dan selanjutnya digunakan sebagai dasar perbandingan performa GA pada masing-masing skenario. Adapun rincian parameter dan rentang uji yang diaplikasikan pada setiap skenario disajikan pada Tabel 3.21 berikut:

Tabel 3.21 Rencana Pengujian Parameter GA

No	Parameter	Kelipatan	Range (Interpretasi)	Acuan Awal
1.	*PopSize*	10	10 - 100	-
2.	*Generation*	100	100 - 1000	300
3.	Cr	0.1	0.1 – 0.9	0.5
4.	Mr	0.9	0.9 – 0.1	0.5

Tabel 3.21 menunjukkan parameter yang diuji beserta kelipatan dan rentang nilai untuk setiap parameter. Parameter *PopSize* tidak memiliki acuan awal karena dijadikan skenario pengujian pertama. Parameter *Generation*, Cr, dan Mr memiliki acuan awal yang digunakan sebagai konfigurasi awal pada pengujian awal. Cr dan Mr diuji secara berpasangan dalam format Cr : Mr, misalnya 0,1 : 0,9 dan 0,2 : 0,8, sehingga setiap kombinasi dievaluasi secara independen. Nilai acuan awal berfungsi sebagai titik awal eksperimen dan akan diperbarui apabila skenario pengujian menemukan nilai optimal pada urutan pengujian berikutnya. Setiap konfigurasi dijalankan 10 kali dengan inisialisasi acak berbeda untuk mengamati variasi hasil. Hasil rata-rata nilai *fitness* terbaik dari seluruh iterasi digunakan

sebagai dasar perbandingan antar konfigurasi. Pada Tabel 3.22 memperlihatkan keseluruhan skenario pengujian yang akan dilakukan.

Tabel 3.22 Skenario Pengujian Parameter GA

Skenario	***PopSize***	***Generation***	**Cr**	**Mr**	**Kriteria Penghentian**	**Jumlah Kelompok**
SGA01	10	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA02	20	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA03	30	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA04	40	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA05	50	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA06	60	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA07	70	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA08	80	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA09	90	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA10	100	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA11	*PopSize* Terbaik	100	0.5	0.5	1.0	190
SGA12	*PopSize* Terbaik	200	0.5	0.5	1.0	190
SGA13	*PopSize* Terbaik	300	0.5	0.5	1.0	190
SGA14	*PopSize* Terbaik	400	0.5	0.5	1.0	190
SGA15	*PopSize* Terbaik	500	0.5	0.5	1.0	190
SGA16	*PopSize* Terbaik	600	0.5	0.5	1.0	190
SGA17	*PopSize* Terbaik	700	0.5	0.5	1.0	190
SGA18	*PopSize* Terbaik	800	0.5	0.5	1.0	190
SGA19	*PopSize* Terbaik	900	0.5	0.5	1.0	190
SGA20	*PopSize* Terbaik	1000	0.5	0.5	1.0	190
SGA21	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.1	0.9	1.0	190
SGA22	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.2	0.8	1.0	190
SGA23	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.3	0.7	1.0	190
SGA24	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.4	0.6	1.0	190
SGA25	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.5	0.5	1.0	190
SGA26	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.6	0.4	1.0	190
SGA27	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.7	0.3	1.0	190
SGA28	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.8	0.2	1.0	190
SGA29	*PopSize* Terbaik	*Generation* Terbaik	0.9	0.1	1.0	190

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

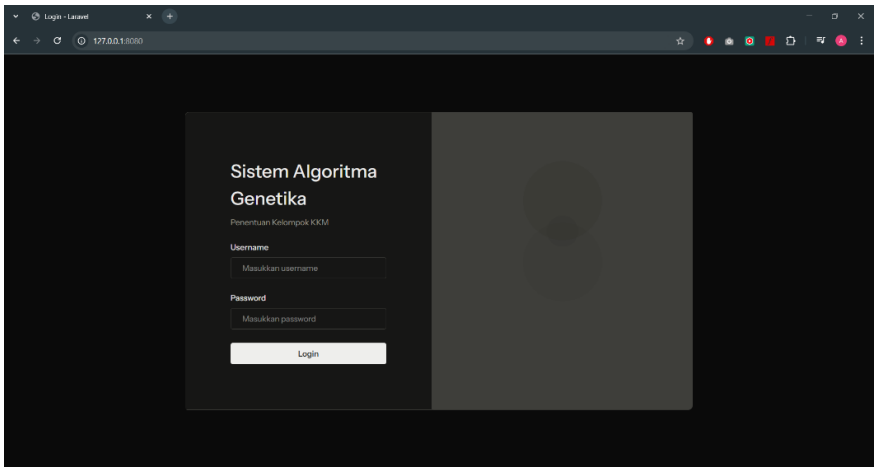
4.1 Hasil

Penelitian ini melaksanakan 2 bentuk pengujian sebagai dasar evaluasi kinerja sistem yang dikembangkan. Pengujian pertama bertujuan untuk memverifikasi aspek fungsionalitas aplikasi melalui pendekatan *Black Box Testing*. Pengujian kedua bertujuan untuk mengevaluasi performa algoritma GA dalam proses pembentukan kelompok dengan mempertimbangkan kualitas nilai *fitness* dan kestabilan solusi pada variasi parameter yang ditetapkan.

4.1.1 Hasil Pengembangan Website

1. Halaman *Login*

Gambar 4.1 menampilkan halaman *login* yang berfungsi sebagai gerbang autentikasi sebelum pengguna dapat mengakses sistem. Halaman ini menjadi titik awal kontrol akses sehingga hanya admin yang dapat menjalankan proses pengelolaan data dan pembentukan kelompok.

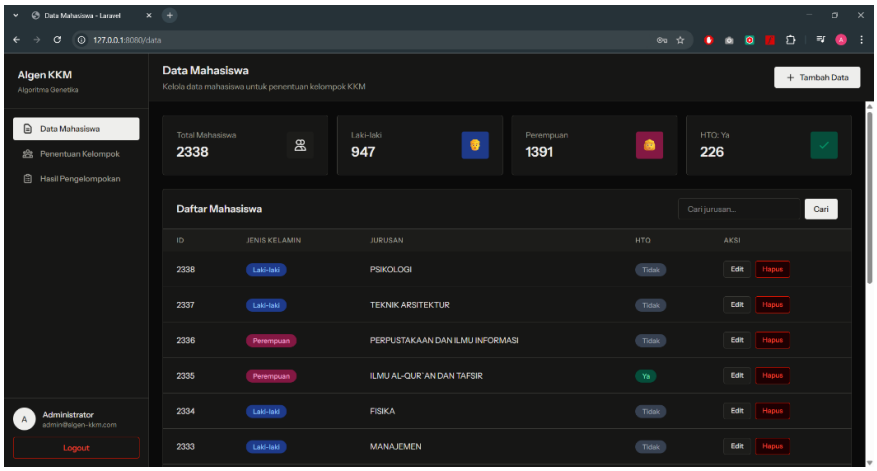


Gambar 4.1 Halaman *Login*

Halaman login menyediakan 2 *input* utama, yaitu *username* dan *password*, yang digunakan untuk mencocokkan kredensial dengan data yang tersimpan pada basis data. Sistem akan memberikan akses apabila data yang dimasukkan sesuai dengan akun yang terverifikasi. Fungsi halaman ini memastikan proses kerja sistem berlangsung dalam lingkungan yang terkontrol serta mencegah manipulasi data oleh pengguna yang tidak berwenang.

2. Halaman Manajemen Data

Gambar 4.2 menampilkan halaman manajemen data mahasiswa yang menjadi pusat pengolahan data sebelum proses pembentukan kelompok dilakukan. Halaman ini digunakan untuk memastikan bahwa seluruh data mahasiswa yang digunakan dalam proses optimasi telah lengkap dan *valid*.



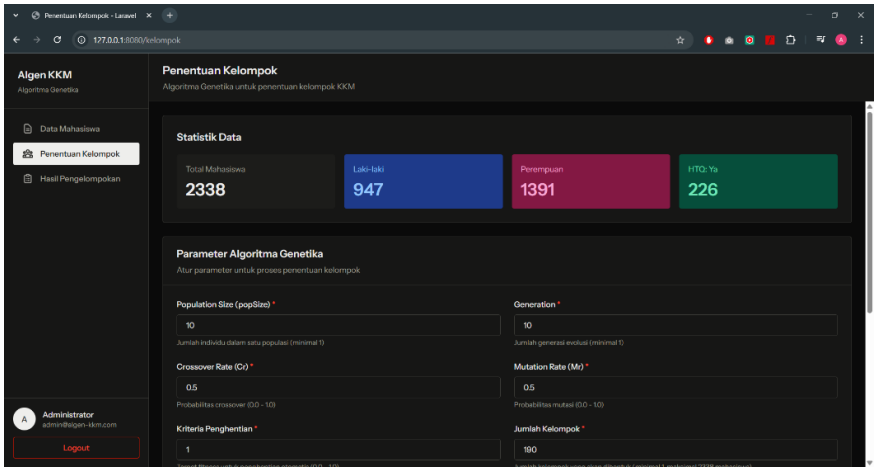
Gambar 4.2 Halaman Manajemen Data

Halaman manajemen data menyediakan fungsi penambahan, pengubahan, penghapusan, serta penelusuran data mahasiswa. Setiap perubahan data tersimpan langsung ke dalam basis data sehingga konsistensi informasi dapat dipertahankan. Keberadaan halaman ini memastikan bahwa algoritma pembentukan kelompok

menerima data yang terstruktur dan akurat sehingga proses optimasi dapat berjalan sesuai kriteria pembagian yang ditetapkan.

3. Halaman Penentuan Kelompok

Gambar 4.3 menampilkan halaman penentuan kelompok yang berfungsi untuk menjalankan proses pembentukan kelompok menggunakan GA berdasarkan parameter yang ditentukan oleh pengguna.



Gambar 4.3 Halaman Penentuan Kelompok

Halaman penentuan kelompok memberikan akses kepada pengguna untuk menetapkan parameter algoritma seperti *PopSize*, *Generation*, Cr, Mr, Kriteria Penghentian, dan Jumlah Kelompok. Setelah parameter ditetapkan, sistem menjalankan proses optimasi dan menghasilkan *output* berupa daftar kelompok yang dapat ditinjau. Fungsi halaman ini memastikan bahwa proses pembentukan kelompok berlangsung secara terstruktur dan sesuai dengan kriteria pembagian yang telah ditentukan oleh LP2M.

4.1.2 Hasil Pengembangan *Server*

Server pada sistem berfungsi sebagai pusat pemrosesan data sekaligus sebagai komponen utama yang menjalankan GA untuk menghasilkan pembagian kelompok KKM. Komunikasi antara aplikasi *web* dan *server* dilakukan melalui mekanisme REST API, di mana *web* mengirimkan permintaan untuk memulai proses optimasi, sedangkan *server* mengolah permintaan tersebut dan menyimpan hasilnya pada basis data yang sama. Tabel 4.1 menyajikan daftar akses poin yang digunakan dalam proses interaksi antara aplikasi *web* dan *server*.

Tabel 4.1 Daftar Akses Poin *Server*

No	Jenis	Akses Poin	*Output*
1.	REST API	*http://localhost:8000/api/optimize*	Respon bahwa proses optimasi GA telah dimulai dan berjalan dengan benar

Tabel 4.1 menunjukkan bahwa proses interaksi sistem berjalan melalui satu jalur komunikasi terpusat, yaitu REST API. Aplikasi *web* mengirimkan permintaan untuk menjalankan proses pembentukan kelompok, sementara permintaan diproses secara penuh di sisi *server*. Setelah proses optimasi selesai, *server* menyimpan hasil pembentukan kelompok ke dalam basis data yang sama. Mekanisme ini memungkinkan aplikasi *web* untuk melakukan pengecekan secara berkala untuk mendeteksi ketersediaan hasil terbaru tanpa memerlukan komunikasi 2 arah secara langsung. Pendekatan ini menjaga kinerja aplikasi tetap stabil serta memastikan bahwa proses optimasi berjalan secara terpisah dari beban antarmuka pengguna.

4.1.3 Pengujian Aplikasi

Pengujian aplikasi dilakukan untuk memastikan kesesuaian fungsi sistem terhadap kebutuhan pengguna dan alur proses yang telah ditetapkan. Pengujian ini

menggunakan pendekatan *Black Box Testing*, sehingga evaluasi berfokus pada kecocokan *input* sistem terhadap *output* tanpa meninjau struktur internal kode program. Skenario pengujian mengacu pada 3 *use case* utama, yaitu autentikasi pengguna, pengelolaan data mahasiswa, dan pelaksanaan pembentukan kelompok menggunakan GA. Pelaksanaan pengujian bertujuan untuk memastikan bahwa setiap fitur berfungsi sesuai dengan perannya dalam mendukung proses pembentukan kelompok. Tabel 4.2 menyajikan hasil pengujian aplikasi berdasarkan 12 skenario uji yang telah dirancang.

Tabel 4.2 Hasil Pengujian Aplikasi dengan *Black Box Testing*

ID	*Use Case*	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Kesimpulan
SAP01	UCS01	*Login* dengan kredensial *valid*	Sistem memverifikasi dan mengarahkan ke halaman utama admin.	*Valid* (Lampiran 1)
SAP02	UCS01	*Login* dengan *password* salah	Sistem menolak akses, menampilkan pesan kesalahan kredensial dan tidak mengizinkan masuk.	*Valid* (Lampiran 2)
SAP03	UCS01	*Login* dengan *field* kosong	Sistem menampilkan validasi (mis. "*Username* wajib diisi" dan tidak melanjutkan proses.	*Valid* (Lampiran 3)
SAP04	UCS02	Tampilkan daftar mahasiswa	Halaman menampilkan daftar mahasiswa sesuai data di *database*.	*Valid* (Lampiran 4)
SAP05	UCS02	Tambah mahasiswa dengan data *valid*	Data tersimpan, sistem menampilkan pesan sukses, dan mahasiswa muncul di daftar.	*Valid* (Lampiran 5)
SAP06	UCS02	Tambah mahasiswa dengan *field* wajib kosong	Sistem menolak penyimpanan, menampilkan pesan validasi. Data tidak tersimpan.	*Valid* (Lampiran 6)
SAP07	UCS02	Ubah data mahasiswa	Sistem menyimpan perubahan, menampilkan pesan sukses, dan daftar menunjukkan data terbaru.	*Valid* (Lampiran 7)
SAP08	UCS02	Hapus mahasiswa	Sistem menghapus data, menampilkan pesan sukses, dan mahasiswa tidak muncul lagi di daftar.	*Valid* (Lampiran 8)
SAP09	UCS03	Konfigurasi parameter dan jalankan pembentukan kelompok	Sistem memproses GA, menampilkan indikator, setelah selesai Hasil tersimpan dan dapat ditinjau.	*Valid* (Lampiran 9)

ID	*Use Case*	Skenario Pengujian	Hasil yang Diharapkan	Kesimpulan
SAP10	UCS03	Jalankan pembentukan dengan parameter tidak *valid*	Sistem menolak eksekusi, menampilkan pesan validasi dan meminta perbaikan parameter.	*Valid* (Lampiran 10)
SAP11	UCS03	Jalankan pembentukan dengan jumlah mahasiswa kurang	Sistem menampilkan pesan bahwa jumlah data tidak mencukupi atau menolak proses.	*Valid* (Lampiran 11)
SAP12	UCS03	Hasil pembentukan tersimpan dan dapat ditinjau	Hasil yang tersimpan tampil lengkap (anggota tiap kelompok).	*Valid* (Lampiran 12)

Seluruh skenario pengujian dijalankan dalam kondisi sistem yang sama dan menggunakan *dataset* yang telah diverifikasi pada tahap sebelumnya. Berdasarkan hasil pengujian, seluruh skenario menghasilkan *output* yang sesuai dengan hasil yang diharapkan sehingga fungsi sistem dinyatakan berjalan dengan benar. Penilaian keberhasilan pengujian ditentukan melalui kesesuaian antara aktual dengan *output* yang diharapkan pada setiap skenario. Adapun untuk menilai tingkat keberhasilan pengujian, digunakan rumus pada persamaan 2.2 sebagai berikut:

$$Persentase\ validasi = \left(\frac{Jumlah\ test\ case\ valid}{Total\ test\ case}\right) \times 100\%$$

Jumlah skenario pengujian yang dilaksanakan adalah 12 skenario, dan seluruhnya memberikan *output* yang sesuai dengan hasil yang diharapkan. Dengan demikian, hasil perhitungannya adalah:

$$Persentase\ validasi = \left(\frac{12}{12}\right) \times 100\% = 100\%$$

Hasil tersebut menunjukkan bahwa aplikasi telah memenuhi aspek fungsionalitas yang diperlukan dalam proses autentikasi pengguna, pengelolaan data mahasiswa, serta pelaksanaan pembentukan kelompok menggunakan GA.

