PENGEMBANGAN SISTEM ANALISIS PERFORMA LARI DAN ADAPTASI LATIHAN BERBASIS RULE-BASED DAN GENERATIVE AI



Disusun Oleh:

N a m a : Fath Yusava Arden

NIM : 22523173

PROGRAM STUDI INFORMATIKA – PROGRAM SARJANA

FAKULTAS TEKNOLOGI INDUSTRI

UNIVERSITAS ISLAM INDONESIA

2026

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING

PENGEMBANGAN SISTEM ANALISIS PERFORMA LARI DAN ADAPTASI LATIHAN BERBASIS RULE-BASED DAN GENERATIVE AI

TUGAS AKHIR

Disusun Oleh:

N a m a : Fath Yusava Arden
NIM : 22523173

Yogyakarta, 2 Juli 2026

Pembimbing,

(Mukhammad Andri Setiawan S.T., M.Sc., Ph.D)

HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI

PENGEMBANGAN SISTEM ANALISIS PERFORMA LARI DAN ADAPTASI LATIHAN BERBASIS RULE-BASED DAN GENERATIVE AI

TUGAS AKHIR

Telah dipertahankan di depan sidang penguji sebagai salah satu syarat untuk memperoleh gelar Sarjana Komputer dari Program Studi Informatika – Program Sarjana di Fakultas Teknologi Industri Universitas Islam Indonesia

Yogyakarta, 31 Agustus 2026

Tim Penguji

Mukhammad Andri Setiawan S.T., M.Sc., Ph.D

Anggota 1

Moh. Idris, S.Kom., M.Kom.

Anggota 2

Rahadian Kurniawan, S.Kom., M.Kom.

Mengetahui,

Ketua Program Studi Informatika – Program Sarjana

Fakultas Teknologi Industri

Universitas Islam Indonesia

(Ir. Dhomas Hatta Fudholi, S.T., M.Eng., Ph.D., IPM., ASEAN Eng.)

HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR

Yang bertanda tangan di bawah ini:

Nama : Fath Yusava Arden

NIM : 22523173

Tugas akhir dengan judul:

PENGEMBANGAN SISTEM ANALISIS PERFORMA LARI DAN ADAPTASI LATIHAN BERBASIS RULE-BASED DAN GENERATIVE AI

Menyatakan bahwa seluruh komponen dan isi dalam tugas akhir ini adalah hasil karya saya sendiri. Apabila di kemudian hari terbukti ada beberapa bagian dari karya ini adalah bukan hasil karya sendiri, tugas akhir yang diajukan sebagai hasil karya sendiri ini siap ditarik kembali dan siap menanggung risiko dan konsekuensi apapun.

Demikian surat pernyataan ini dibuat, semoga dapat dipergunakan sebagaimana mestinya.

Yogyakarta, 4 Agustus 2026



(Fath Yusava Arden)

HALAMAN PERSEMBAHAN

Segala puji dan rasa syukur penulis panjatkan kepada Allah Swt. atas segala rahmat, kekuatan, kesehatan, dan kesempatan yang diberikan sehingga tugas akhir ini dapat diselesaikan. Selawat serta salam senantiasa tercurah kepada Nabi Muhammad saw. sebagai teladan bagi umat manusia. Karya ini penulis persembahkan dengan sepenuh hati kepada:

Kedua orang tua, atas segala doa, kasih sayang, dukungan, dan pengorbanan yang tiada henti. Terima kasih karena selalu menjadi sumber kekuatan, tempat pulang, dan alasan penulis untuk terus berjuang dalam setiap keadaan.

Keluarga, yang senantiasa memberikan semangat, perhatian, dan dukungan selama proses penyusunan tugas akhir ini. Kehadiran kalian menjadi pengingat bahwa penulis tidak pernah menjalani perjalanan ini seorang diri.

Teman-teman, yang telah memberikan dukungan, kebersamaan, bantuan, serta semangat dalam suka maupun duka. Terima kasih telah menjadi bagian dari perjalanan ini dan menghadirkan banyak cerita berharga selama proses penyelesaian tugas akhir.

Semoga karya ini dapat menjadi bentuk kecil dari rasa syukur penulis atas segala kebaikan yang telah diberikan oleh orang-orang terkasih.

HALAMAN MOTO

"Run when you can, walk if you have to, crawl if you must; just never give up."

(Dean Karnazes)

KATA PENGANTAR

Puji syukur penulis panjatkan ke hadirat Tuhan Yang Maha Esa atas segala rahmat, karunia, dan petunjuk-Nya sehingga laporan tugas akhir yang berjudul "Pengembangan Sistem Analisis Performa Lari dan Adaptasi Latihan Berbasis *Rule-Based* dan *Generative AI*" dapat diselesaikan dengan baik.

Penyusunan laporan tugas akhir ini dilakukan sebagai salah satu persyaratan untuk menyelesaikan studi pada Program Studi Informatika, Universitas Islam Indonesia. Selama proses penyusunannya, penulis menghadapi berbagai tantangan dan hambatan. Namun, berkat dukungan, bimbingan, serta bantuan dari berbagai pihak, laporan ini akhirnya dapat terselesaikan. Pada kesempatan ini, penulis ingin menyampaikan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada:

1. Kedua orang tua yang selalu memberikan doa, dukungan moral, dan materi selama penulis menjalani proses penyusunan laporan ini.
2. Bapak Mukhammad Andri Setiawan, S.T., M.Sc., Ph.D., yang telah membimbing selama proses penelitian dan penulisan laporan ini.
3. Seluruh dosen di Program Studi Informatika, yang telah membekali penulis dengan ilmu dan wawasan yang menjadi fondasi dalam menyelesaikan penelitian ini.
4. Rekan-rekan penulis, Arisca, Arya, Aufa, Fathya, Nafal, Nafisa, Nisya, Zahra, Belina, Diena, Kasyful, Mifta, Raisha, Ahmad, Hardy, Ihya, Novera, Umay, Rafi, dan teman-teman lainnya yang tidak dapat saya sebutkan satu per satu. Terima kasih atas kebersamaan dan menjadi salah satu sumber semangat bagi penulis.
5. Semua pihak yang tidak dapat penulis sebutkan satu per satu, yang telah memberikan bantuan serta kontribusi baik secara langsung maupun tidak langsung dalam penyelesaian laporan ini.

Penulis berharap laporan tugas akhir ini dapat memberikan manfaat bagi pembaca dan menjadi salah satu kontribusi dalam pengembangan ilmu pengetahuan, khususnya di bidang sistem cerdas dan analisis performa olahraga.

Yogyakarta, 2 Juli 2026



(Fath Yusava Arden)

SARI

Perkembangan teknologi *wearable* dalam olahraga lari memungkinkan pengumpulan data aktivitas secara otomatis, seperti jarak, durasi, *pace*, dan detak jantung. Namun, data tersebut belum dimanfaatkan secara optimal karena pengguna kesulitan dalam menginterpretasikan data serta menyusun rencana latihan yang adaptif.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem analisis performa dan rekomendasi latihan lari yang adaptif menggunakan pendekatan *hybrid*, yaitu kombinasi *rule-based system* dan *Generative AI*. Sistem dirancang untuk mengolah data aktivitas dari platform seperti Strava, melakukan analisis performa berbasis berbagai parameter, serta menyesuaikan rencana latihan secara dinamis berdasarkan histori aktivitas pengguna.

Metodologi yang digunakan adalah *Design Science Research Methodology* (DSRM) yang meliputi identifikasi masalah, perancangan, pengembangan, demonstrasi, dan evaluasi. Sistem dibangun secara modular dengan komponen analisis performa, evaluasi berbasis aturan yang mengacu pada prinsip *sport science*, serta interpretasi hasil menggunakan *Generative AI* dalam bentuk bahasa natural.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi pola aktivitas seperti kestabilan pace dan respons detak jantung, serta menghasilkan penyesuaian rencana latihan berupa peningkatan, penahanan, atau penurunan beban latihan secara konsisten. Pengujian berbasis skenario menunjukkan seluruh fungsi utama sistem berjalan dengan baik dalam melakukan analisis performa dan adaptasi latihan. Selain itu, sistem mampu menyajikan hasil analisis dalam bentuk narasi yang lebih mudah dipahami oleh pengguna.

Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat berperan sebagai adaptive training assistant dalam membantu pengguna memahami performa dan mengoptimalkan proses latihan secara berkelanjutan.

Kata kunci: Analisis Performa Lari, *Adaptive Training*, *Rule-based System*, *Generative AI*, *Hybrid Framework*.