Dengan demikian, aplikasi dinyatakan dapat beroperasi dengan baik sesuai tujuan yang telah ditetapkan pada tahap perancangan.

4.1.4 Pengujian GA

Pengujian GA dilakukan untuk menilai kinerja proses optimasi dalam menghasilkan pembagian kelompok yang sesuai dengan kriteria yang telah ditetapkan. Evaluasi dilakukan dengan mengamati nilai *fitness* sebagai indikator utama kualitas solusi, di mana nilai *fitness* yang lebih tinggi menunjukkan tingkat kesesuaian hasil pembagian kelompok yang lebih baik. Pengujian dilaksanakan dengan memvariasikan konfigurasi parameter algoritma untuk memperoleh kombinasi nilai parameter yang memberikan hasil paling optimal.

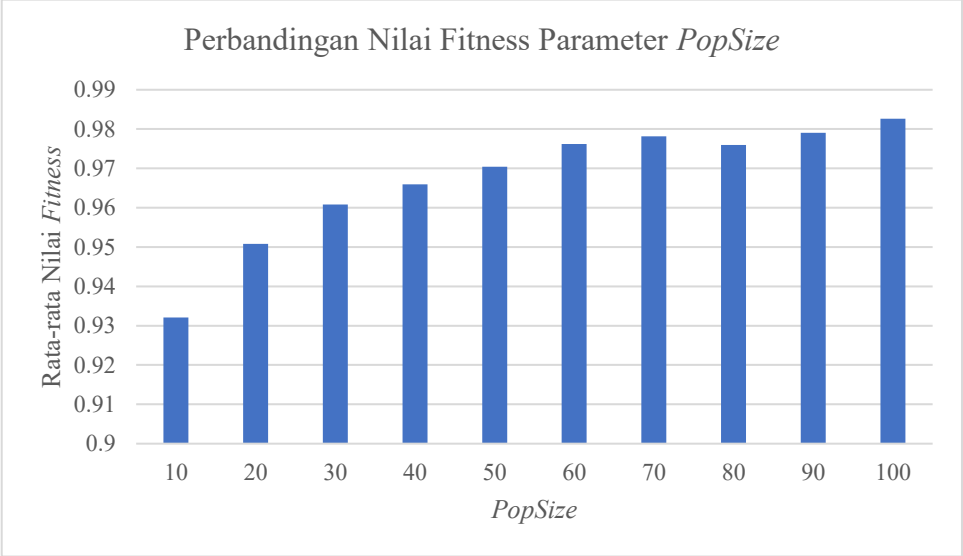
1. Pengujian Parameter *PopSize*

Pengujian pertama difokuskan pada parameter *PopSize*. Variasi nilai *PopSize* dilakukan untuk mengetahui sejauh mana jumlah kromosom dalam 1 generasi dapat berpengaruh terhadap kemampuan algoritma dalam menjelajahi ruang solusi dan menghasilkan nilai *fitness* yang mendekati optimal. Hasil pengujian tersebut ditunjukkan pada Tabel 4.3.

Tabel 4.3 Hasil Pengujian Parameter *PopSize*

Skenario	***PopSize***	***Generation***	**Cr**	**Mr**	**Kriteria Penghentian**	**Jumlah Kelompok**	***Fitness* Rata-rata**
SGA01	10	300	0.5	0.5	1.0	190	0.932105263
SGA02	20	300	0.5	0.5	1.0	190	0.950789474
SGA03	30	300	0.5	0.5	1.0	190	0.960789474
SGA04	40	300	0.5	0.5	1.0	190	0.965921053
SGA05	50	300	0.5	0.5	1.0	190	0.970394737
SGA06	60	300	0.5	0.5	1.0	190	0.976184211
SGA07	70	300	0.5	0.5	1.0	190	0.978157895
SGA08	80	300	0.5	0.5	1.0	190	0.975921053
SGA09	90	300	0.5	0.5	1.0	190	0.979078947
SGA10	100	300	0.5	0.5	1.0	190	0.982631579

Tabel 4.3 menampilkan perbandingan nilai *fitness* yang diperoleh dari beberapa variasi *PopSize* dalam pengujian GA. Variasi *PopSize* digunakan untuk mengamati sejauh mana jumlah kromosom dalam 1 generasi memengaruhi kemampuan algoritma dalam menjelajahi ruang solusi. Semakin besar *PopSize*, maka semakin besar pula keberagaman solusi yang terbentuk, namun konsekuensinya adalah peningkatan kebutuhan waktu dan sumber daya komputasi. Sebaliknya, *PopSize* yang terlalu kecil dapat mempercepat proses komputasi, tetapi dapat menyebabkan algoritma mengalami konvergensi dini, sehingga kualitas solusi menjadi kurang optimal. Grafik hasil pengujian ditampilkan pada Gambar 4.4 untuk memperjelas pola perubahan nilai *fitness* pada setiap variasi *PopSize*.



Gambar 4.4 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter *PopSize*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.4, hasil pengujian menunjukkan bahwa *PopSize* 70 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang relatif tinggi dibandingkan nilai *fitness* pada variasi *PopSize* lainnya. Nilai *PopSize* yang lebih besar tidak memberikan peningkatan nilai *fitness* yang sepadan dengan peningkatan

penggunaan sumber daya komputasi, sehingga penambahan jumlah kromosom tidak memberikan manfaat berarti terhadap kualitas solusi. Oleh karena itu, penelitian ini menetapkan *PopSize* 70 sebagai parameter optimal.

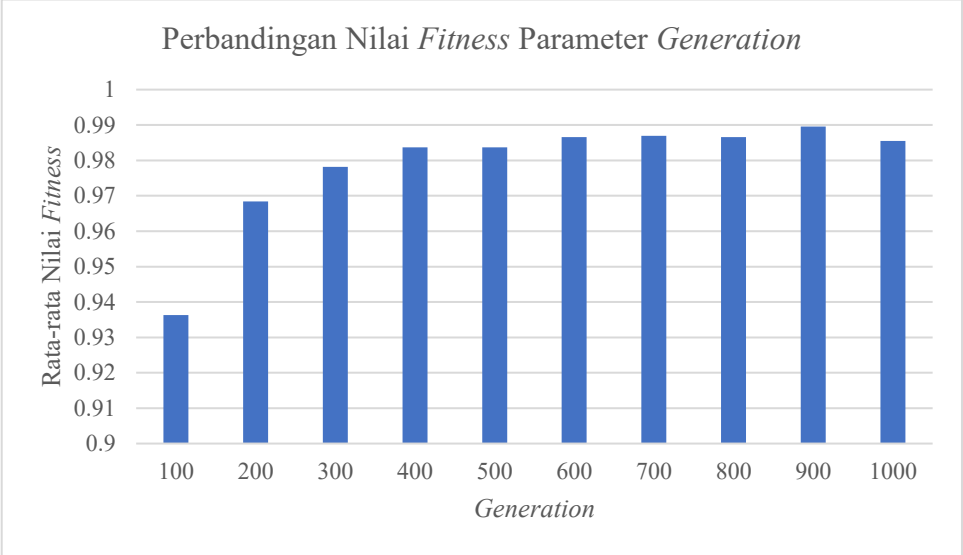
2. Pengujian *Generation*

Pengujian terhadap parameter *Generation* dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh jumlah iterasi GA terhadap kualitas solusi yang dihasilkan. *Generation* menentukan seberapa lama proses evolusi berlangsung sehingga berpengaruh langsung terhadap peluang algoritma dalam mencapai nilai *fitness* yang optimal. Hasil pengujian variasi parameter *Generation* disajikan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4 Hasil Pengujian Parameter *Generation*

Skenario	***PopSize***	***Generation***	**Cr**	**Mr**	**Kriteria Penghentian**	**Jumlah Kelompok**	***Fitness* Rata-rata**
SGA11	70	100	0.5	0.5	1.0	190	0.936315789
SGA12	70	200	0.5	0.5	1.0	190	0.968421053
SGA13	70	300	0.5	0.5	1.0	190	0.978157895
SGA14	70	400	0.5	0.5	1.0	190	0.983684211
SGA15	70	500	0.5	0.5	1.0	190	0.983684211
SGA16	70	600	0.5	0.5	1.0	190	0.986578947
SGA17	70	700	0.5	0.5	1.0	190	0.986973684
SGA18	70	800	0.5	0.5	1.0	190	0.986578947
SGA19	70	900	0.5	0.5	1.0	190	0.989605263
SGA20	70	1000	0.5	0.5	1.0	190	0.985526316

Tabel 4.4 menampilkan nilai *fitness* yang diperoleh dari beberapa variasi *Generation*. Variasi *Generation* digunakan untuk mengamati sejauh mana peningkatan iterasi dapat meningkatkan kualitas solusi. *Generation* yang lebih tinggi memberikan kesempatan lebih lama bagi proses seleksi, *crossover*, dan mutasi untuk bekerja sehingga kualitas solusi dapat meningkat. Visualisasi hasil variasi *Generation* disajikan dalam bentuk grafik pada Gambar 4.5 untuk menunjukkan pola perubahan nilai *fitness*.



Gambar 4.5 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter *Generation*

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.5, hasil pengujian menunjukkan bahwa *Generation* 400 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang relatif tinggi dibandingkan nilai *fitness* pada variasi *Generation* lainnya. Nilai *Generation* yang melebihi 400 tidak memberikan peningkatan nilai *fitness* yang sepadan dengan kebutuhan waktu komputasi yang lebih besar, sehingga penambahan jumlah iterasi tidak memberikan manfaat tambahan terhadap kualitas solusi. Oleh karena itu, penelitian ini menetapkan *Generation* 400 sebagai parameter optimal.

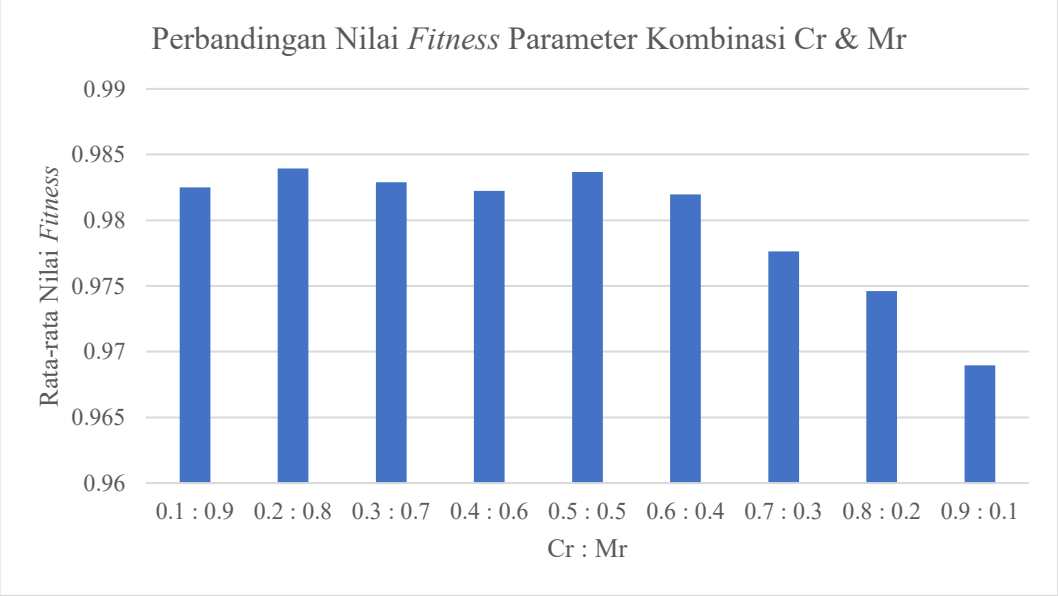
3. Pengujian Kombinasi Cr dan Mr

Pengujian terhadap kombinasi parameter Cr dan Mr dilakukan untuk mengevaluasi pengaruh keduanya terhadap kualitas solusi yang dihasilkan oleh GA. Kedua parameter ini berperan dalam mekanisme eksplorasi dan eksploitasi ruang solusi, sehingga keseimbangan antara Cr dan Mr menjadi penting agar proses evolusi dapat menghasilkan solusi optimal tanpa mengalami konvergensi dini. Hasil pengujian kombinasi Cr dan Mr ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Parameter Kombinasi Cr dan Mr

Skenario	*PopSize*	*Generation*	Cr	Mr	Kriteria Penghentian	Jumlah Kelompok	*Fitness* Rata-rata
SGA21	70	400	0.1	0.9	1.0	190	0.9825
SGA22	70	400	0.2	0.8	1.0	190	0.983947368
SGA23	70	400	0.3	0.7	1.0	190	0.982894737
SGA24	70	400	0.4	0.6	1.0	190	0.982236842
SGA25	70	400	0.5	0.5	1.0	190	0.983684211
SGA26	70	400	0.6	0.4	1.0	190	0.981973684
SGA27	70	400	0.7	0.3	1.0	190	0.977631579
SGA28	70	400	0.8	0.2	1.0	190	0.974605263
SGA29	70	400	0.9	0.1	1.0	190	0.968947368

Tabel 4.5 menampilkan nilai *fitness* yang diperoleh dari berbagai kombinasi Cr dan Mr. Variasi Cr memengaruhi tingkat pertukaran gen antar kromosom untuk menghasilkan solusi baru, sedangkan variasi Mr memengaruhi tingkat perubahan gen untuk menjaga keragaman populasi. Kombinasi kedua parameter diuji untuk menemukan titik keseimbangan antara kemampuan algoritma dalam memperluas pencarian ruang solusi dan mempertahankan kestabilan proses evolusi. Visualisasi pola pengaruh kombinasi tersebut ditampilkan pada Gambar 4.6 dalam bentuk grafik perbandingan nilai *fitness*.