GLOSARIUM

Cadence	jumlah langkah per menit saat berlari.
Elevasi	ketinggian suatu objek atau lokasi yang diukur dari permukaan laut rata-rata.
Pace	Waktu yang dibutuhkan pelari untuk menempuh jarak tertentu, umumnya dinyatakan dalam menit per kilometer.
HRM (Heart Rate Monitor)	Alat yang digunakan untuk memantau detak jantung.

DAFTAR ISI

HALAMAN JUDUL i
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PEMBIMBING ii
HALAMAN PENGESAHAN DOSEN PENGUJI iii
HALAMAN PERNYATAAN KEASLIAN TUGAS AKHIR iv
HALAMAN PERSEMBAHAN v
HALAMAN MOTO vi
KATA PENGANTAR vii
SARI viii
GLOSARIUM ix
DAFTAR ISI x
DAFTAR TABEL xii
DAFTAR GAMBAR xiii
BAB I PENDAHULUAN 1
1.1 Latar Belakang 1
1.2 Rumusan Masalah 4
1.3 Batasan Masalah 4
1.4 Tujuan Penelitian 5
1.5 Manfaat Penelitian 5
1.6 Sistematika Penelitian 6
BAB II KAJIAN PUSTAKA 8
2.1 Kategori Pelari 8
2.2 Analisis Performa Olahraga Lari 8
2.2.1 Zona Intensitas Latihan Berdasarkan Detak Jantung 10
2.3 Prinsip Latihan dalam Sport Science 11
2.3.1 Progressive Overload 11
2.3.2 Recovery 12
2.3.3 Individualization 12
2.3.4 Keterkaitan Prinsip Latihan dengan Sistem Adaptif 13
2.4 Analisis Data Aktivitas Berbasis Wearable 13
2.4.1 Klasifikasi Aktivitas Berdasarkan Stabilitas Pacing 14
2.5 Sistem Adaptif dalam Latihan 14

2.6 Pendekatan Rule-Based dalam Pengambilan Keputusan 15
2.7 Generative AI untuk Interpretasi Data 17
2.8 Pendekatan Hybrid 17
2.9 Tinjauan Penelitian dan Pendekatan Terkait 18
2.10 Perbandingan Aplikasi Terkait 20
BAB III METODE PENELITIAN 22
3.1 Metode Penelitian 22
3.2 Tahapan Penelitian 22
3.2.1 Identifikasi Masalah 23
3.2.2 Penentuan Tujuan Solusi 23
3.2.3 Perancangan dan Pengembangan 23
3.2.4 Demonstrasi 36
3.2.5 Evaluasi 37
3.2.6 Komunikasi 39
BAB IV HASIL DAN PEMBAHASAN 40
4.1 Hasil Implementasi Sistem 40
4.1.1 Implementasi Antarmuka Pengguna 40
4.1.2 Implementasi Pengambilan Data 46
4.1.3 Implementasi Analisis Performa 46
4.1.4 Implementasi Adaptive Training Plan 57
4.2 Pengujian Sistem 67
4.3 Evaluasi Sistem 69
4.3.1 Hasil Pengujian Fungsional 69
4.3.2 Hasil Pengujian Pengguna 74
4.4 Keterbatasan Sistem 76
BAB V KESIMPULAN DAN SARAN 77
5.1 Kesimpulan 77
5.2 Saran 78
DAFTAR PUSTAKA 79
LAMPIRAN 82

DAFTAR TABEL

Tabel 2.1 Prinsip Sport Science 11
Tabel 2.2 Perbandingan Pendekatan dalam Analisis Performa Olahraga 19
Tabel 2.3 Perbandingan Aplikasi Terkait 20
Tabel 3.1 Input dan Output Sistem 26
Tabel 3.2 Perhitungan CV setiap kategori 35
Tabel 3.3 Aspek dan Instrumen Pengujian Pengguna 38
Tabel 3.4 Kategori Interpretasi Skor Kuisioner UAT 39
Tabel 4.1 Jenis Latihan dan Karakteristik 51
Tabel 4.2 Fenomena dan Indikator 53
Tabel 4.3 Ringkasan Logika Adaptasi 64
Tabel 4.4 Skenario Pengujian Sistem 68
Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem 70
Tabel 4.6 Hasil segmentasi Steady run 71
Tabel 4.7 Hasil segmentasi Unsteady run 72
Tabel 4.8 Profil Responden 74
Tabel 4.9 Hasil Pengujian Pengguna 75

DAFTAR GAMBAR

Gambar 1.1 Tren Aktivitas Lari di Indonesia Tahun 2024–2025 1
Gambar 2.1 Alur Konseptual Hybrid Sistem 18
Gambar 3.1 Tahapan Penelitian 22
Gambar 3.2 Arsitektur Sistem 25
Gambar 3.3 Bentuk Sederhana Skema Database 28
Gambar 3.4 Alur Koneksi Sistem dengan Strava 29
Gambar 3.5 Alur Pengambilan Data Aktivitas 30
Gambar 3.6 Alur Analisis Aktivitas 31
Gambar 3.7 Alur Pembuatan Rencana Latihan 32
Gambar 3.8 Alur Adaptasi Rencana Latihan 33
Gambar 3.9 Alur Data Sistem 34
Gambar 4.1 Halaman Dashboard (a) 41
Gambar 4.2 Halaman Dashboard (b) 41
Gambar 4.3 Halaman Aktivitas 42
Gambar 4.4 Halaman Detil Aktivitas 43
Gambar 4.5 Halaman Analisis Aktivitas 44
Gambar 4.6 Halaman Rencana Latihan 44
Gambar 4.7 Halaman Adaptasi Rencana Latihan 45
Gambar 4.8 Kode Proses Pembuatan Context Analisis 48
Gambar 4.9 Detil Fungsi _build_work_rest_segments() 50
Gambar 4.10 Kode Proses Penentuan Metode Perhitungan Zona Heart Rate 51
Gambar 4.11 Kode Proses Deteksi Fenomena 52
Gambar 4.12 Konfigurasi Ambang Detektor 52
Gambar 4.13 Prompt untuk Analisis Aktivitas 54
Gambar 4.14 Hasil Pembentukan Context Analisis 55
Gambar 4.15 Hasil Analisis Generative AI 56
Gambar 4.16 Kode Proses Pembuatan Training Plan 58
Gambar 4.17 Hasil Ringkasan Aktivitas 59
Gambar 4.18 Prompt untuk Pembentukan Training Plan 60
Gambar 4.19 Kode Proses Validasi Plan 61
Gambar 4.20 Prompt untuk Pembentukan Sesi Latihan 63

Gambar 4.21 Kode Proses Logika Adaptasi 65
Gambar 4.22 Hasil Generate Adaptif Training Plan 67
Gambar 4.23 Aktivitas Easy run 71
Gambar 4.24 Aktivitas 200x5 Interval 72
Gambar 4.25 Rencana Latihan Minggu ke-1 73
Gambar 4.26 Rencana Latihan Minggu ke-2 74

BAB I
PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Olahraga lari merupakan salah satu bentuk aktivitas fisik yang populer dan mengalami peningkatan minat dalam beberapa tahun terakhir, terutama karena sifatnya yang sederhana, mudah dilakukan, serta tidak memerlukan fasilitas khusus (Garmin, 2025). Tren ini terlihat dari meningkatnya jumlah aktivitas lari yang tercatat pada platform Garmin Connect Indonesia sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 1.1. Aktivitas ini tidak hanya dilakukan sebagai sarana menjaga kebugaran, tetapi juga sebagai bagian dari gaya hidup maupun aktivitas kompetitif. Dalam praktiknya, performa seorang pelari tidak hanya ditentukan oleh kecepatan, tetapi juga dipengaruhi oleh berbagai faktor lain seperti daya tahan, konsistensi latihan, serta kemampuan tubuh dalam beradaptasi terhadap beban latihan yang diberikan (Thuany dkk., 2021).



Gambar 1.1 Tren Aktivitas Lari di Indonesia Tahun 2024–2025
Sumber: Garmin Connect Indonesia (2025).

Seiring dengan perkembangan teknologi, aktivitas lari saat ini semakin terintegrasi dengan perangkat digital, khususnya *smartwatch*. Perangkat ini memungkinkan pengguna untuk merekam data aktivitas secara otomatis, seperti jarak tempuh (*distance*), durasi, *pace*, detak jantung (*heart rate*), *cadence*, dan elevasi (Migliaccio dkk., 2024). Data tersebut umumnya terhubung dengan platform pencatat aktivitas olahraga seperti Strava (Strava, 2026), sehingga pengguna dapat menyimpan serta memantau histori latihan secara terstruktur dan

berkelanjutan. Ketersediaan data yang kaya ini membuka peluang untuk melakukan analisis performa secara lebih objektif dan berbasis data.