Gambar 4.6 Grafik Perbandingan Nilai *Fitness* Parameter Kombinasi Cr dan Mr

Berdasarkan grafik pada Gambar 4.6, terlihat bahwa kombinasi parameter Cr dan Mr sebesar 0,5 : 0,5 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang lebih tinggi dibandingkan kombinasi lainnya. Kombinasi ini memberikan keseimbangan antara proses pertukaran gen dan perubahan gen, sehingga ruang solusi dapat dijelajahi secara optimal tanpa mengorbankan stabilitas hasil. Peningkatan Cr tanpa diikuti peningkatan Mr menyebabkan solusi cenderung homogen, sedangkan peningkatan Mr secara berlebihan menghasilkan solusi yang tidak stabil. Dengan demikian, kombinasi Cr dan Mr berupa 0,5 : 0,5 dipilih sebagai konfigurasi parameter yang optimal untuk implementasi GA.

4. Parameter Optimal

Berdasarkan rangkaian pengujian parameter GA yang telah dilakukan, diperoleh konfigurasi parameter yang memberikan nilai *fitness* paling optimal dan stabil pada proses pembentukan kelompok. Konfigurasi parameter tersebut terdiri dari *PopSize* sebesar 70, *Generation* sebanyak 400, Cr sebesar 0,5, Mr sebesar 0,5, Kriteria Penghentian sebesar 1,0, serta Jumlah Kelompok yang dibentuk sebanyak 190. Kombinasi parameter ini menunjukkan kualitas hasil optimal dengan nilai *fitness* sebesar 0,983684211, sehingga konfigurasi tersebut ditetapkan sebagai parameter akhir yang digunakan pada implementasi sistem.

Selanjutnya untuk mengevaluasi hasil pembentukan kelompok dilakukan perbandingan antara data penelitian dengan data hasil sistem GA yang dijalankan menggunakan parameter optimal. Sebagai dasar evaluasi, tingkat ketercapaian kriteria pada kedua data disajikan pada Tabel 4.6 , dengan ketentuan penilaian yang mengacu pada pembahasan kriteria dan aturan pengelompokan pada Tabel 3.2.

Pada kolom Ketercapaian, nilai “Ya” berarti kriteria terpenuhi, sedangkan nilai “Tidak” berarti kriteria tidak terpenuhi.

Tabel 4.6 Daftar Aturan Ketercapaian Kriteria

No	Kode	Aturan	Ketercapaian
1.	C1	Dalam 1 kelompok memiliki anggota HTQ ≥ 1	Ya
		Dalam 1 kelompok tidak memiliki anggota HTQ ≥ 1	Tidak
2.	C2	Rasio duplikasi jurusan dalam 1 kelompok < 50%	Ya
		Rasio duplikasi jurusan dalam 1 kelompok ≥ 50%	Tidak
3.	C3	Proporsi jenis kelamin memenuhi rasio laki-laki dan perempuan sebesar 40% : 60%, dengan batas toleransi ±10%.	Ya
		Proporsi jenis kelamin tidak memenuhi rasio laki-laki dan perempuan sebesar 40% : 60%, dengan batas toleransi ±10%.	Tidak
4.	C4	Jumlah anggota dalam 1 kelompok berada pada rentang 12-13 orang	Ya
		Jumlah anggota dalam 1 kelompok tidak berada pada rentang 12-13 orang	Tidak

Tabel 4.6 menyajikan tingkat ketercapaian kriteria LP2M pada kedua data. Data penelitian menggambarkan kondisi pembagian kelompok sebelum proses optimasi dilakukan. Data hasil sistem menggambarkan kondisi pembagian kelompok setelah proses optimasi diterapkan. Kolom C1 hingga C4 menunjukkan kode kriteria LP2M yang digunakan dalam penelitian. Kolom Memenuhi Semua Kriteria menunjukkan jumlah kelompok yang memenuhi seluruh kriteria dari total 190 kelompok yang dibentuk.

Tabel 4.7 Perbandingan Tercapainya Kriteria LP2M

Data	C1	C2	C3	C4	Memenuhi Semua Kriteria
Data Penelitian	136/190	190/190	116/190	166/190	82/190
Data Hasil Sistem	188/190	190/190	179/190	190/190	177/190

Data pada Tabel 4.7 menunjukkan adanya perbedaan ketercapaian kriteria LP2M antara data penelitian dan hasil pengelompokan sistem. Pada kriteria C1, hasil pengelompokan sistem memenuhi kriteria pada 188 kelompok, sedangkan data penelitian hanya memenuhi kriteria tersebut pada 136 kelompok. Pada kriteria C2, hasil pengelompokan sistem dan data penelitian sama-sama memenuhi kriteria

pada seluruh 190 kelompok. Pada kriteria C3, hasil pengelompokan sistem memenuhi kriteria pada 179 kelompok, sementara data penelitian hanya memenuhi kriteria tersebut pada 116 kelompok. Pada kriteria C4, hasil pengelompokan sistem memenuhi kriteria pada seluruh 190 kelompok, sedangkan data penelitian memenuhi kriteria tersebut pada 166 kelompok.

Perbedaan ketercapaian setiap kriteria memengaruhi jumlah kelompok yang memenuhi seluruh kriteria LP2M secara bersamaan. Hasil pengelompokan sistem menghasilkan 177 kelompok yang memenuhi seluruh kriteria dari total 190 kelompok, sedangkan data penelitian hanya menghasilkan 82 kelompok dari total yang sama. Perbedaan jumlah tersebut menunjukkan bahwa pembagian kelompok hasil sistem memiliki tingkat kesesuaian yang lebih tinggi terhadap kriteria LP2M dibandingkan kondisi sebelum dilakukan proses optimasi. Temuan tersebut menegaskan peran proses optimasi dalam menghasilkan pembagian kelompok yang lebih optimal berdasarkan kriteria yang ditetapkan.

Sebagai tahap evaluasi lanjutan, analisis dilanjutkan untuk memberikan gambaran yang lebih konkret mengenai perbedaan hasil pembentukan kelompok, evaluasi dilakukan dengan mengambil data sampel sebanyak 3 kelompok pada masing-masing data untuk memberikan gambaran yang lebih konkret mengenai perbedaan hasil pembentukan kelompok. Analisis berbasis sampel digunakan untuk mengetahui kesesuaian pembagian anggota kelompok terhadap kriteria LP2M sebelum dan sesudah penerapan optimasi. Tabel 4.8 menyajikan data sampel pembentukan kelompok pada kondisi awal yang diambil dari 3 kelompok berbeda, yaitu kelompok 94, 167, dan 38. Tabel tersebut menyajikan informasi meliputi

nomor kelompok, jenis kelamin, jurusan, dan keanggotaan HTQ, serta ketercapaian setiap kriteria LP2M sebagai dasar evaluasi pembentukan kelompok.

Tabel 4.8 Data Sampel 3 Kelompok dari Data Penelitian

No	Kelompok	Jenis Kelamin	Jurusan	HTQ	Ketercapaian Kriteria			
					C1	C2	C3	C4
1	94	LK	Ilmu Al-Qur`An dan Tafsir	Tidak	Tidak	Ya	Tidak	Ya
2		PR	Fisika	Tidak				
3		LK	Teknik Arsitektur	Tidak				
4		LK	Manajemen	Tidak				
5		PR	Psikologi	Tidak				
6		LK	Bahasa dan Sastra Inggris	Tidak				
7		LK	Akuntansi	Tidak				
8		LK	Matematika	Tidak				
9		PR	Bahasa dan Sastra Arab	Tidak				
10		LK	Perpustakaan dan Ilmu Informasi	Tidak				
11		PR	Hukum Tata Negara	Tidak				
12		PR	Teknik Informatika	Tidak				
13	167	PR	Al-Ahwal Al-Syakhshiyyah	Ya	Ya	Ya	Tidak	Tidak
14		PR	Perbankan Syari`Ah	Tidak				
15		LK	Manajemen	Tidak				
16		PR	Psikologi	Tidak				
17		PR	Bahasa dan Sastra Inggris	Tidak				
18		PR	Manajemen	Tidak				
19		PR	Hukum Bisnis Syari'ah	Tidak				
20		PR	Biologi	Tidak				
21		PR	Hukum Tata Negara	Tidak				
22		PR	Bahasa dan Sastra Arab	Ya				
23		PR	Teknik Informatika	Tidak				
24	38	PR	Bahasa Dan Sastra Inggris	Tidak	Ya	Ya	Tidak	Tidak
25		LK	Perbankan Syari`Ah	Ya				
26		LK	Teknik Informatika	Ya				
27		LK	Teknik Arsitektur	Tidak				
28		LK	Teknik Informatika	Tidak				
29		PR	Akuntansi	Tidak				
30		PR	Bahasa dan Sastra Arab	Tidak				
31		LK	Teknik Informatika	Tidak				
32		LK	Teknik Informatika	Tidak				
33		LK	Matematika	Tidak				
34		LK	Ilmu Al-Qur`An dan Tafsir	Tidak				

Data pada Tabel 4.8 menunjukkan adanya ketidaksesuaian pemenuhan kriteria LP2M pada data penelitian. Kelompok 94 tidak memenuhi kriteria C1 karena tidak memiliki anggota HTQ dalam 1 kelompok, serta tidak memenuhi kriteria C3 karena proporsi jenis kelamin pada kelompok tersebut tidak memenuhi rasio laki-laki dan perempuan sebesar 40% : 60% dengan batas toleransi ±10%. Kelompok 167 dan 38 secara bersamaan tidak memenuhi kriteria C3 dan C4, yang ditunjukkan oleh ketimpangan proporsi jenis kelamin serta jumlah anggota kelompok yang hanya berjumlah 11 orang, sedangkan ketentuan LP2M menetapkan jumlah ideal anggota kelompok berada pada rentang 12-13 orang. Berdasarkan hasil analisis sampel tersebut, pembagian kelompok pada data penelitian masih menunjukkan pelanggaran terhadap beberapa kriteria LP2M, sehingga kondisi sebelum optimasi belum mampu menghasilkan pembentukan kelompok yang sesuai secara optimal.

Selanjutnya untuk meninjau hasil pembentukan kelompok setelah penerapan optimasi, analisis dilakukan terhadap data sampel pengelompokan yang dihasilkan oleh sistem berbasis GA. Data sampel diambil dari 3 kelompok hasil optimasi yang diwakili dengan K1, K2, dan K3, sebagai representasi pembagian kelompok setelah sistem dijalankan menggunakan konfigurasi parameter optimal. Tabel 4.9 menyajikan data anggota kelompok hasil sistem yang memuat meliputi nomor kelompok, jenis kelamin, jurusan, dan keanggotaan HTQ, serta ketercapaian setiap kriteria LP2M sebagai dasar evaluasi pemenuhan kriteria pada kondisi setelah proses optimasi diterapkan.

Tabel 4.9 Data Sampel 3 Kelompok dari Data Hasil Sistem

No	Kelompok	Jenis Kelamin	Jurusan	HTQ	Ketercapaian Kriteria			
					C1	C2	C3	C4
1	K1	LK	Kimia	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
2		PR	Kimia	Tidak				
3		PR	Teknik Informatika	Tidak				
4		PR	Teknik Informatika	Tidak				
5		PR	Al-Ahwal Al-Syakhshiyyah	Tidak				
6		PR	Psikologi	Tidak				
7		PR	Akuntansi	Tidak				
8		LK	Bahasa dan Sastra Inggris	Ya				
9		PR	Teknik Informatika	Tidak				
10		LK	Fisika	Tidak				
11		LK	Perpustakaan dan Ilmu Informasi	Tidak				
12		PR	Perpustakaan dan Ilmu Informasi	Tidak				
13	K2	PR	Fisika	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
14		PR	Bahasa dan Sastra Arab	Tidak				
15		LK	Manajemen	Tidak				
16		LK	Bahasa dan Sastra Arab	Ya				
17		PR	Bahasa dan Sastra Arab	Ya				
18		PR	Hukum Bisnis Syari'ah	Tidak				
19		PR	Manajemen	Tidak				
20		PR	Biologi	Tidak				
21		PR	Akuntansi	Tidak				
22		LK	Manajemen	Tidak				
23		LK	Hukum Bisnis Syari'ah	Tidak				
24		LK	Al-Ahwal Al-Syakhshiyyah	Tidak				
25	K3	PR	Al-Ahwal Al-Syakhshiyyah	Tidak	Ya	Ya	Ya	Ya
26		LK	Akuntansi	Tidak				
27		PR	Bahasa dan Sastra Inggris	Tidak				
28		LK	Ilmu Al-Qur`An dan Tafsir	Tidak				
29		PR	Kimia	Tidak				
30		LK	Teknik Informatika	Tidak				
31		PR	Perbankan Syari`Ah	Tidak				
32		PR	Manajemen	Tidak				
33		LK	Teknik Informatika	Tidak				
34		PR	Fisika	Tidak				
35		PR	Al-Ahwal Al-Syakhshiyyah	Tidak				
36		PR	Ilmu Al-Qur`An dan Tafsir	Ya				

Berdasarkan Tabel 4.9, analisis terhadap data sampel yang diwakili oleh K1, K2, dan K3 menunjukkan bahwa hasil pengelompokan sistem telah memenuhi

seluruh kriteria LP2M dari C1 hingga C4. Setiap kelompok memiliki minimal 1 anggota HTQ sehingga kriteria C1 terpenuhi. Selain itu, variasi jurusan pada setiap kelompok menunjukkan perbedaan jurusan diatas 50%, yang menandakan terpenuhinya kriteria C2. Komposisi jenis kelamin pada masing-masing kelompok menunjukkan proporsi yang sesuai dengan batas perbandingan 40% laki-laki dan 60% perempuan dengan batas toleransi ±10%, sehingga kriteria C3 dapat dipenuhi. Jumlah anggota pada masing-masing kelompok juga berada pada rentang 12-13 orang, sehingga kriteria C4 terkait pemerataan jumlah anggota dapat dipenuhi. Dengan terpenuhinya seluruh kriteria tersebut, data sampel hasil sistem menunjukkan bahwa proses optimasi menggunakan GA mampu menghasilkan pembagian kelompok KKM yang sesuai.

4.2 Pembahasan

Penelitian ini membahas hasil pengujian sistem untuk menilai tingkat keberhasilan penerapan GA dalam proses pembentukan kelompok KKM. Pembahasan dilakukan menggunakan pendekatan kualitatif dan kuantitatif untuk menilai kesesuaian antara rancangan sistem dan hasil implementasi yang diperoleh pada tahap pengujian. Analisis dalam pembahasan ini mencakup 2 aspek utama, yaitu evaluasi fungsional aplikasi dan evaluasi kinerja GA dalam menghasilkan pembagian kelompok KKM yang sesuai dengan kriteria LP2M.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan memenuhi aspek fungsional dan mampu menghasilkan pembagian kelompok KKM yang sesuai dengan kriteria LP2M. Pengujian fungsional aplikasi menghasilkan tingkat validasi sebesar 100% pada seluruh skenario uji yang dijalankan. Pengujian kinerja

GA menghasilkan nilai *fitness* sebesar 0,983684211 pada konfigurasi parameter optimal yang telah ditetapkan. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil pengelompokan sistem dan kriteria pembentukan kelompok KKM yang ditetapkan LP2M.

Hasil evaluasi fungsional aplikasi menunjukkan bahwa seluruh fitur utama sistem berjalan sesuai dengan kebutuhan pengguna yang telah ditetapkan. Pengujian menggunakan metode *Black Box Testing* dilakukan pada fitur autentikasi pengguna, pengelolaan data mahasiswa, dan proses pembentukan kelompok berbasis GA. Setiap skenario pengujian menghasilkan keluaran yang sesuai dengan hasil yang diharapkan tanpa ditemukan kesalahan fungsional. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa integrasi antara antarmuka pengguna, logika aplikasi, dan proses pemrosesan pada *server* telah berjalan secara konsisten. Keberhasilan fungsi sistem ini memastikan bahwa proses otomatisasi pembentukan kelompok KKM dapat dijalankan sebagai dasar penerapan metode optimasi.

Hasil pengujian kinerja GA menunjukkan bahwa metode optimasi yang diterapkan mampu menghasilkan solusi pembagian kelompok KKM secara optimal. Proses evolusi solusi berjalan dengan meningkatkan nilai *fitness* pada setiap iterasi hingga mencapai kondisi stabil. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa mekanisme seleksi, *crossover*, dan mutasi bekerja dalam memperbaiki kualitas kromosom. Peningkatan nilai *fitness* mencerminkan semakin tingginya tingkat kesesuaian hasil pengelompokan terhadap kriteria LP2M. Dengan demikian, GA terbukti mampu menjadi pendekatan optimasi yang relevan dalam menyelesaikan permasalahan pembentukan kelompok KKM.

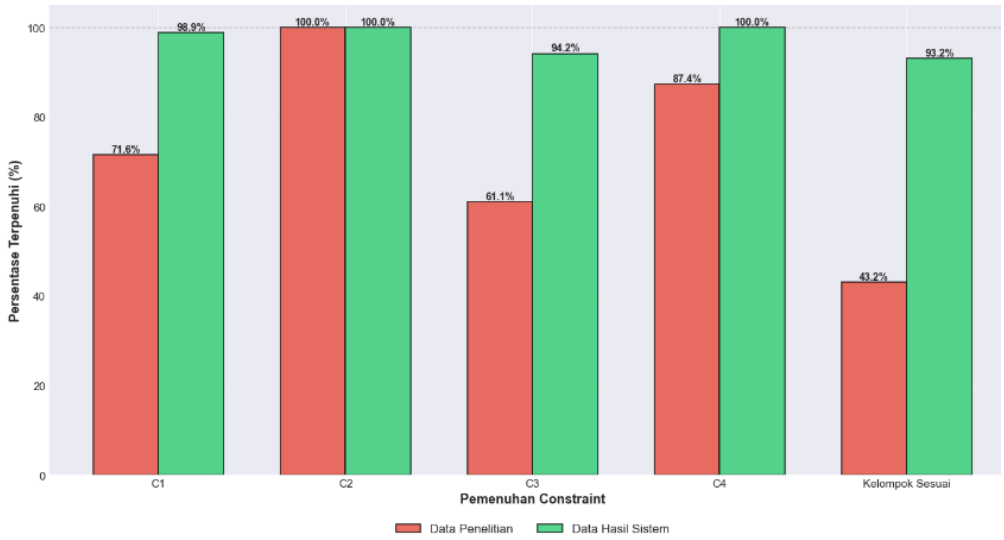
Hasil pengujian parameter *PopSize* menunjukkan bahwa jumlah populasi berpengaruh terhadap kualitas solusi yang dihasilkan oleh GA. Peningkatan jumlah kromosom dalam populasi menyebabkan nilai *fitness* meningkat hingga mencapai kondisi optimal. Hasil pengujian menunjukkan bahwa *PopSize* sebesar 70 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang relatif tinggi dibandingkan nilai *fitness* pada variasi *PopSize* lainnya. Nilai tersebut menunjukkan bahwa ukuran populasi yang proporsional mampu menjaga keberagaman individu selama proses evolusi. Kondisi ini berperan dalam mencegah terjadinya konvergensi dini tanpa meningkatkan beban komputasi. Dengan demikian, *PopSize* sebesar 70 dinilai sesuai untuk mendukung kinerja optimasi pembentukan kelompok KKM.

Hasil pengujian parameter *Generation* menunjukkan bahwa jumlah iterasi berpengaruh terhadap kemampuan GA dalam menjelajahi ruang solusi. Peningkatan jumlah iterasi memberikan kesempatan yang lebih besar bagi algoritma untuk memperbaiki kualitas kromosom pada setiap generasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa nilai *Generation* sebesar 400 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang relatif tinggi dibandingkan variasi jumlah iterasi lainnya. Peningkatan jumlah iterasi di atas nilai tersebut tidak menunjukkan peningkatan kualitas solusi yang sebanding. Oleh karena itu, nilai *Generation* sebesar 400 dinilai sesuai untuk mencapai keseimbangan antara kualitas solusi dan efisiensi proses.

Hasil pengujian kombinasi parameter Cr dan Mr menunjukkan bahwa keseimbangan kedua parameter tersebut berpengaruh terhadap kualitas evolusi solusi yang dihasilkan oleh GA. Kombinasi nilai Cr sebesar 0,5 dan Mr sebesar 0,5 menghasilkan nilai *fitness* pada rentang yang relatif lebih baik dibandingkan dengan

kombinasi parameter lainnya. Nilai tersebut menunjukkan bahwa proses pertukaran gen antar kromosom dan proses mutasi berlangsung secara seimbang selama evolusi populasi. Kombinasi Cr yang terlalu besar menyebabkan struktur kromosom cepat menyerupai solusi tertentu, sedangkan nilai Mr yang terlalu besar menyebabkan perubahan genetik yang berlebihan. Kondisi tersebut berpotensi menurunkan konsistensi kualitas solusi yang dihasilkan. Oleh karena itu, keseimbangan nilai Cr dan Mr pada rasio 0,5:0,5 dinilai sesuai untuk menjaga kinerja algoritma secara berkelanjutan.

Gambar 4.7 menyajikan perbandingan tingkat ketercapaian kriteria LP2M antara data penelitian dan data hasil pengelompokan sistem berbasis GA. Grafik digunakan untuk menggambarkan perbedaan capaian setiap kriteria setelah penerapan metode optimasi. Penyajian grafik bertujuan untuk memberikan gambaran visual terhadap efektivitas sistem dalam meningkatkan kualitas pembentukan kelompok KKM. Melalui perbandingan tersebut, tingkat pemenuhan kriteria LP2M ditampilkan secara visual untuk mendukung analisis hasil pengujian.



Gambar 4.7 Grafik Perbandingan Tercapainya Kriteria LP2M

Hasil perbandingan pada Gambar 4.7 menunjukkan bahwa data hasil sistem memiliki tingkat ketercapaian kriteria yang lebih tinggi dibandingkan data penelitian. Peningkatan capaian terlihat pada sebagian besar kriteria, khususnya pada kriteria C1, C3, dan C4. Selain itu, jumlah kelompok yang memenuhi seluruh kriteria LP2M juga mengalami peningkatan pada data hasil sistem. Kondisi ini menunjukkan bahwa penerapan GA mampu memperbaiki pemerataan komposisi kelompok secara lebih konsisten. Dengan demikian, grafik perbandingan tersebut memperkuat hasil pengujian bahwa sistem yang dikembangkan efektif dalam mendukung pembentukan kelompok KKM sesuai ketentuan LP2M.

Berdasarkan keseluruhan hasil pengujian parameter, penelitian ini memperoleh konfigurasi GA yang dinilai paling sesuai untuk proses pembentukan kelompok KKM. Konfigurasi tersebut terdiri atas *PopSize* sebesar 70, *Generation* sebanyak 400, Cr sebesar 0,5, Mr sebesar 0,5, kriteria penghentian sebesar 1,0, serta jumlah kelompok sebanyak 190. Penerapan konfigurasi ini menghasilkan nilai *fitness* sebesar 0,983684211 pada proses optimasi. Nilai tersebut menunjukkan tingkat kesesuaian yang tinggi antara hasil pembentukan kelompok sistem dan kriteria LP2M yang telah ditetapkan. Kondisi ini mengindikasikan bahwa GA mampu menghasilkan solusi pembagian kelompok secara objektif dan terukur. Dengan demikian, konfigurasi parameter yang diperoleh dapat mendukung implementasi sistem pembentukan kelompok KKM secara optimal.

Prinsip *Muamalah Mu'allah* pada penelitian ini terdapat pada hubungan manusia dengan Allah SWT yang menuntut ketaatan, kejujuran, dan keselarasan

antara niat, ucapan, serta perbuatan. Prinsip ini sejalan dengan firman Allah SWT dalam QS. As-Saff 61: 2-3, yang berbunyi:

اَيُّهَا الَّذِيْنَ اٰمَنُوْا لِمَ تَقُوْلُوْنَ مَا لَا تَفْعَلُوْنَ ۝٢ كَبُرَ مَقْتًا عِنْدَ اللّٰهِ اَنْ تَقُوْلُوْا مَا لَا تَفْعَلُوْنَ ۝٣

"Wahai orang-orang yang beriman, mengapa kamu mengatakan sesuatu yang tidak kamu kerjakan? Sangat besarlah kemurkaan di sisi Allah bahwa kamu mengatakan apa yang tidak kamu kerjakan." (QS. As-Saff 61: 2-3).

Ayat tersebut menegaskan pentingnya kejujuran dan kesesuaian antara perkataan dan perbuatan. Dalam konteks penelitian ini, makna ayat tercermin melalui hasil pengujian aplikasi yang menunjukkan tingkat validasi 100%. Setiap fungsi sistem bekerja sesuai dengan rancangan dan kebutuhan pengguna sebagaimana yang telah dijabarkan pada tahap perancangan. Kesesuaian antara rancangan dan hasil implementasi mencerminkan nilai amanah, kejujuran, dan profesionalitas dalam proses pengembangan perangkat lunak. Dengan demikian, keberhasilan teknis yang ditunjukkan sistem tidak hanya menggambarkan aspek rekayasa yang baik, tetapi juga menjadi wujud penerapan prinsip *Muamalah Mu'allah*, yaitu menjalankan pekerjaan dengan integritas sebagai bentuk ketaatan kepada Allah SWT.

Penelitian ini dapat ditinjau melalui perspektif *Muamalah Ma'annas*, yaitu hubungan dan interaksi antarsesama manusia dalam konteks sosial. Prinsip tersebut sejalan dengan firman Allah SWT dalam QS. Al-Hujurāt 49: 13, yang berbunyi:

يٰٓاَيُّهَا النَّاسُ اِنَّا خَلَقْنٰكُمْ مِّنْ ذَكَرٍ وَّاُنْثٰى وَجَعَلْنٰكُمْ شُعُوْبًا وَّقَبَاۤىِٕلَ لِتَعَارَفُوْٓا اِنَّ اَكْرَمَكُمْ عِنْدَ اللّٰهِ اَتْقٰىكُمْ ۗاِنَّ اللّٰهَ عَلِيْمٌ خَبِيْرٌ ۝١٣

"Wahai manusia, sesungguhnya Kami telah menciptakan kamu dari seorang laki-laki dan perempuan. Kemudian, Kami menjadikan kamu berbangsa-bangsa dan bersuku-suku agar kamu saling mengenal. Sesungguhnya yang paling mulia di antara kamu di sisi Allah adalah orang yang paling bertakwa. Sesungguhnya Allah Maha Mengetahui lagi Maha Teliti." (QS. Al-Hujurāt 49: 13).

Ayat tersebut menegaskan pentingnya hubungan sosial yang sehat, harmonis, dan saling menghargai perbedaan. Dalam konteks penelitian ini, nilai tersebut tercermin melalui keberhasilan sistem dalam membentuk kelompok KKM secara merata berdasarkan perbedaan jurusan, jenis kelamin, dan keanggotaan HTQ. Mekanisme optimasi memastikan bahwa setiap peserta ditempatkan dalam kelompok yang beragam tetapi tetap proporsional, sehingga interaksi sosial dapat berjalan seimbang. Prinsip *ta'āruf* (saling mengenal) dan *ta'āwun* (saling membantu) dapat terwujud ketika distribusi anggota tidak timpang. Dengan demikian, proses pembentukan kelompok melalui pendekatan ilmiah ini mencerminkan implementasi nilai *Muamalah Ma'annas* dalam menciptakan lingkungan sosial yang inklusif bagi kolaborasi antar mahasiswa.

Konsep *Muamalah Ma'al-'Alam* menekankan hubungan manusia dengan alam semesta, termasuk bagaimana manusia diperintahkan untuk menjaga keseimbangan, keteraturan, dan ketelitian sebagaimana Allah SWT menciptakan alam dengan ukuran yang tepat. Prinsip ini selaras dengan firman Allah SWT dalam QS. Ar-Rahman 55: 7-9:

وَالسَّمَآءَ رَفَعَهَا وَوَضَعَ الْمِيْزَانَۙ ﴿٧﴾ اَلَّا تَطْغَوْا فِى الْمِيْزَانِ ﴿٨﴾ وَاَقِيْمُوا الْوَزْنَ بِالْقِسْطِ وَلَا تُخْسِرُوا الْمِيْزَانَ ﴿٩﴾

"Tetumbuhan dan pepohonan tunduk (kepada-Nya). Langit telah Dia tinggikan dan Dia telah menciptakan timbangan (keadilan dan keseimbangan) agar kamu tidak melampaui batas dalam timbangan itu." (QS. Ar-Rahman 55: 7-9).

Ayat ini menegaskan bahwa seluruh ciptaan Allah SWT memiliki struktur yang terukur dan seimbang, sehingga manusia diperintahkan untuk menjaga keteraturan tersebut dalam setiap aktivitasnya. Nilai keseimbangan ini tercermin pada kesimpulan pengujian GA, di mana konfigurasi parameter terbaik menghasilkan nilai *fitness* sebesar 0,983684211. Konfigurasi tersebut menunjukkan bahwa algoritma bekerja optimal ketika seluruh parameternya berada pada titik keseimbangan, yakni tidak berlebihan dalam eksplorasi maupun eksploitasi. Hal tersebut menggambarkan bahwa prinsip keseimbangan yang diajarkan dalam Al-Qur'an dapat terimplementasi dalam konteks optimasi komputasi, di mana akurasi, proporsionalitas, dan efisiensi menjadi dasar untuk menghasilkan solusi terbaik.

Berdasarkan keseluruhan hasil pembahasan, penelitian ini menunjukkan bahwa penerapan GA mampu mendukung proses pembentukan kelompok KKM secara efektif dan terukur. Sistem yang dikembangkan berhasil menjalankan fungsi aplikasi sesuai kebutuhan pengguna serta menghasilkan pembagian kelompok yang memenuhi kriteria LP2M. Konfigurasi parameter optimal yang diperoleh mampu menghasilkan nilai *fitness* yang merepresentasikan tingkat kesesuaian hasil pengelompokan dengan kriteria yang ditetapkan. Dengan demikian, sistem pembentukan kelompok KKM berbasis GA dapat dijadikan sebagai solusi alternatif yang objektif dalam mendukung pengambilan keputusan pembagian kelompok.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini bertujuan untuk menerapkan dan mengevaluasi GA dalam pengembangan aplikasi *web* penentuan kelompok KKM Reguler di UIN Malang. Kesimpulan disusun berdasarkan hasil implementasi sistem dan pengujian parameter GA untuk menilai efektivitas penerapan metode terhadap kriteria pengelompokan LP2M. Adapun poin-poin kesimpulan yang diperoleh dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. Penerapan GA dalam aplikasi *web* berhasil menghasilkan sistem yang berfungsi sesuai kebutuhan pengguna. Aplikasi mampu melakukan autentikasi pengguna, pengelolaan data mahasiswa, serta pembentukan kelompok secara otomatis. Hasil pengujian *Black Box Testing* menunjukkan tingkat validasi 100% dari 12 skenario uji, sehingga sistem dinyatakan berjalan sesuai spesifikasi dan efektif mendukung proses pembentukan kelompok KKM.
2. Evaluasi terhadap parameter GA menunjukkan bahwa kombinasi parameter terbaik terdiri atas *PopSize* sebesar 70, *Generation* sebanyak 400, Cr sebesar 0,5, Mr sebesar 0,5, kriteria penghentian 1,0, dan jumlah kelompok 190. Konfigurasi tersebut menghasilkan nilai *fitness* sebesar 0,983684211, yang menunjukkan bahwa GA mampu membentuk kelompok KKM secara optimal dan sesuai kriteria LP2M.