Namun demikian, ketersediaan data yang melimpah tidak selalu diiringi dengan kemampuan pengguna dalam memanfaatkannya secara optimal, terutama dalam menginterpretasikan data menjadi informasi yang bermakna (DeJong dkk., 2021). Informasi yang disajikan oleh platform olahraga umumnya masih bersifat deskriptif, berupa angka dan visualisasi sederhana, sehingga pengguna perlu melakukan interpretasi secara mandiri untuk memahami kondisi dan perkembangan performanya. Bagi sebagian besar pelari rekreasional, proses interpretasi ini tidak mudah dilakukan karena melibatkan berbagai parameter yang saling berkaitan (Palsa & Mertala, 2024). Akibatnya, data yang seharusnya dapat menjadi dasar pengambilan keputusan justru belum dimanfaatkan secara efektif.

Selain keterbatasan dalam interpretasi data, permasalahan lain yang sering muncul dalam latihan lari adalah kurangnya kemampuan dalam melakukan penyesuaian rencana latihan (DeJong dkk., 2021). Program latihan yang bersifat statis cenderung tidak mampu mengakomodasi perubahan kondisi pengguna, seperti peningkatan performa, kelelahan, maupun ketidakkonsistenan dalam menjalankan latihan. Dalam prinsip *sport science*, latihan yang efektif seharusnya bersifat adaptif dan mengikuti konsep *progressive overload*, yaitu peningkatan beban latihan secara bertahap sesuai dengan respons tubuh terhadap latihan sebelumnya. Tanpa mekanisme adaptasi yang tepat, latihan berpotensi menjadi tidak optimal, bahkan dapat meningkatkan risiko cedera (Hostrup & Bangsbo, 2022; Olli-Pekka dkk., 2022).

Permasalahan tersebut semakin kompleks karena parameter dalam data aktivitas olahraga memiliki keterkaitan yang tidak sederhana. Metrik seperti *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi harus dianalisis secara terintegrasi untuk menghasilkan pemahaman yang komprehensif mengenai performa. Pendekatan yang hanya berfokus pada satu indikator sering kali menghasilkan interpretasi yang tidak akurat, sehingga keputusan latihan yang diambil menjadi kurang tepat (Qin dkk., 2025). Selain itu, setiap individu memiliki karakteristik fisiologis dan respons latihan yang berbeda, sehingga pendekatan yang bersifat umum tidak selalu relevan untuk semua pengguna (Chrzanowski-Smith dkk., 2020).

Dalam jangka panjang, ketidakmampuan dalam menginterpretasikan data dan menyesuaikan program latihan dapat menyebabkan stagnasi performa serta meningkatkan risiko cedera. Pengguna dapat melakukan latihan dengan intensitas yang terlalu tinggi atau terlalu rendah tanpa menyadari dampaknya terhadap proses adaptasi tubuh (A. Cheng dkk., 2020). Hal ini menunjukkan bahwa ketersediaan data saja tidak cukup, tetapi diperlukan suatu

mekanisme yang mampu mengolah data tersebut menjadi *insight* yang bermakna serta mendukung pengambilan keputusan latihan yang tepat.

Perkembangan teknologi kecerdasan buatan membuka peluang untuk mengatasi permasalahan tersebut. Pendekatan berbasis kecerdasan buatan memungkinkan sistem untuk mengolah data dalam jumlah besar, mengidentifikasi pola latihan, serta memberikan analisis secara otomatis (Solang dkk., 2026). Dalam konteks ini, *Generative AI* memiliki keunggulan dalam menghasilkan interpretasi berbasis bahasa natural, sehingga mampu menjembatani kesenjangan antara data numerik yang kompleks dengan pemahaman pengguna. Dengan pendekatan ini, hasil analisis tidak hanya disajikan dalam bentuk angka, tetapi juga dalam bentuk penjelasan yang lebih intuitif dan kontekstual (Raza dkk., 2025).

Meskipun demikian, sebagian besar pendekatan berbasis kecerdasan buatan dalam analisis performa olahraga masih berfokus pada prediksi atau klasifikasi berbasis data historis. Pendekatan tersebut umumnya menghasilkan output berupa nilai numerik atau kategori tertentu, sehingga belum secara langsung mendukung proses pengambilan keputusan latihan yang adaptif (Hak dkk., 2022). Di sisi lain, aplikasi komersial yang banyak digunakan pelari, seperti Strava dan Runna, masih memiliki keterbatasan dalam mendukung proses adaptasi latihan secara berkelanjutan. Strava berfokus pada penyajian statistik dan visualisasi aktivitas, sedangkan Runna menyediakan rencana latihan yang terstruktur namun penyesuaiannya masih terbatas pada parameter tertentu seperti target pace. Kedua pendekatan tersebut belum secara eksplisit melakukan penyesuaian struktur rencana latihan berdasarkan perubahan performa pengguna dari waktu ke waktu.

Selain itu, integrasi antara analisis performa, mekanisme adaptasi rencana latihan, dan interpretasi yang mudah dipahami oleh pengguna masih jarang dilakukan dalam satu sistem yang terpadu. Pendekatan berbasis *Generative AI* yang mampu menghasilkan interpretasi kontekstual juga umumnya belum dikombinasikan dengan mekanisme pengambilan keputusan yang konsisten dan mengacu pada prinsip *sport science*. Akibatnya, masih terdapat celah dalam pengembangan sistem yang tidak hanya fleksibel dan adaptif, tetapi juga dapat dijelaskan serta memiliki dasar pengambilan keputusan yang jelas.

Berdasarkan kondisi tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mengintegrasikan analisis performa berbasis data, mekanisme adaptasi rencana latihan secara dinamis, serta interpretasi hasil yang mudah dipahami oleh pengguna. Sistem tersebut perlu mengombinasikan pendekatan berbasis aturan (*rule-based*) untuk memastikan konsistensi dan

kesesuaian dengan prinsip *sport science*, dengan pemanfaatan *Generative AI* untuk menghasilkan rekomendasi dan penjelasan yang kontekstual, personal, dan intuitif.

Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun sistem analisis performa dan rekomendasi latihan lari yang bersifat adaptif dengan pendekatan *hybrid*. Sistem yang dikembangkan diharapkan tidak hanya mampu mengevaluasi aktivitas olahraga secara objektif, tetapi juga dapat menyesuaikan rencana latihan berdasarkan kondisi dan perkembangan pengguna secara berkelanjutan. Dengan demikian, sistem ini dapat berperan sebagai adaptive training assistant yang mendukung pengguna dalam memahami performa, mengoptimalkan latihan, serta meningkatkan kualitas proses latihan secara keseluruhan.

1.2 Rumusan Masalah

Berdasarkan latar belakang yang telah diuraikan, maka rumusan masalah dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

a. Bagaimana merancang sistem yang mampu mengolah dan mengintegrasikan data aktivitas lari dari platform seperti Strava untuk menghasilkan analisis performa yang bermakna dan komprehensif?
b. Bagaimana mengembangkan mekanisme adaptasi rencana latihan yang dapat menyesuaikan program latihan secara dinamis berdasarkan histori aktivitas dan performa pengguna?
c. Bagaimana mengimplementasikan pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan analisis berbasis aturan (*rule-based analysis*) dengan *Generative AI* untuk menghasilkan rekomendasi latihan yang konsisten, kontekstual, dan mudah dipahami oleh pengguna?

1.3 Batasan Masalah

Dalam penelitian ini, terdapat beberapa batasan yang ditetapkan untuk memperjelas ruang lingkup dan fokus penelitian. Batasan-batasan ini adalah sebagai berikut:

a. Penelitian ini difokuskan pada olahraga lari sebagai bagian dari olahraga *endurance*, dan tidak mencakup cabang olahraga lain seperti bersepeda atau renang.
b. Data aktivitas yang digunakan berasal dari perangkat *smartwatch* yang terintegrasi dengan platform seperti Strava, dengan parameter utama meliputi jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi.

c. Sistem yang dikembangkan berfokus pada analisis performa dan penyusunan rekomendasi latihan, serta tidak digunakan untuk tujuan diagnosis medis atau penilaian kondisi kesehatan pengguna.
d. Target pengguna dalam penelitian ini adalah pelari rekreasional, sehingga rekomendasi yang dihasilkan disesuaikan dengan kebutuhan latihan non-profesional.
e. Penelitian ini berfokus pada pengembangan sistem *backend*, *frontend*, dan logika analisis, tanpa membahas pengembangan perangkat *wearable* atau sensor pengambilan data.
f. Mekanisme adaptasi rencana latihan dalam sistem didasarkan pada aturan yang mengacu pada prinsip *sport science* dan tidak melibatkan pelatihan model *Machine Learning* secara khusus.
g. Penggunaan *Generative AI* dalam penelitian ini dibatasi pada proses interpretasi hasil analisis dan pembangkitan rekomendasi, bukan sebagai komponen utama dalam pengambilan keputusan inti sistem.