5.2 Saran

Penelitian ini telah menghasilkan sistem pembentukan kelompok KKM berbasis GA yang mampu beroperasi secara efektif dan menghasilkan *output* sesuai dengan kriteria LP2M. Agar penelitian dan penerapan sistem ini dapat memberikan manfaat yang lebih luas, beberapa saran pengembangan dapat dipertimbangkan sebagai berikut:

1. Metode optimasi dapat dikembangkan dengan pendekatan hibrida antara GA dan algoritma lain seperti PSO atau SA, dengan tujuan mengurangi kebutuhan sumber daya komputasi dan mempercepat proses pencarian solusi, sekaligus tetap mempertahankan kualitas hasil pembentukan kelompok KKM.
2. Penelitian selanjutnya dapat menambahkan pembahasan evaluasi hasil pembentukan kelompok agar LP2M dapat menilai tingkat kesesuaian hasil pengelompokan dengan kondisi di lapangan, sehingga sistem dapat terus disempurnakan berdasarkan umpan balik pengguna.

DAFTAR PUSTAKA

Almufti, S. M., Ahmad Shaban, A., Arif Ali, Z., Ismael Ali, R., & A. Dela Fuente, J. (2023). Overview of Metaheuristic Algorithms. *Polaris Global Journal of Scholarly Research and Trends*, *2*(2), 10–32. https://doi.org/10.58429/pgjsrt.v2n2a144

Andriyadi, A., Halimah, Yuliawati, D., & Saleh, S. (2022). Penerapan Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Sidang dan Seminar IIB Darmajaya. *Seminar Nasional Hasil Penelitian dan Pengabdian Masyarakat 2022*.

Anshari, N., Subairi, Hafizh, M. A., Putri, E. R., & Sihananto, A. N. (2024). Metode Simulated Annealing untuk Optimasi Biaya Operasional Penerbangan. *Seminar Nasional Informatika Bela Negara (SANTIKA)*, *4*.

Ayuardini, M., Yulistiana, Kameswari, D., & Damayanti, Z. A. (2024). Implementasi Black Box Testing pada Media Pembelajaran Berbasis Google Sites. *STRING (Satuan Tulisan Riset dan Inovasi Teknologi)*, *9*(1), 30. https://doi.org/10.30998/string.v9i1.20674

Danzinger, P., Geibinger, T., Mischek, F., & Musliu, N. (2020). Solving the Test Laboratory Scheduling Problem with Variable Task Grouping. *Proceedings of the International Conference on Automated Planning and Scheduling*, *30*, 357–365. https://doi.org/10.1609/icaps.v30i1.6681

Forrest, S. (1996). Genetic Algorithms. *ACM Computing Surveys*, *28*(1), 77–80.

Hardika, B., Kurniawan, M. D., Adzka, M., Prastowiyono, D., Banyubasa, A., Wicaksono, A., & Nasir, M. (2024). Pengujian Blackbox Testing Website Garuda Farm Menggunakan Teknik Equivalence Partitioning. *JURNAL KRIDATAMA SAINS DAN TEKNOLOGI*, *6*(02), 740–753. https://doi.org/10.53863/kst.v6i02.1420

Ismaredah, E., & Radiles, H. (2023). Mitigasi Premature Convergence Pada Genetic Algorithm Menggunakan Metoda Dynamics Growth Population Dalam Kasus University Course Scheduling. *JEKIN - Jurnal Teknik Informatika*, *3*(1), 33–44. https://doi.org/10.58794/jekin.v3i1.486

Kurniadi, D., Hidayat, H., Anwar, M., Budayawan, K., Syaifar, A. L., Zulhendra, Efrizon, & Safitri, R. (2023). Genetic Algorithms for Optimizing Grouping of Students Classmates in Engineering Education. *International Journal of Information and Education Technology*, *13*(12), 1907–1916. https://doi.org/10.18178/ijiet.2023.13.12.2004

LP2M UIN Malang. (2024). *Buku Pedoman KKM Tahun 2024/2025*. Universitas Islam Negeri Maulana Malik Ibrahim Malang.

Mahmudy, W. F., Sarwani, M. Z., Rahmi, A., & Widodo, A. W. (2021). Optimization of Multi-Stage Distribution Process Using Improved Genetic Algorithm. *International Journal of Intelligent Engineering and Systems*, *14*(2), 211–219. https://doi.org/10.22266/ijies2021.0430.19

Mufliq, A., Alhaq, A. K., & Nugroho, R. A. (2024). Optimasi Rute Distribusi Bantuan Sosial di Kabupaten Pacitan Menggunakan Algoritma Particle Swarm Optimization. *ILKOMNIKA*, *6*(3), 252–259. https://doi.org/10.28926/ilkomnika.v6i3.660

Muhyidin, S. (2019). *Konsep Keadilan dalam Alquran*. *11*(1), 89–108.

Myers, G. J., Sandler, C., & Badgett., T. (2011). *The Art of Software Testing*. John Wiley & Sons, Inc., Hoboken, New Jersey.

Nufus, S. A., & Sutarman, S. (2022). Penaksiran Parameter Distribusi Weibull Menggunakan Algoritma Genetika dan Particle Swarm Optimization. *FARABI: Jurnal Matematika dan Pendidikan Matematika*, *5*(2), 128–137. https://doi.org/10.47662/farabi.v5i2.401

Patrick, K., & Fawei, B. (2020). *Meta-Heuristic Solutions to a Student Grouping Optimization Problem faced in Higher Education Institutions* (No. arXiv:2010.00499). arXiv. https://doi.org/10.48550/arXiv.2010.00499

Priandani, N. D., & Mahmudy, W. F. (2015). OPTIMASI TRAVELLING SALESMAN PROBLEM WITH TIME WINDOWS (TSP-TW) PADA PENJADWALAN PAKET RUTE WISATA DI PULAU BALI MENGGUNAKAN ALGORITMA GENETIKA. *Seminar Nasional Sistem Informasi Indonesia*.

Puspitasari, P., & Pakereng, M. A. I. (2023). *Implementasi Algoritma Genetika Untuk Penjadwalan Sekolah (Studi Kasus: SMP Negeri 2 Wonosegoro)*. *7*(1). https://tunasbangsa.ac.id/ejurnal/index.php/jsakti

Ramadhania, S. E., & Rani, S. (2021). Implementasi Kombinasi Algoritma Genetika dan Tabu Search untuk Penyelesaian Travelling Salesman Problem. *AUTOMATA*, *2*(1).

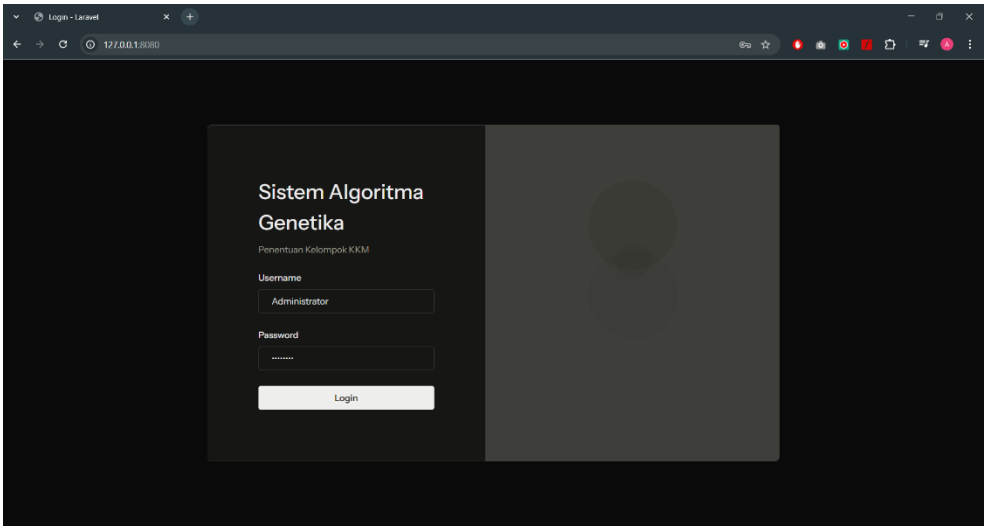
Ramos-Figueroa, O., Quiroz-Castellanos, M., Mezura-Montes, E., & Schütze, O. (2020). Metaheuristics to solve grouping problems: A review and a case study. *Swarm and Evolutionary Computation*, *53*, 1–21. https://doi.org/10.1016/j.swevo.2019.100643

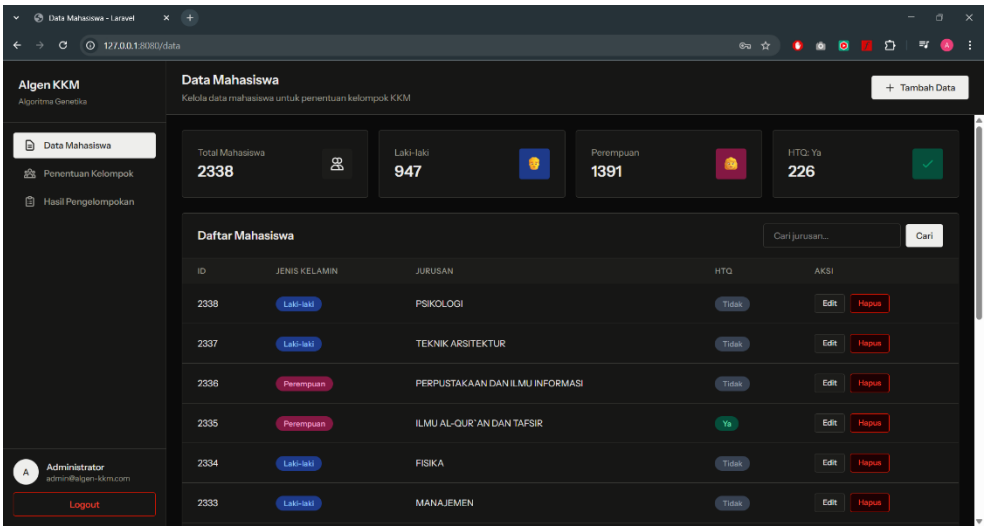
Rohmad, A. N., & Akbar, M. (2024). Penerapan Algoritma Genetika Dalam Pengelompokan Mahasiswa KKN (Studi Kasus: KKN Angkatan XLII Universitas Mercu Buana Yogyakarta). *JIKO (Jurnal Informatika dan Komputer)*, *8*(1), 50. https://doi.org/10.26798/jiko.v8i1.1073

Syahputra, R. F. & Yahfizham. (2023). Menganalisis Konsep Dasar Algoritma Genetika. *Bhinneka: Jurnal Bintang Pendidikan dan Bahasa*, *2*(1), 120–132. https://doi.org/10.59024/bhinneka.v2i1.643

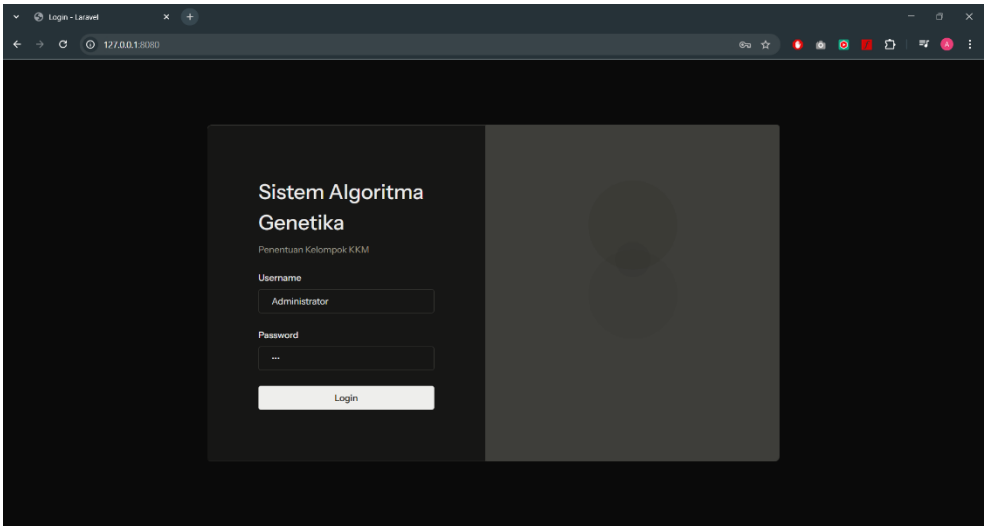
LAMPIRAN

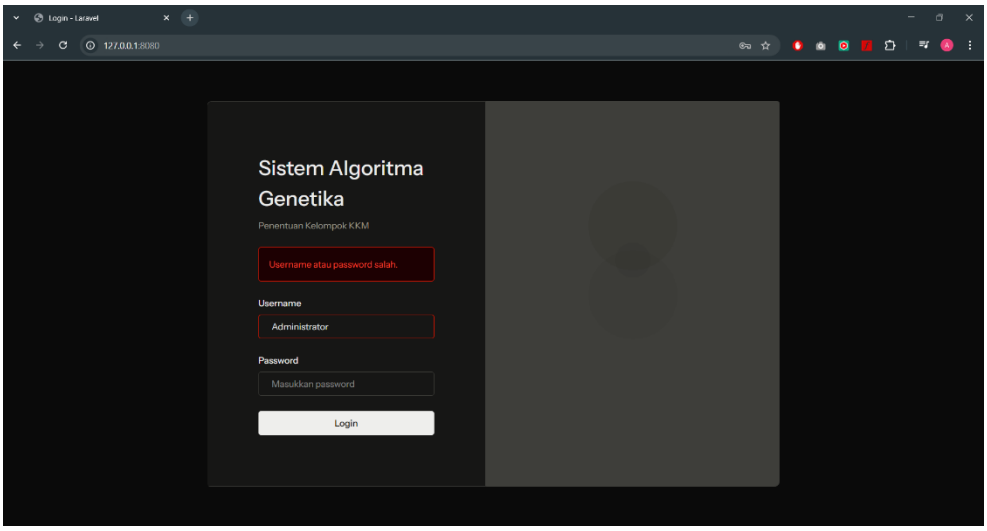
Lampiran 1. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP01