1.4 Tujuan Penelitian

Tujuan yang hendak dicapai dari penelitian ini adalah:

a. Merancang dan membangun sistem yang mampu mengolah data aktivitas lari untuk menghasilkan analisis performa pengguna secara terstruktur dan bermakna.
b. Mengembangkan mekanisme adaptasi rencana latihan yang dapat menyesuaikan program latihan secara dinamis berdasarkan histori aktivitas dan performa pengguna.
c. Mengimplementasikan pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan analisis berbasis aturan dengan *Generative AI* untuk menghasilkan rekomendasi latihan yang konsisten, adaptif, dan kontekstual.
d. Mengevaluasi kemampuan sistem dalam menghasilkan analisis performa dan rekomendasi latihan yang sesuai dengan kondisi pengguna serta prinsip dasar sport science.

1.5 Manfaat Penelitian

Penelitian ini diharapkan dapat memberikan manfaat sebagai berikut:

a. Bagi Pengembang dan Peneliti

Penelitian ini memberikan kontribusi dalam pengembangan sistem analisis performa olahraga berbasis data dengan pendekatan *hybrid*, yaitu kombinasi antara *rule-based system* dan *Generative AI*. Selain itu, penelitian ini juga memperkaya kajian mengenai integrasi antara analisis data, adaptasi rencana latihan, dan interpretasi berbasis bahasa natural dalam satu sistem terpadu. Hasil penelitian ini dapat menjadi referensi dalam merancang sistem yang adaptif dan *explainable*, khususnya dalam domain olahraga berbasis data. Pendekatan yang digunakan dapat diterapkan pada pengembangan aplikasi serupa yang membutuhkan kombinasi antara konsistensi logika sistem dan fleksibilitas interpretasi berbasis AI.

b. Bagi Pengguna

Sistem yang dikembangkan diharapkan dapat membantu pengguna, khususnya pelari rekreasional, dalam memahami data aktivitas olahraga secara lebih mendalam. Selain itu, sistem ini juga dapat memberikan rekomendasi latihan yang lebih personal dan adaptif, sehingga mendukung peningkatan kualitas latihan serta mengurangi risiko latihan yang tidak sesuai dengan kondisi pengguna.

1.6 Sistematika Penelitian

Struktur penulisan laporan dari penelitian dijelaskan pada pembahasan di bawah ini:

a. BAB I – PENDAHULUAN

Bab ini memaparkan latar belakang masalah penelitian, rumusan masalah, batasan masalah, tujuan penelitian, manfaat penelitian, serta sistematika penulisan.

b. BAB II – KAJIAN PUSTAKA

Bab ini membahas landasan teori yang berkaitan dengan olahraga lari dan performa atlet endurance, konsep data aktivitas olahraga dari *smartwatch*, platform Strava, serta teknologi kecerdasan buatan khususnya *Generative AI*. Selain itu, bab ini juga memuat tinjauan terhadap penelitian-penelitian terdahulu yang relevan sebagai pembanding.

c. BAB III – METODE PENELITIAN

Bab ini menjelaskan metode yang digunakan dalam penelitian, meliputi perancangan dan pengembangan sistem, arsitektur sistem, serta tahapan implementasi sistem analisis performa berbasis *Generative AI*.

d. BAB IV – HASIL DAN PEMBAHASAN

Bab ini menyajikan hasil implementasi sistem yang telah dirancang, meliputi proses pengolahan data aktivitas olahraga, penerapan *Generative AI* dalam analisis performa, serta hasil rekomendasi latihan yang dihasilkan. Selain itu, dilakukan pengujian dan evaluasi sistem untuk menilai kinerja dan keakuratan analisis yang diberikan.

e. BAB V – KESIMPULAN DAN SARAN

Bab ini berisi kesimpulan yang diperoleh dari hasil penelitian dan pembahasan, serta saran yang dapat digunakan untuk pengembangan sistem lebih lanjut maupun penelitian selanjutnya.

BAB II
KAJIAN PUSTAKA

2.1 Kategori Pelari

Pelari dapat dikategorikan berdasarkan tingkat keterlibatan dan tujuan dalam aktivitas olahraga menjadi pelari profesional atau atlet dan pelari nonprofesional atau rekreasional (Clermont dkk., 2019). Pelari profesional umumnya menjalani latihan secara terstruktur dengan orientasi utama pada peningkatan performa dan pencapaian dalam kompetisi. Sementara itu, pelari rekreasional melakukan aktivitas berlari sebagai bagian dari kegiatan waktu luang dan dapat memiliki tujuan yang beragam, seperti meningkatkan kebugaran, menjaga kesehatan, memperoleh kesenangan, maupun mencapai target pribadi.

Pelari profesional atau atlet merupakan pelari yang memiliki orientasi kompetitif dan menjalani latihan dengan tingkat keteraturan serta tuntutan yang lebih tinggi. Aktivitas latihan umumnya menjadi bagian penting dalam persiapan untuk mencapai performa optimal dalam perlombaan. Berbeda dengan pelari rekreasional, pelari profesional memiliki waktu dan kebutuhan latihan yang lebih terstruktur untuk mendukung pencapaian performa kompetitif.

Pelari nonprofesional atau rekreasional merupakan kelompok pelari yang melakukan aktivitas berlari terutama untuk tujuan nonprofesional, seperti kesehatan, kebugaran, rekreasi, kesenangan, atau pencapaian pribadi. Pelari rekreasional memiliki karakteristik yang beragam, mulai dari pelari dengan pengalaman terbatas hingga pelari yang telah memiliki pengalaman dan kemampuan yang cukup tinggi. Oleh karena itu, status sebagai pelari rekreasional tidak semata-mata ditentukan berdasarkan kecepatan atau kemampuan berlari, tetapi juga berdasarkan tujuan dan konteks aktivitas berlari yang dilakukan.

2.2 Analisis Performa Olahraga Lari

Analisis performa olahraga lari merupakan proses evaluasi kemampuan individu dalam melakukan aktivitas lari berdasarkan berbagai parameter yang mencerminkan kondisi fisiologis dan mekanis tubuh . Berbeda dengan pendekatan sederhana yang hanya menilai hasil akhir seperti jarak tempuh atau waktu, analisis performa yang komprehensif mempertimbangkan bagaimana aktivitas tersebut dilakukan, termasuk efisiensi gerakan, konsistensi intensitas, serta respons tubuh terhadap beban latihan (Thuany dkk., 2021).

Dalam konteks olahraga *endurance*, performa lari tidak bersifat statis, melainkan berkembang seiring dengan proses adaptasi tubuh terhadap latihan. Oleh karena itu, evaluasi

performa perlu dilakukan secara berkelanjutan dengan memperhatikan perubahan kondisi pengguna dari waktu ke waktu. Analisis yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk menilai hasil latihan, tetapi juga untuk memahami pola latihan, mengidentifikasi potensi peningkatan, serta mendeteksi risiko kelelahan atau penurunan performa (A. Cheng dkk., 2020; Hostrup & Bangsbo, 2022).

Perkembangan teknologi *wearable* memungkinkan pengumpulan data aktivitas lari secara lebih objektif dan terstruktur. Data yang dihasilkan umumnya berbentuk *time-series* dan mencakup berbagai parameter, seperti jarak, durasi, kecepatan (*pace*), detak jantung, *cadence*, dan elevasi (Migliaccio dkk., 2024). Masing-masing parameter memiliki peran dalam menggambarkan performa, namun interpretasi yang akurat memerlukan analisis yang terintegrasi antar parameter tersebut. Sebagai contoh, kecepatan larri yang tinggi tidak selalu menunjukkan performa yang baik apabila disertai dengan detak jantung yang terlalu tinggi, yang dapat mengindikasikan efisiensi yang rendah atau beban latihan yang berlebihan.

Salah satu aspek penting dalam analisis performa adalah hubungan antara intensitas eksternal dan respons internal tubuh. Intensitas eksternal dapat direpresentasikan melalui parameter seperti *pace* dan jarak, sedangkan respons internal tercermin melalui detak jantung atau tingkat kelelahan. Analisis terhadap hubungan ini memungkinkan penilaian efisiensi lari, yaitu sejauh mana tubuh mampu mempertahankan performa dengan beban fisiologis tertentu (Chrzanowski-Smith dkk., 2020). Selain itu, pola perubahan parameter selama aktivitas, seperti stabilitas *pace* atau kenaikan detak jantung secara bertahap, dapat memberikan indikasi terhadap kondisi fisik dan tingkat kelelahan pengguna.

Selain analisis pada level aktivitas tunggal, evaluasi performa juga perlu dilakukan pada level historis. Data aktivitas dalam jangka waktu tertentu dapat digunakan untuk mengidentifikasi tren latihan, seperti frekuensi latihan, total volume, serta konsistensi pengguna dalam menjalankan program latihan. Analisis historis ini penting untuk memahami perkembangan performa secara keseluruhan dan menjadi dasar dalam pengambilan keputusan terkait penyesuaian rencana latihan (DeJong dkk., 2021).

Namun demikian, analisis performa berbasis data aktivitas memiliki tantangan tersendiri. Kompleksitas hubungan antar parameter serta variasi kondisi individu membuat interpretasi data tidak dapat dilakukan secara sederhana. Pendekatan yang hanya berfokus pada satu indikator berpotensi menghasilkan kesimpulan yang tidak akurat (Qin dkk., 2025). Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengintegrasikan berbagai parameter secara simultan serta mempertimbangkan konteks aktivitas dan karakteristik pengguna.

Berdasarkan hal tersebut, analisis performa olahraga lari tidak hanya berfungsi sebagai alat evaluasi, tetapi juga sebagai dasar dalam perancangan strategi latihan yang lebih efektif dan adaptif. Dengan memanfaatkan data aktivitas secara terstruktur dan terintegrasi, analisis performa dapat memberikan insight yang lebih mendalam mengenai kondisi pengguna, sehingga mendukung proses peningkatan kemampuan secara berkelanjutan.

2.2.1 Zona Intensitas Latihan Berdasarkan Detak Jantung

Zona intensitas latihan berdasarkan detak jantung merupakan salah satu metode yang umum digunakan untuk mengukur tingkat intensitas aktivitas olahraga, khususnya pada olahraga lari (Rogers dkk., 2021). Pendekatan ini didasarkan pada hubungan antara detak jantung dan tingkat beban kerja tubuh, di mana peningkatan intensitas latihan akan diikuti oleh peningkatan detak jantung. Dengan mengelompokkan detak jantung ke dalam beberapa zona intensitas, pengguna dapat memahami apakah aktivitas yang dilakukan berada pada tingkat ringan, sedang, atau tinggi.

Penentuan zona detak jantung umumnya menggunakan nilai detak jantung maksimum (*maximum heart rate*) sebagai acuan (Shookster dkk., 2020). Salah satu pendekatan sederhana yang sering digunakan adalah rumus estimasi detak jantung maksimum, yaitu:

$$HR_{max} = 220 - usia \quad (2.1)$$

Selain itu, metode yang lebih akurat dapat menggunakan *Heart Rate Reserve (HRR)*, yang mempertimbangkan selisih antara detak jantung maksimum dan detak jantung saat istirahat (Nappi dkk., 2022). HRR dihitung dengan rumus:

$$HRR = HR_{max} - HR_{rest} \quad (2.2)$$

Selanjutnya, detak jantung target pada intensitas tertentu dapat dihitung menggunakan persentase dari HRR dengan rumus:

$$HR_{target} = HR_{rest} + (HRR \times \%intensitas) \quad (2.3)$$

Berdasarkan pendekatan tersebut, zona intensitas latihan biasanya dibagi ke dalam beberapa kategori, seperti zona ringan, sedang, dan tinggi, yang dinyatakan dalam persentase tertentu dari HRR atau HR maksimum. Pembagian ini memungkinkan analisis yang lebih terstruktur terhadap aktivitas olahraga, karena setiap zona memiliki karakteristik fisiologis

yang berbeda, seperti peningkatan daya tahan aerobik pada intensitas rendah hingga sedang, serta peningkatan kapasitas anaerobik pada intensitas tinggi. Penggunaan zona detak jantung dalam analisis performa memberikan dasar yang lebih objektif dalam memahami intensitas latihan dibandingkan hanya mengandalkan parameter eksternal seperti pace atau jarak. Dengan demikian, pendekatan ini menjadi salah satu komponen penting dalam sistem analisis performa, khususnya dalam menginterpretasikan respon fisiologis pengguna terhadap aktivitas yang dilakukan.

2.3 Prinsip Latihan dalam Sport Science

Dalam olahraga *endurance*, termasuk lari, penyusunan program latihan tidak dapat dilakukan secara sembarangan, melainkan harus mengacu pada prinsip-prinsip dasar dalam *sport science*. Prinsip-prinsip ini digunakan untuk memastikan bahwa latihan yang dilakukan mampu meningkatkan performa secara optimal sekaligus meminimalkan risiko cedera. Beberapa prinsip utama yang menjadi dasar dalam perencanaan dan evaluasi latihan antara lain *progressive overload*, *recovery*, dan *individualization (Olli-Pekka dkk., 2022)*.

Tabel 2.1 Prinsip Sport Science

Prinsip	Deskripsi	Implikasi dalam Sistem
Progressive Overload	Beban meningkat bertahap	Penyesuaian target mingguan
Recovery	Pemulihan diperlukan	Penurunan atau penahanan beban
Individualization	Setiap user berbeda	Personalisasi training plan

2.3.1 Progressive Overload

Progressive overload merupakan prinsip yang menyatakan bahwa peningkatan kemampuan fisik hanya dapat dicapai apabila tubuh diberikan beban latihan yang meningkat secara bertahap (Olli-Pekka dkk., 2022). Peningkatan beban ini dapat dilakukan melalui berbagai cara, seperti menambah jarak tempuh, meningkatkan intensitas latihan, atau memperpanjang durasi aktivitas. Namun demikian, peningkatan beban latihan tidak dapat dilakukan secara drastis. Peningkatan yang terlalu cepat berpotensi menyebabkan kelelahan berlebih dan meningkatkan risiko cedera, sementara peningkatan yang terlalu lambat dapat menghambat perkembangan performa. Oleh karena itu, diperlukan mekanisme yang mampu mengatur peningkatan beban secara bertahap berdasarkan respons tubuh terhadap latihan sebelumnya.

Dalam konteks sistem adaptif, prinsip *progressive overload* menjadi dasar dalam menentukan apakah beban latihan perlu ditingkatkan, dipertahankan, atau diturunkan berdasarkan performa aktual pengguna. Dengan demikian, sistem tidak hanya mengikuti rencana awal secara statis, tetapi mampu menyesuaikan beban latihan secara dinamis sesuai kondisi pengguna. Fokkema menunjukkan bahwa pelari HM rekreasional tidak semuanya melakukan long run sepanjang 21,1 km, mayoritas melakukan *longest run* dengan jarak 15–21 km (Fokkema dkk., 2020). Karena pelaksanaan latihan tidak harus selalu mencapai jarak perlombaan atau target secara penuh, sistem memberikan toleransi terhadap ketidaktercapaian target latihan sebelum melakukan perubahan beban.

2.3.2 Recovery

Recovery atau pemulihan merupakan komponen penting dalam proses adaptasi latihan. Setelah menerima beban latihan, tubuh memerlukan waktu untuk memperbaiki jaringan dan menyesuaikan diri terhadap stimulus yang diberikan (Olli-Pekka dkk., 2022). Proses inilah yang memungkinkan terjadinya peningkatan performa.

Tanpa pemulihan yang cukup, latihan justru dapat berdampak negatif, seperti penurunan performa, kelelahan kronis, atau bahkan cedera. Oleh karena itu, keseimbangan antara beban latihan dan waktu pemulihan menjadi faktor kunci dalam perencanaan program latihan.

Dalam analisis performa, indikasi kurangnya *recovery* dapat dilihat dari berbagai parameter, seperti penurunan kecepatan, peningkatan detak jantung pada intensitas yang sama, atau ketidakkonsistenan dalam menyelesaikan sesi latihan. Dalam konteks sistem adaptif, kondisi ini dapat menjadi dasar untuk menurunkan beban latihan atau menahan peningkatan beban pada periode berikutnya.

2.3.3 Individualization

Individualization merupakan prinsip yang menekankan bahwa setiap individu memiliki karakteristik fisiologis, tingkat kebugaran, serta respons terhadap latihan yang berbeda. Oleh karena itu, program latihan yang efektif harus disesuaikan dengan kondisi masing-masing individu (Chrzanowski-Smith dkk., 2020). Faktor-faktor seperti usia, pengalaman latihan, kapasitas aerobik, serta tujuan latihan mempengaruhi bagaimana tubuh merespons suatu beban latihan. Pendekatan yang bersifat umum atau seragam sering kali tidak mampu memberikan hasil yang optimal bagi semua pengguna.