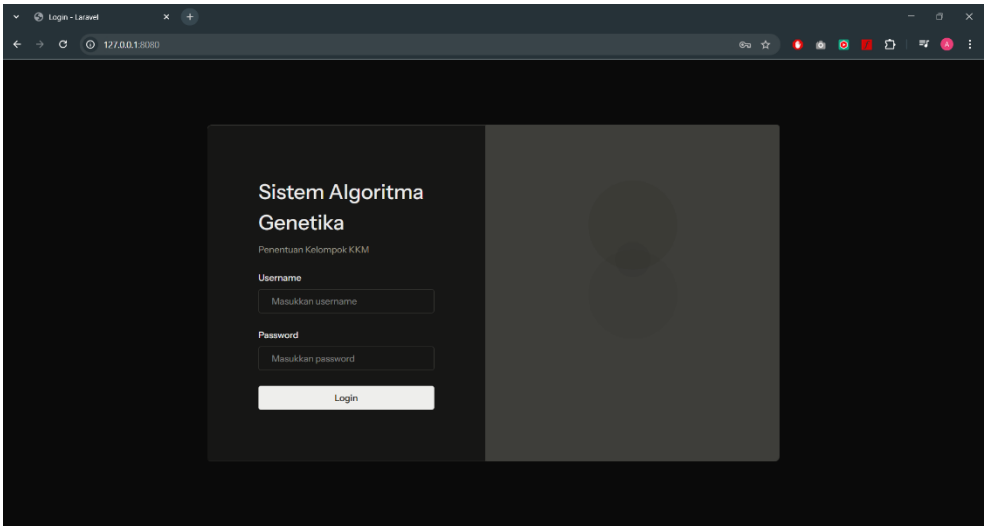


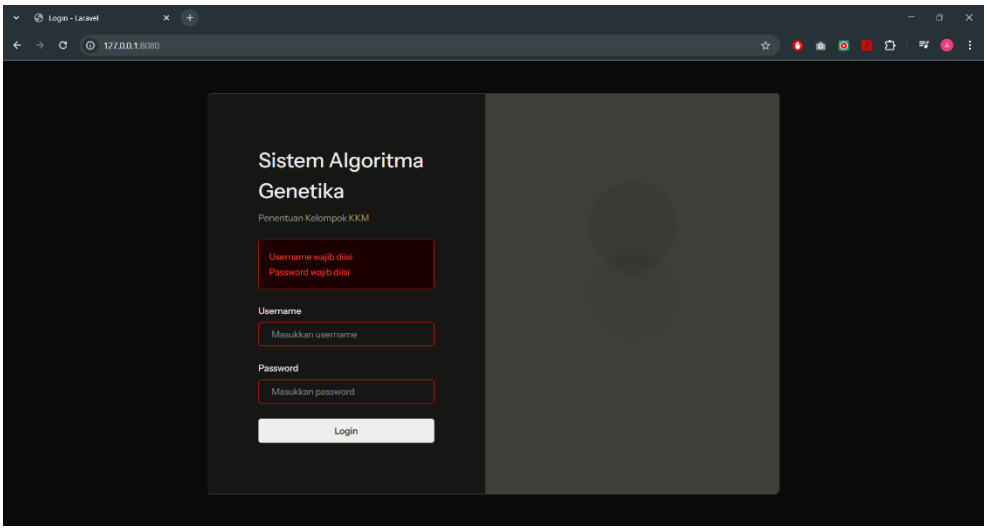
Lampiran 2. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP02



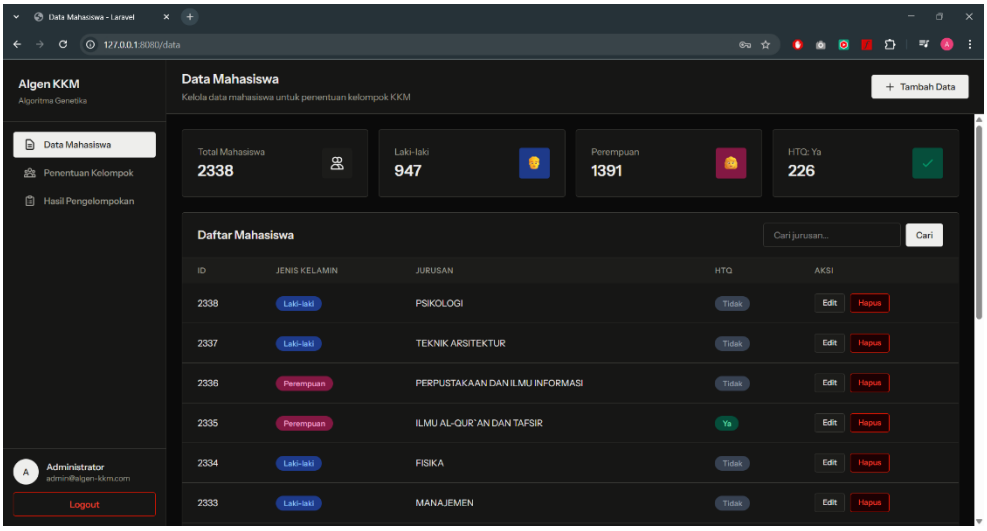


Lampiran 3. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP03

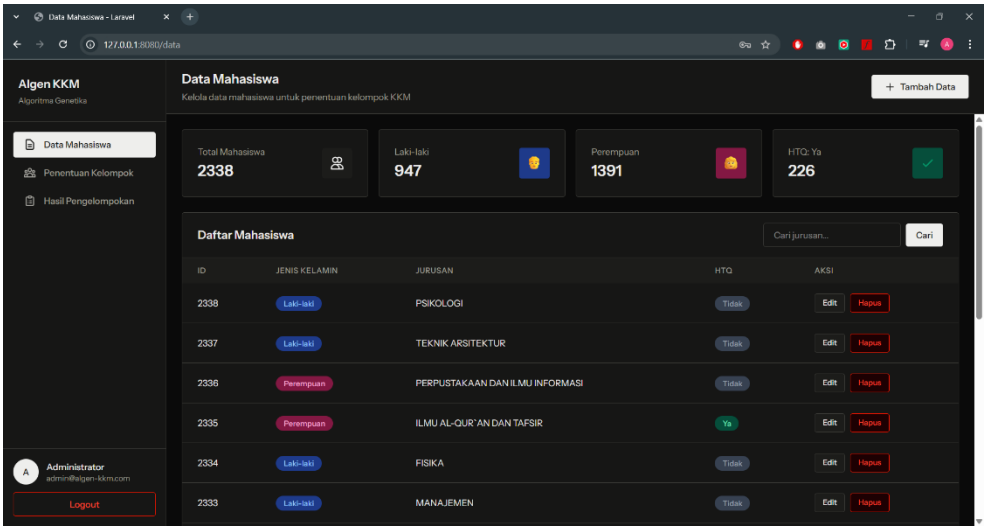


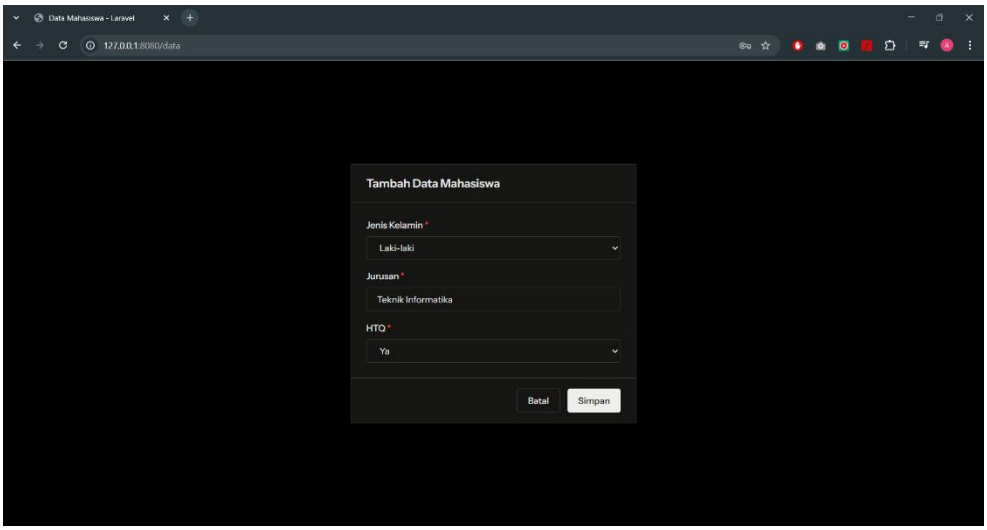


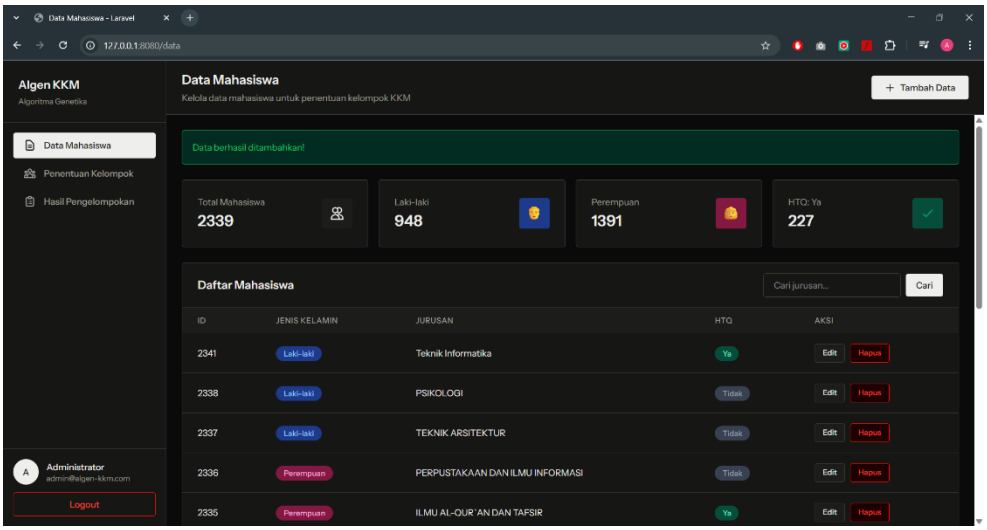
Lampiran 4. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP04



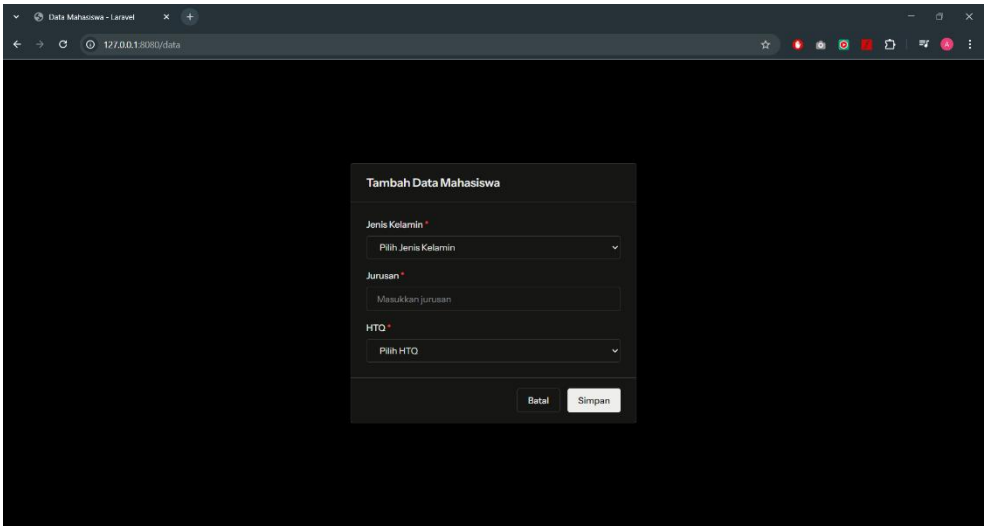
Lampiran 5. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP05

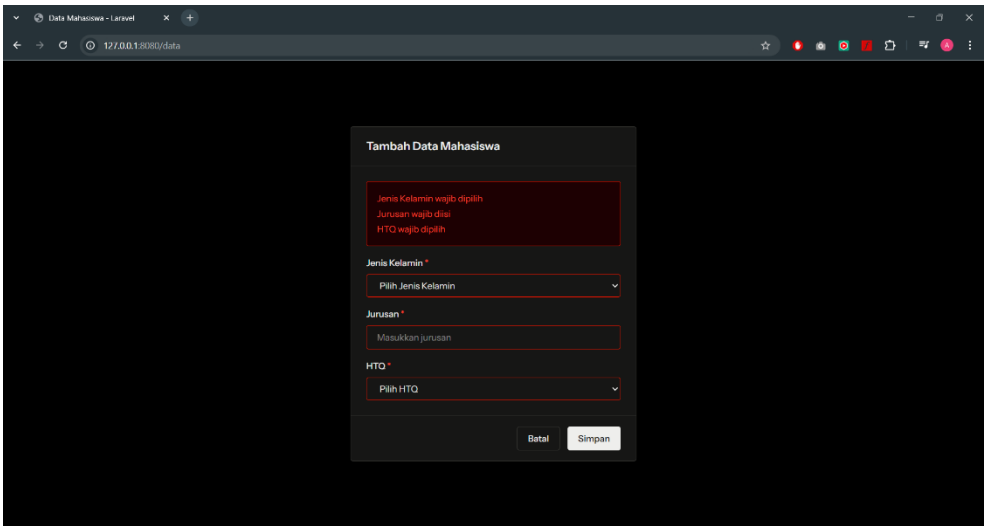




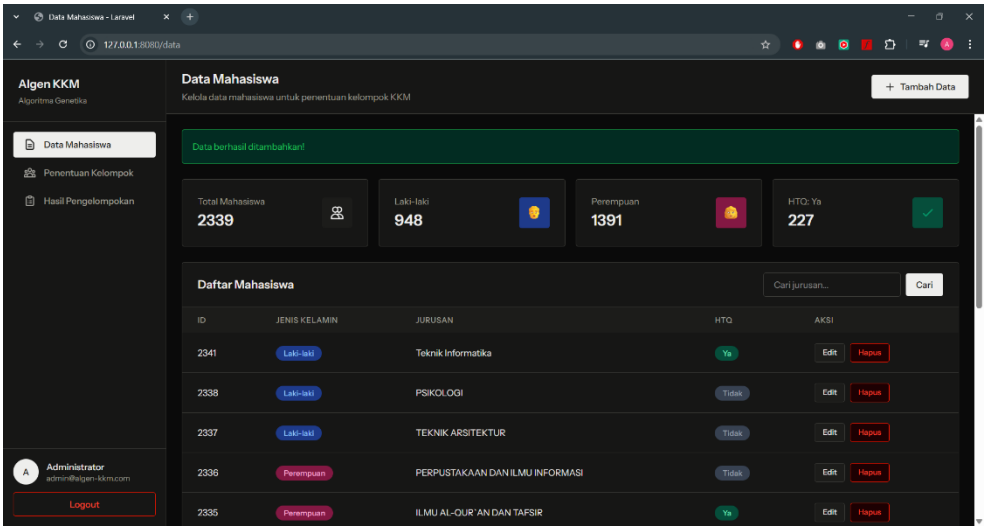


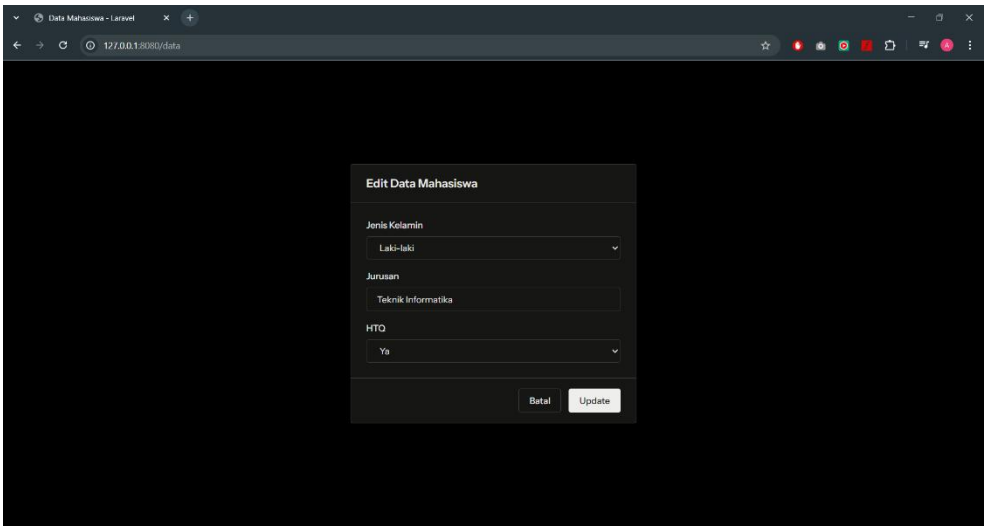
Lampiran 6. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP06

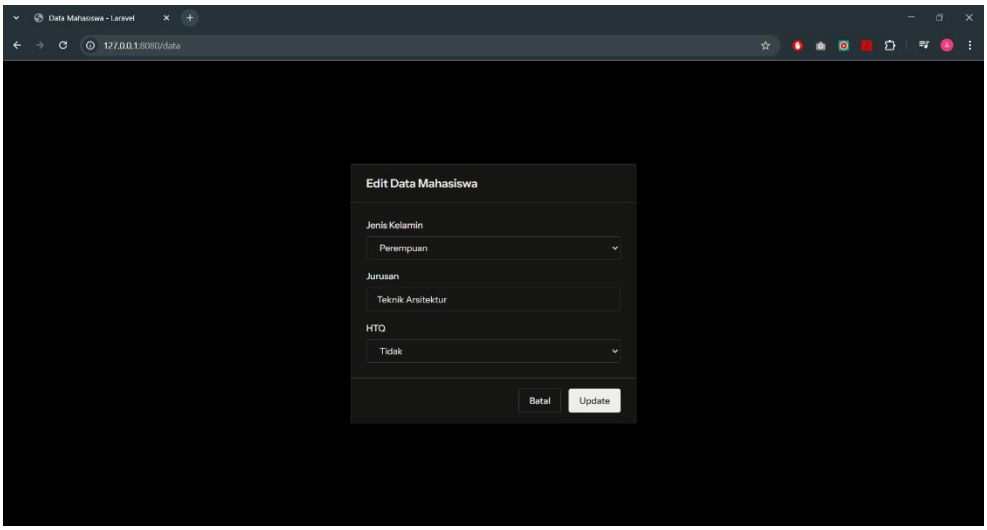


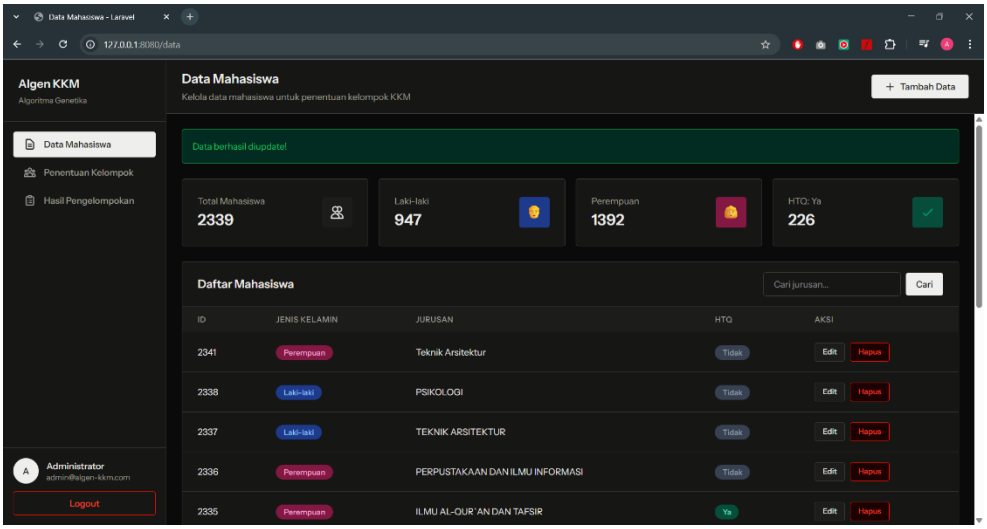


Lampiran 7. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP07

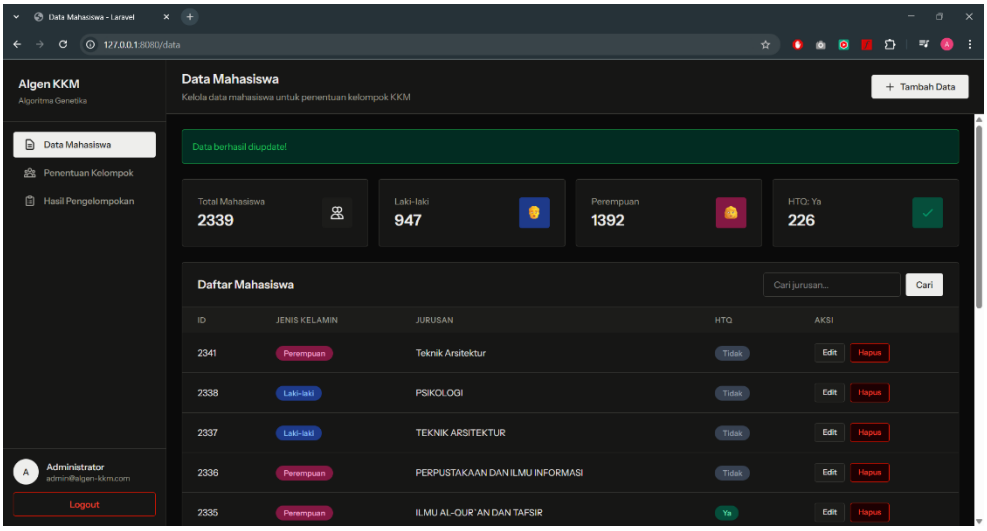


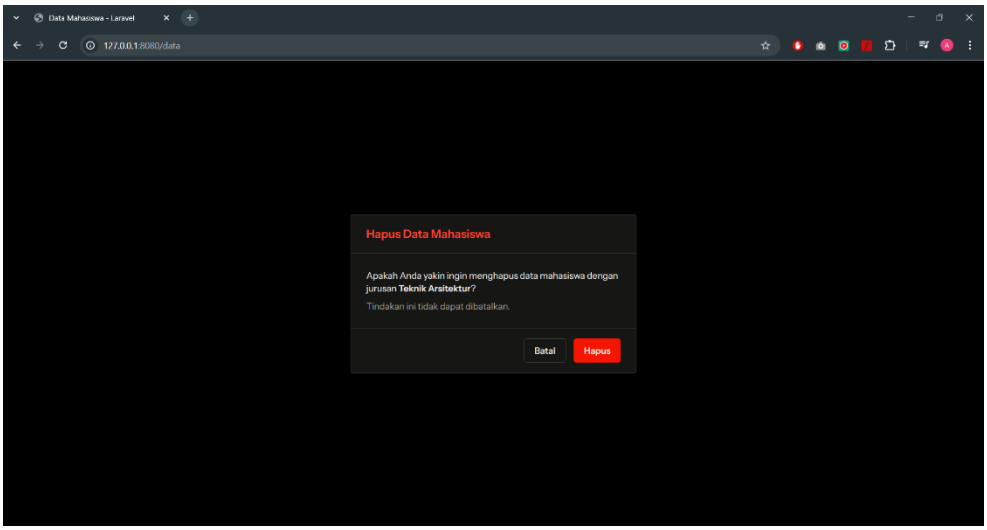


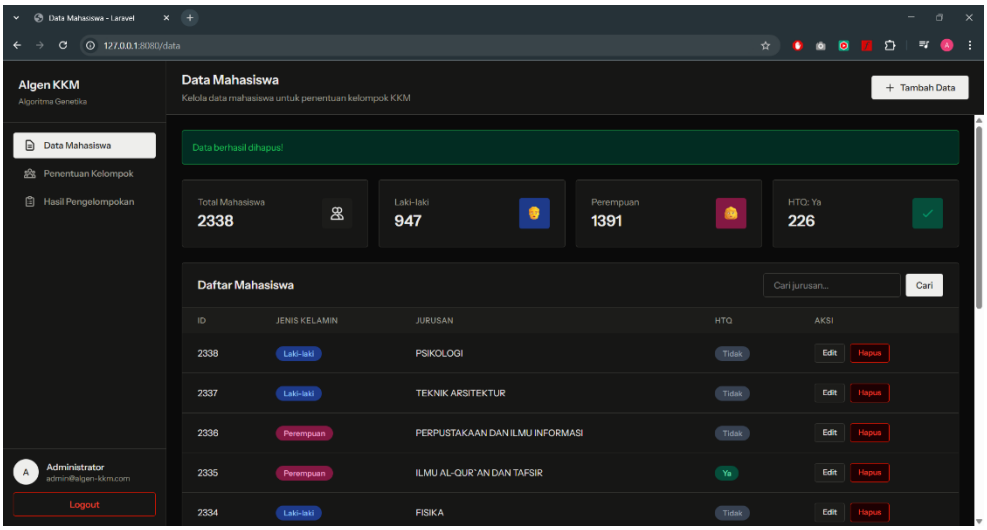



Data Mahasiswa - Laravel
127.0.0.1:8080/data
Algen KKM
Algoritma Genetika
Data Mahasiswa
Penentuan Kelompok
Hasil Pengelompokan
Administrator
admin@algen-kkm.com
Logout
Data Mahasiswa
Kelola data mahasiswa untuk penentuan kelompok KKM
+ Tambah Data
Data berhasil diupdate!
Total Mahasiswa
2339
Laki-laki
947
Perempuan
1392
HTQ: Ya
226
Daftar Mahasiswa
Cari jurusan...
Cari
ID
JENIS KELAMIN
JURUSAN
HTQ
AKSI
2341
Perempuan
Teknik Arsitektur
Tidak
Edit
Hapus
2338
Laki-laki
PSIKOLOGI
Tidak
Edit
Hapus
2337
Laki-laki
TEKNIK ARSITEKTUR
Tidak
Edit
Hapus
2336
Perempuan
PERPUSTAKAAN DAN ILMU INFORMASI
Tidak
Edit
Hapus
2335
Perempuan
ILMU AL-QUR`AN DAN TAFSIR
Ya
Edit
Hapus

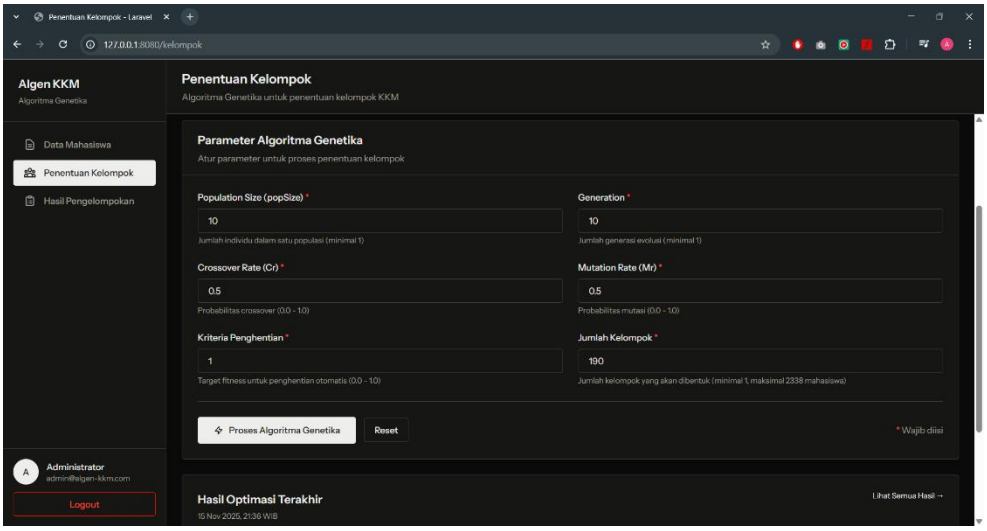
Lampiran 8. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP08