Dalam konteks sistem berbasis data, prinsip *individualization* dapat diimplementasikan dengan memanfaatkan data profil pengguna serta histori aktivitas untuk menghasilkan

rekomendasi latihan yang lebih personal. Dengan demikian, sistem tidak hanya memberikan rekomendasi yang bersifat umum, tetapi mampu menyesuaikan program latihan berdasarkan kondisi dan perkembangan masing-masing pengguna.

2.3.4 Keterkaitan Prinsip Latihan dengan Sistem Adaptif

Ketiga prinsip utama dalam *sport science*, yaitu *progressive overload*, *recovery*, dan *individualization*, saling berkaitan dalam menentukan efektivitas suatu program latihan. Penerapan prinsip-prinsip ini secara bersamaan memungkinkan terbentuknya program latihan yang tidak hanya meningkatkan performa, tetapi juga aman dan berkelanjutan (Olli-Pekka dkk., 2022).

Dalam sistem adaptif berbasis data, prinsip-prinsip tersebut dapat diterjemahkan ke dalam mekanisme pengambilan keputusan yang terstruktur. Data aktivitas dan performa pengguna digunakan untuk mengevaluasi apakah beban latihan yang diberikan sudah sesuai, terlalu berat, atau terlalu ringan. Hasil evaluasi ini kemudian menjadi dasar dalam melakukan penyesuaian rencana latihan pada periode berikutnya.

Dengan demikian, prinsip *sport science* tidak hanya berfungsi sebagai landasan teoritis, tetapi juga sebagai dasar dalam perancangan sistem yang mampu menghasilkan rekomendasi latihan yang konsisten, dapat dijelaskan, dan sesuai dengan kondisi pengguna.

2.4 Analisis Data Aktivitas Berbasis Wearable

Perkembangan teknologi *wearable* memungkinkan pengumpulan data aktivitas olahraga secara otomatis dan berkelanjutan (Migliaccio dkk., 2024). Dalam konteks olahraga lari, data yang dihasilkan mencakup berbagai parameter seperti jarak, durasi, kecepatan (*pace*), detak jantung, *cadence*, dan elevasi. Data ini umumnya berbentuk *time-series* yang merepresentasikan perubahan kondisi aktivitas dari waktu ke waktu, sehingga memberikan gambaran yang lebih komprehensif dibandingkan hanya melihat hasil akhir aktivitas.

Karakteristik utama data aktivitas berbasis *wearable* adalah sifatnya yang multi-parameter dan saling berkaitan. Setiap parameter memberikan sudut pandang yang berbeda terhadap performa, di mana kecepatan mencerminkan output aktivitas, sedangkan detak jantung menggambarkan respons fisiologis tubuh. Oleh karena itu, analisis performa tidak dapat dilakukan dengan melihat satu parameter secara terpisah, melainkan memerlukan integrasi beberapa parameter untuk menghasilkan interpretasi yang lebih akurat (Qin dkk., 2025) .

Selain itu, data aktivitas memungkinkan identifikasi pola selama aktivitas berlangsung, seperti kestabilan *pace*, perubahan intensitas, atau indikasi kelelahan. Pola-pola ini dapat

digunakan untuk mengklasifikasikan jenis aktivitas, seperti lari stabil (*steady run*) atau lari dengan variasi intensitas (*interval run*), serta untuk mengevaluasi efisiensi dan konsistensi performa. Dengan demikian, analisis tidak hanya berfokus pada nilai agregat, tetapi juga pada dinamika aktivitas secara keseluruhan.

Meskipun data yang tersedia cukup kaya, proses analisis menghadapi tantangan dalam kompleksitas hubungan antar parameter serta variasi kondisi individu. Selain itu, data mentah yang dihasilkan tidak selalu mudah dipahami oleh pengguna. Oleh karena itu, diperlukan pendekatan analisis yang mampu mengolah data secara terstruktur serta menghasilkan interpretasi yang kontekstual. Dalam penelitian ini, analisis data aktivitas dilakukan melalui pengolahan berbasis aturan untuk menghasilkan indikator performa, yang kemudian diinterpretasikan lebih lanjut untuk mendukung evaluasi dan pengambilan keputusan latihan secara adaptif.

2.4.1 Klasifikasi Aktivitas Berdasarkan Stabilitas Pacing

Coefficient of Variation (CV) digunakan untuk mengukur tingkat variasi *pace* selama aktivitas lari. CV merupakan ukuran statistik yang membandingkan standar deviasi terhadap nilai rata-rata data, sehingga dapat menggambarkan tingkat variasi relatif dari *pace*. Nilai CV yang lebih rendah menunjukkan *pace* yang lebih konsisten contohnya pada aktivitas *steady run* (easy run, tempo, long run), sedangkan nilai CV yang lebih tinggi menunjukkan variasi *pace* yang lebih besar contohnya pada aktivitas *unsteady run* (interval). CV dihitung menggunakan persamaan:

$$CV = \frac{\sigma_v}{\mu_v} \tag{2}$$

Dengan σ merupakan standar deviasi dan μ merupakan nilai rata-rata *pace*. Dalam penelitian ini, nilai CV digunakan sebagai dasar untuk mengklasifikasikan aktivitas berdasarkan stabilitas *pacing*.

2.5 Sistem Adaptif dalam Latihan

Dalam konteks olahraga *endurance*, program latihan yang efektif tidak bersifat statis, melainkan harus mampu menyesuaikan diri terhadap perubahan kondisi pengguna. Performa individu dalam latihan lari dipengaruhi oleh berbagai faktor yang dinamis, seperti tingkat kebugaran, kelelahan, konsistensi latihan, serta respons tubuh terhadap beban latihan sebelumnya (Olli-Pekka dkk., 2022). Oleh karena itu, sistem latihan yang tidak

mempertimbangkan perubahan-perubahan tersebut berpotensi menghasilkan program yang kurang optimal atau bahkan tidak sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Pendekatan latihan yang bersifat statis umumnya menggunakan rencana latihan yang telah ditentukan sejak awal tanpa mempertimbangkan hasil aktual dari pelaksanaan latihan. Dalam praktiknya, kondisi pengguna dapat berubah secara signifikan dari waktu ke waktu, misalnya ketika pengguna tidak mampu menyelesaikan sesi latihan tertentu atau mengalami penurunan performa. Tanpa adanya mekanisme adaptasi, sistem akan tetap memberikan beban latihan yang sama, sehingga berisiko menyebabkan kelelahan berlebih atau penurunan motivasi (DeJong dkk., 2021).

Sebaliknya, sistem adaptif dalam latihan dirancang untuk menyesuaikan program latihan berdasarkan data performa aktual pengguna. Proses adaptasi ini dilakukan dengan mengevaluasi hasil latihan sebelumnya, seperti tingkat penyelesaian sesi, total beban latihan, serta perubahan indikator performa. Hasil evaluasi tersebut kemudian digunakan sebagai dasar untuk menentukan apakah beban latihan pada periode berikutnya perlu ditingkatkan, dipertahankan, atau diturunkan (Biró dkk., 2023). Implementasi sistem adaptif juga memungkinkan penyesuaian tidak hanya pada volume latihan, tetapi juga pada struktur dan fase latihan. Sebagai contoh, apabila pengguna belum menunjukkan kesiapan untuk meningkatkan intensitas latihan, sistem dapat menunda transisi ke fase latihan yang lebih tinggi dan mempertahankan fase sebelumnya. Dengan demikian, sistem tidak hanya merespons perubahan performa secara kuantitatif, tetapi juga mempertimbangkan strategi latihan secara keseluruhan.

Dalam penelitian ini, konsep sistem adaptif diimplementasikan melalui mekanisme evaluasi performa berbasis data aktivitas pengguna yang kemudian diterjemahkan menjadi keputusan penyesuaian rencana latihan. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menghasilkan program latihan yang lebih personal, dinamis, dan sesuai dengan kondisi aktual pengguna, sehingga mendukung proses peningkatan performa secara lebih efektif dan berkelanjutan.

2.6 Pendekatan Rule-Based dalam Pengambilan Keputusan

Pendekatan *rule-based* merupakan salah satu metode dalam sistem cerdas yang menggunakan seperangkat aturan eksplisit untuk melakukan pengambilan keputusan. Aturan-aturan tersebut biasanya disusun dalam *if-then rules*, di mana sistem akan menghasilkan keputusan tertentu apabila kondisi yang telah ditentukan terpenuhi. Pendekatan ini banyak

digunakan dalam sistem yang membutuhkan konsistensi, transparansi, serta kemudahan dalam penelusuran proses pengambilan keputusan (Alnattah dkk., 2025).

Salah satu keunggulan utama dari pendekatan *rule-based* adalah sifatnya yang deterministik dan dapat dijelaskan (*explainable*). Setiap keputusan yang dihasilkan oleh sistem dapat ditelusuri kembali ke aturan yang mendasarinya, sehingga memudahkan proses validasi dan evaluasi. Dalam konteks olahraga, hal ini menjadi penting karena rekomendasi latihan yang diberikan harus dapat dipertanggungjawabkan dan selaras dengan prinsip-prinsip *sport science*. Dengan adanya aturan yang jelas, sistem dapat memastikan bahwa keputusan yang diambil tidak bertentangan dengan konsep dasar seperti *progressive overload*, *recovery*, dan *individualization*.

Selain itu, pendekatan *rule-based* memungkinkan sistem untuk menangani kondisi-kondisi spesifik secara langsung tanpa memerlukan proses pelatihan model seperti pada metode berbasis *Machine Learning*. Aturan dapat dirancang berdasarkan pengetahuan domain atau heuristik tertentu, sehingga sistem dapat merespons berbagai skenario dengan cepat dan konsisten. Sebagai contoh, apabila pengguna tidak mampu menyelesaikan sebagian besar sesi latihan dalam satu minggu, sistem dapat secara langsung menetapkan penyesuaian berupa penurunan beban latihan pada minggu berikutnya.

Namun demikian, pendekatan *rule-based* juga memiliki keterbatasan, terutama dalam hal fleksibilitas dan kemampuan dalam menangani konteks yang kompleks (Lian dkk., 2024). Sistem berbasis aturan cenderung kaku dan bergantung pada kelengkapan aturan yang telah ditentukan sebelumnya. Selain itu, pendekatan ini kurang efektif dalam menghasilkan interpretasi yang bersifat naratif atau kontekstual, karena output yang dihasilkan umumnya terbatas pada keputusan atau nilai tertentu.

Dalam penelitian ini, pendekatan *rule-based* digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan inti sistem, khususnya dalam proses evaluasi performa dan penyesuaian rencana latihan. Aturan-aturan yang digunakan dirancang berdasarkan prinsip *sport science* untuk memastikan bahwa setiap keputusan yang dihasilkan bersifat konsisten dan dapat dijelaskan. Dengan demikian, pendekatan ini memberikan fondasi yang kuat bagi sistem dalam menentukan arah adaptasi latihan, sebelum hasil tersebut diinterpretasikan lebih lanjut menggunakan pendekatan berbasis kecerdasan buatan.

2.7 Generative AI untuk Interpretasi Data

Generative AI merupakan pendekatan dalam kecerdasan buatan yang mampu menghasilkan konten baru berdasarkan konteks yang diberikan. Perkembangan model berbasis *Large Language Model* (LLM) memungkinkan sistem untuk memahami input terstruktur dan menghasilkan output dalam bentuk bahasa natural yang koheren. Kemampuan ini menjadikan *Generative AI* relevan dalam sistem yang membutuhkan komunikasi hasil analisis kepada pengguna secara lebih intuitif.

Dalam konteks analisis data aktivitas olahraga, *Generative AI* berperan dalam menerjemahkan data numerik yang kompleks menjadi penjelasan yang lebih mudah dipahami. Data aktivitas seperti *pace*, detak jantung, dan durasi umumnya sulit diinterpretasikan secara langsung oleh pengguna non-ekspert. Dengan memanfaatkan *Generative AI*, hasil analisis yang telah diolah dapat disajikan dalam bentuk narasi yang kontekstual, sehingga membantu pengguna memahami kondisi performa serta implikasinya terhadap latihan.

Dalam penelitian ini, *Generative AI* tidak digunakan sebagai pengambil keputusan utama, melainkan sebagai lapisan interpretasi terhadap hasil analisis berbasis aturan. Informasi yang telah diproses sebelumnya digunakan sebagai konteks untuk menghasilkan penjelasan dan rekomendasi dalam bentuk bahasa natural. Dengan pendekatan ini, sistem mampu menyampaikan hasil analisis secara lebih komunikatif tanpa mengorbankan konsistensi dan keakuratan keputusan yang dihasilkan oleh mekanisme berbasis aturan.

2.8 Pendekatan Hybrid

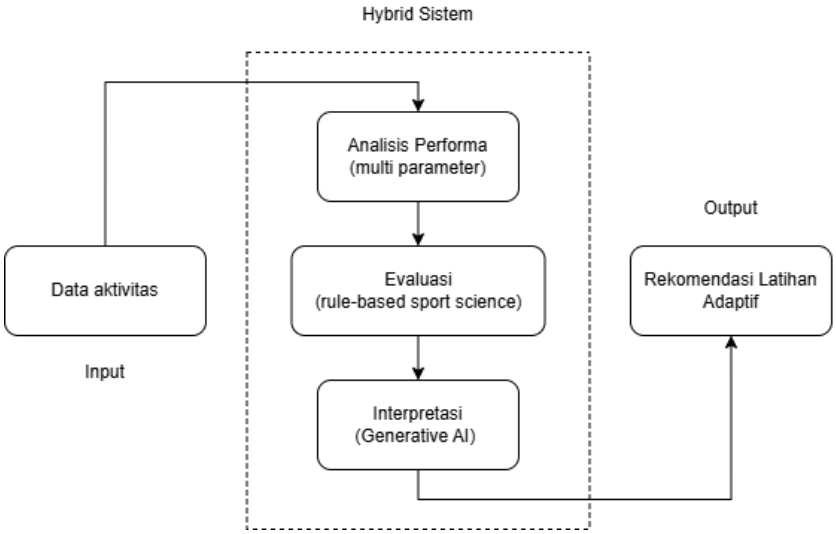
Pendekatan dalam pengembangan sistem analisis berbasis AI umumnya terbagi menjadi dua kategori utama, yaitu pendekatan berbasis aturan (*rule-based*) dan pendekatan berbasis model generatif seperti *Generative AI* (Kierner dkk., 2023). Pendekatan *rule-based* memiliki keunggulan dalam hal konsistensi, transparansi, dan kemudahan dalam penelusuran proses pengambilan keputusan. Namun, pendekatan ini cenderung terbatas dalam menghasilkan interpretasi yang fleksibel dan kontekstual. Di sisi lain, *Generative AI* memiliki kemampuan dalam menghasilkan output berbasis bahasa natural yang lebih adaptif dan komunikatif, tetapi memiliki keterbatasan dalam menjaga konsistensi serta akurasi apabila tidak didukung oleh konteks yang terstruktur (Raza dkk., 2025).

Perbedaan karakteristik tersebut menunjukkan bahwa masing-masing pendekatan memiliki kelebihan dan kekurangan yang saling melengkapi. Pendekatan *rule-based* lebih sesuai digunakan sebagai dasar dalam pengambilan keputusan yang membutuhkan kepastian

dan kesesuaian dengan prinsip tertentu, sedangkan *Generative AI* lebih efektif digunakan dalam menyampaikan hasil analisis dalam bentuk yang mudah dipahami oleh pengguna. Oleh karena itu, penggunaan salah satu pendekatan secara terpisah dapat menghasilkan sistem yang kurang optimal, baik dari sisi konsistensi keputusan maupun dari sisi komunikasi hasil.

Dalam penelitian ini, digunakan pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan dengan kemampuan interpretasi dari *Generative AI*. Pendekatan *rule-based* digunakan untuk melakukan evaluasi performa dan menentukan penyesuaian rencana latihan secara terstruktur berdasarkan prinsip *sport science*. Hasil dari proses tersebut kemudian digunakan sebagai konteks bagi *Generative AI* untuk menghasilkan penjelasan dan rekomendasi dalam bentuk bahasa natural yang lebih intuitif.

Dengan pendekatan hybrid ini, sistem yang dikembangkan tidak hanya mampu menghasilkan keputusan yang konsisten dan dapat dijelaskan, tetapi juga mampu menyampaikan hasil analisis secara komunikatif dan kontekstual kepada pengguna. Kombinasi kedua pendekatan ini memungkinkan terciptanya sistem yang adaptif, personal, serta tetap memiliki dasar pengambilan keputusan yang jelas dan dapat dipertanggungjawabkan.