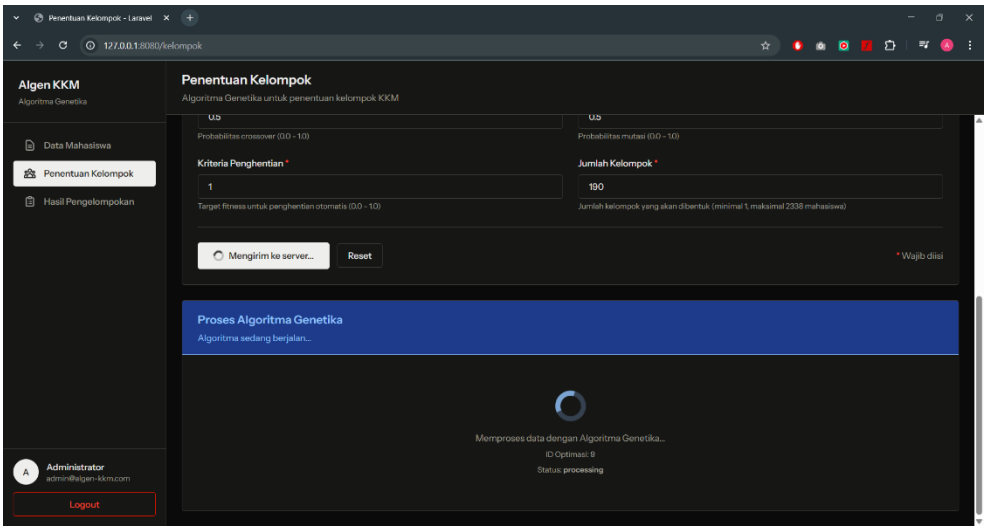


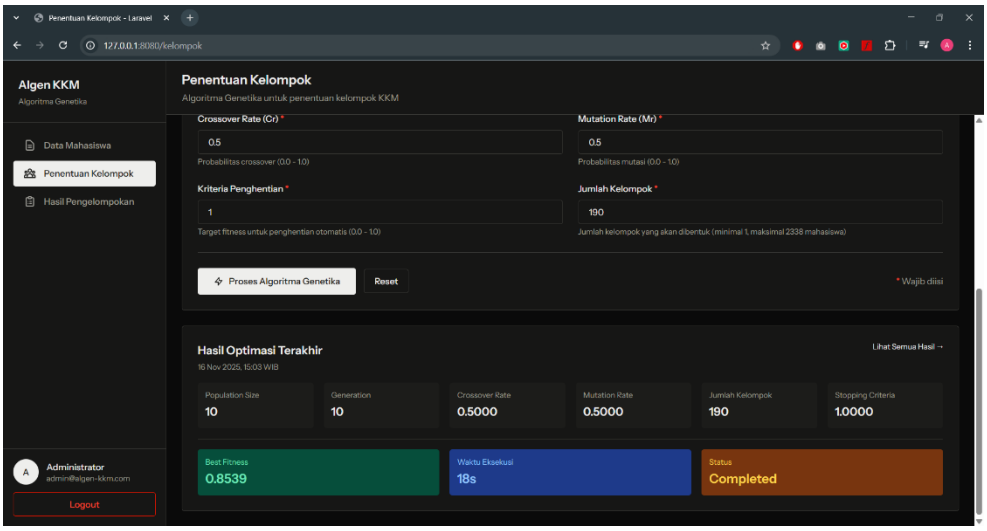


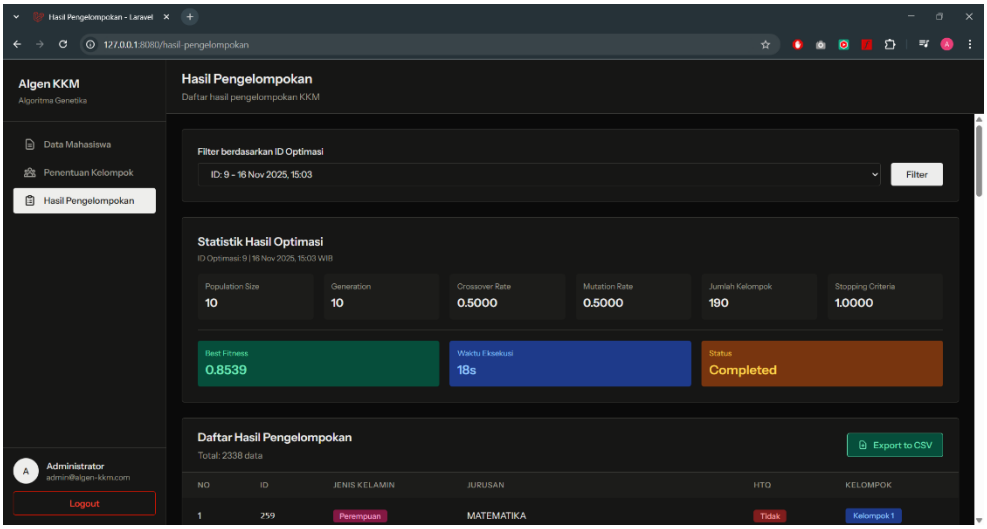


Lampiran 9. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP09

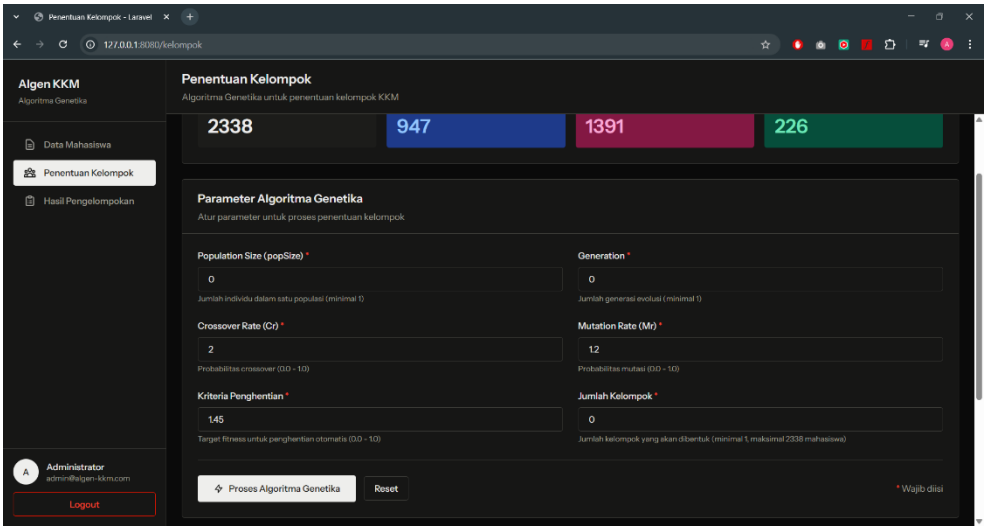


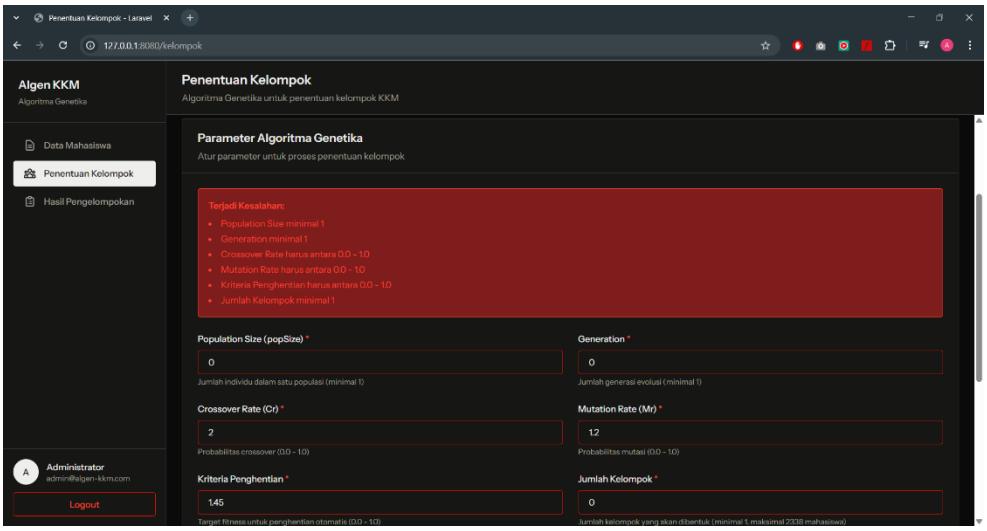




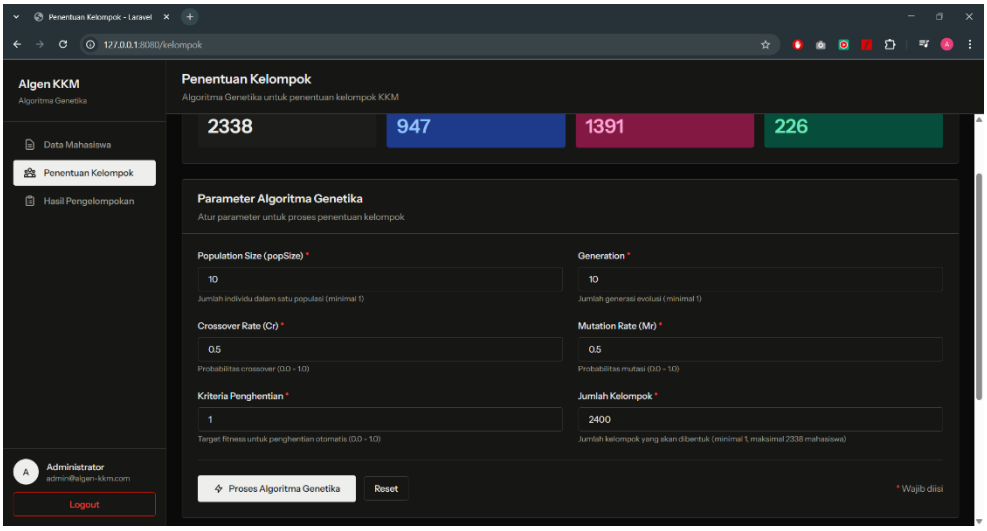

Hasil Pengelompokan - Laravel
127.0.0.1:8080/hasil-pengelompokan
Algen KKM
Algoritma Genetika
Data Mahasiswa
Penentuan Kelompok
Hasil Pengelompokan
Administrator
admin@algen-kkm.com
Logout
Hasil Pengelompokan
Daftar hasil pengelompokan KKM
Filter berdasarkan ID Optimasi
ID: 9 - 16 Nov 2025, 15:03
Filter
Statistik Hasil Optimasi
ID Optimasi: 9 | 16 Nov 2025, 15:03 WIB
Population Size
10
Generation
10
Crossover Rate
0.5000
Mutation Rate
0.5000
Jumlah Kelompok
190
Stopping Criteria
1.0000
Best Fitness
0.8539
Waktu Eksekusi
18s
Status
Completed
Daftar Hasil Pengelompokan
Total: 2338 data
Export to CSV
NO
ID
JENIS KELAMIN
JURUSAN
HTQ
KELOMPOK
1
259
Perempuan
MATEMATIKA
Tidak
Kelompok 1

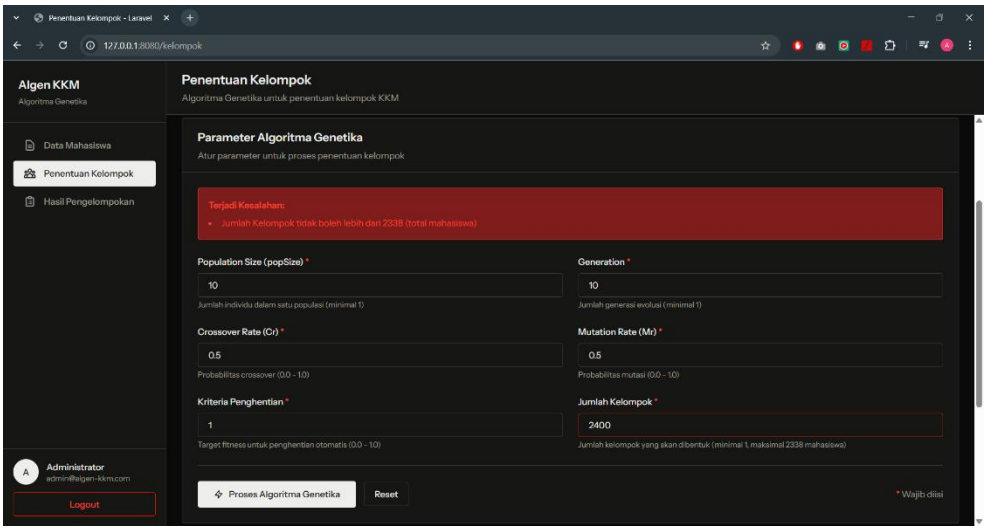
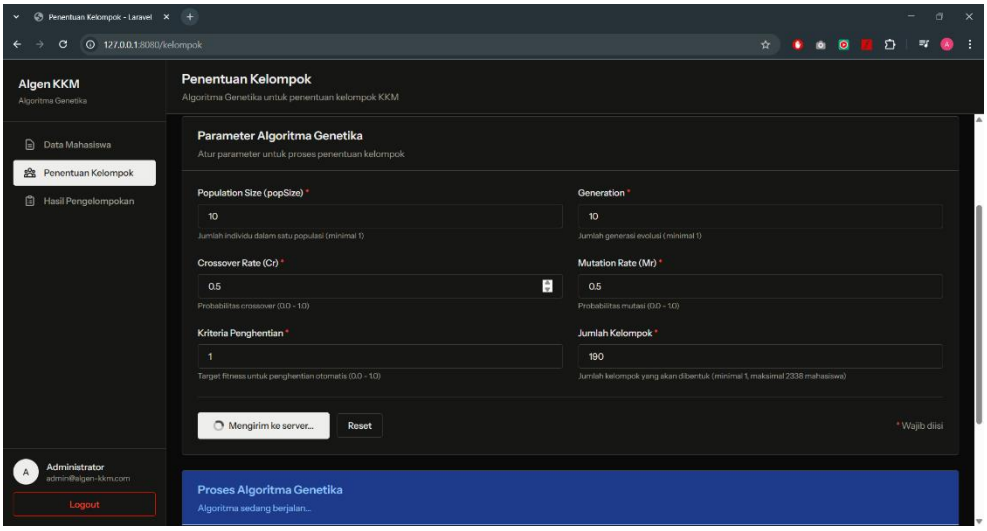
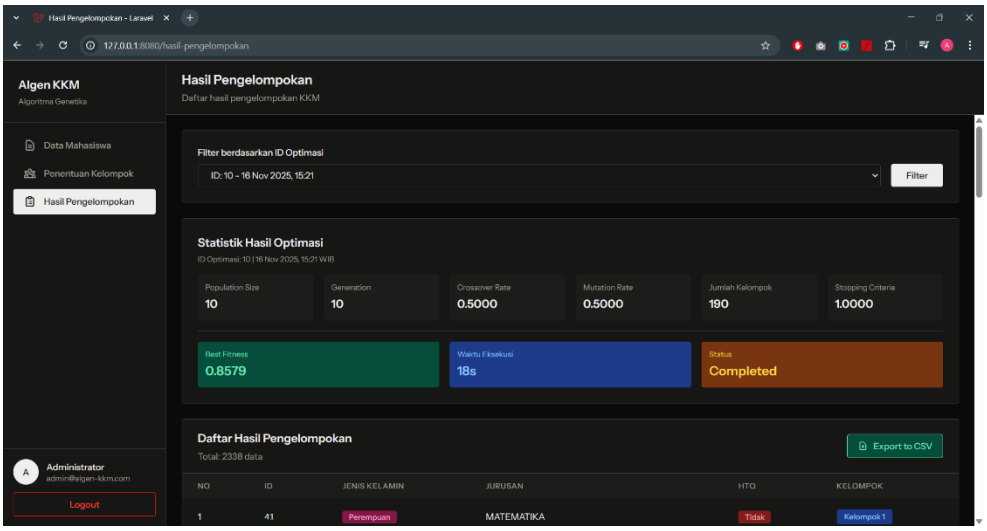
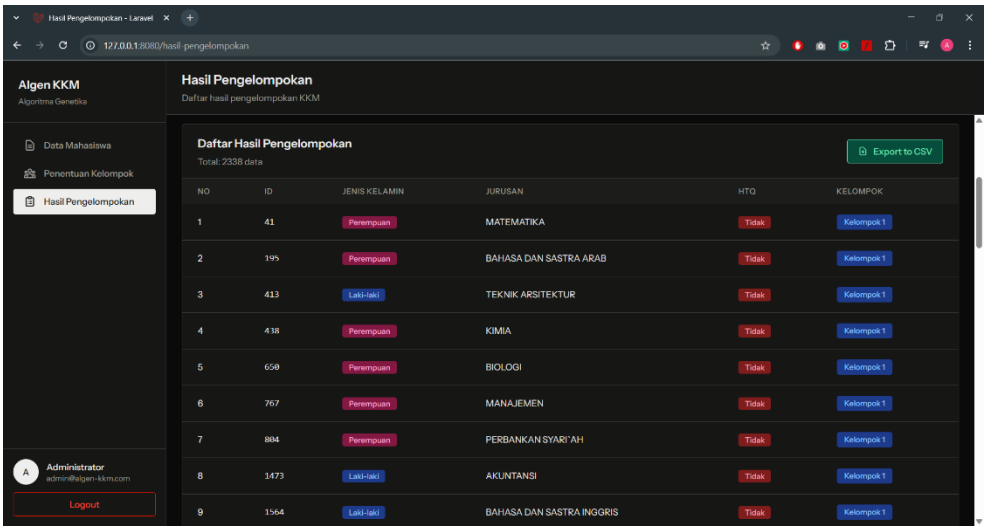
Lampiran 10. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP10





Lampiran 11. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP11





Lampiran 12. Dokumentasi Hasil Pengujian Aplikasi SAP12