Gambar 2.1 Alur Konseptual Hybrid Sistem

2.9 Tinjauan Penelitian dan Pendekatan Terkait

Penelitian terkait analisis performa olahraga telah banyak dilakukan dengan memanfaatkan data aktivitas dari perangkat *wearable*. Pendekatan yang digunakan umumnya berbasis *Machine Learning* dan *Deep Learning* untuk melakukan prediksi performa atau klasifikasi aktivitas berdasarkan data historis. Selain itu, beberapa aplikasi komersial juga telah menyediakan fitur analisis dan rekomendasi latihan berbasis data pengguna.

Namun demikian, sebagian besar pendekatan yang ada masih memiliki keterbatasan dalam menghasilkan sistem yang adaptif, transparan, dan mudah dipahami oleh pengguna. Rekomendasi yang dihasilkan cenderung bersifat statis atau tidak memiliki mekanisme adaptasi yang eksplisit. Di sisi lain, pendekatan berbasis *Generative AI* mulai digunakan untuk menghasilkan interpretasi dalam bentuk bahasa natural, namun belum banyak dikombinasikan dengan mekanisme pengambilan keputusan yang terstruktur.

Untuk memperjelas posisi penelitian ini, Tabel 2.2 menyajikan perbandingan beberapa pendekatan yang umum digunakan dalam analisis performa olahraga.

Tabel 2.2 Perbandingan Pendekatan dalam Analisis Performa Olahraga

No	Pendekatan	Fokus Utama	Jenis Output	Keterbatasan
1	Machine Learning (Nguyen dkk., 2021)	Prediksi performa/hasil berdasarkan data historis	Nilai numerik/regresi skor	Tetap fokus pada prediksi, bukan sistem rekomendasi pelatihan otomatis
2	Deep Learning (Vec dkk., 2024)	Analisis pola kompleks time-series dan multi-sensor	Klasifikasi risiko cedera, prediksi performa	Performa bagus tapi butuh data besar, arsitektur kompleks
3	Aplikasi olahraga komersial (Strava, 2026)	Visualisasi dan tracking aktivitas	Statistik dan grafik	Rekomendasi bersifat statis
4	Generative AI (L. Cheng dkk., 2024)	Interpretasi data dalam bahasa natural	Narasi / teks	Tantangan menjaga konsistensi fakta dan justifikasi keputusan

Berdasarkan tinjauan terhadap pendekatan-pendekatan yang telah dibahas, dapat diamati bahwa sebagian besar penelitian berfokus pada analisis performa atau prediksi berbasis data, sementara integrasi antara analisis performa, mekanisme adaptasi rencana latihan, dan interpretasi hasil dalam bentuk yang mudah dipahami masih terbatas. Selain itu, pendekatan yang mengombinasikan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan dengan kemampuan interpretasi *Generative AI* juga belum banyak ditemukan dalam literatur yang ditinjau.

Dengan demikian, penelitian ini mengusulkan pendekatan hybrid yang mengintegrasikan *rule-based* system dan *Generative AI* dalam satu kerangka terpadu, dengan tujuan menghasilkan sistem yang tidak hanya adaptif dalam menyesuaikan rencana latihan, tetapi juga konsisten, dapat dijelaskan, dan mudah dipahami oleh pengguna.

2.10 Perbandingan Aplikasi Terkait

Seiring dengan perkembangan teknologi *wearable* dan aplikasi olahraga, berbagai sistem telah dikembangkan untuk membantu pengguna dalam memantau aktivitas lari dan menyusun rencana latihan. Beberapa aplikasi yang umum digunakan, seperti Strava dan Runna by Strava, menawarkan fitur yang mendukung aktivitas olahraga, namun dengan pendekatan yang berbeda. Oleh karena itu, diperlukan perbandingan untuk memahami posisi dan kontribusi sistem yang diusulkan dalam penelitian ini.

Tabel 2.3 Perbandingan Aplikasi Terkait

Aspek	**Strava** (Strava, 2026)	**Runna by Strava** (Runna, 2026)	**Sistem yang Diusulkan**
Fokus utama	Tracking aktivitas	Training plan berbasis tujuan	Analisis dan adaptive training
Analisis performa	Statistik dasar	Terbatas	Berbasis *context* dan AI
Interpretasi data	Minimal	Tidak ada	Ada (*AI insight*)
Adaptasi latihan	Tidak ada	Terbatas pada penyesuaian pace	Dinamis berbasis performa
Jenis Adaptasi	Tidak ada	*Parameter adjustment* (pace)	*Structural adaptation* (volume, sesi, fase)
Sumber Adaptasi	Tidak ada	Estimasi performa (*race time/pace*)	Data realisasi (completion rate, distance)
Struktur Plan	Tidak ada	Tidak berubah	Dapat berubah sesuai performa
Feedback loop	Tidak ada	Tidak eksplisit	Ada (berbasis realisasi sesi)
Pendekatan	Data display	Template plan dan penyesuaian pace	Hybrid (r*ule-based system* dan *Generative AI*)

Berdasarkan Tabel 2.3, dapat dilihat bahwa setiap sistem memiliki fokus dan pendekatan yang berbeda dalam mendukung aktivitas lari. Strava berfokus pada penyajian data aktivitas dan visualisasi statistik, namun belum menyediakan interpretasi performa secara mendalam

maupun mekanisme adaptasi latihan. Sementara itu, Runna by Strava menawarkan rencana latihan berbasis tujuan yang terstruktur, serta melakukan penyesuaian terhadap parameter latihan seperti pace berdasarkan estimasi performa pengguna. Namun, penyesuaian tersebut masih terbatas pada level parameter dan tidak mengubah struktur rencana latihan secara keseluruhan.

Berbeda dengan kedua pendekatan tersebut, sistem yang diusulkan dalam penelitian ini tidak hanya melakukan penyesuaian parameter, tetapi juga mampu melakukan *structural adaptation*, yaitu perubahan terhadap struktur rencana latihan seperti volume mingguan, jenis sesi, dan fase latihan berdasarkan realisasi performa pengguna. Selain itu, sistem membentuk *feedback loop* yang menghubungkan antara pelaksanaan latihan, evaluasi performa, dan penyesuaian rencana berikutnya. Dengan pendekatan ini, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat monitoring atau penyedia rencana latihan awal, tetapi juga sebagai sistem yang mampu memberikan penyesuaian latihan secara berkelanjutan dan lebih sesuai dengan kondisi aktual pengguna.

BAB III
METODE PENELITIAN

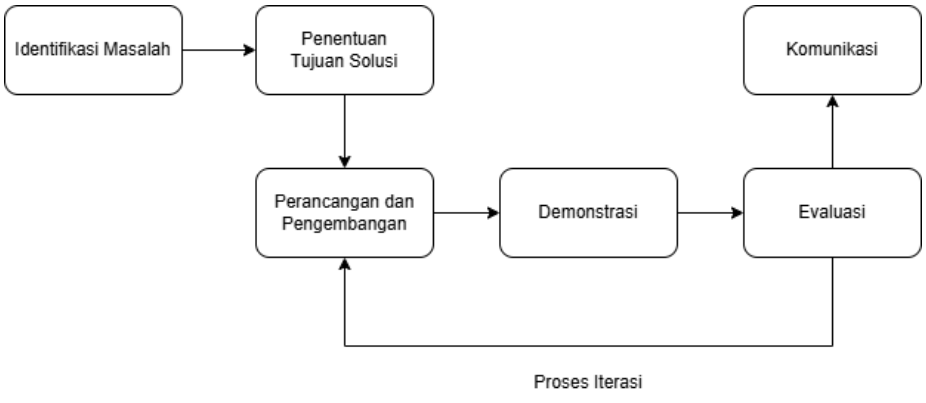
3.1 Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan *Design Science Research Methodology* (DSRM) sebagai kerangka kerja dalam pengembangan sistem. DSRM merupakan metode penelitian yang berfokus pada perancangan dan pembangunan artefak untuk menyelesaikan permasalahan tertentu, sekaligus memberikan kontribusi ilmiah (Peffers dkk., 2007).

Pendekatan ini dipilih karena penelitian yang dilakukan tidak hanya bertujuan untuk menganalisis suatu fenomena, tetapi juga untuk menghasilkan solusi dalam bentuk sistem analisis performa dan rekomendasi latihan yang adaptif. DSRM memungkinkan integrasi antara proses perancangan, implementasi, dan evaluasi sistem dalam satu alur penelitian yang sistematis. Secara umum, DSRM terdiri dari beberapa tahapan utama, yaitu identifikasi masalah, penentuan tujuan solusi, perancangan dan pengembangan sistem, demonstrasi, evaluasi, serta komunikasi hasil penelitian. Pada penelitian ini, setiap tahapan tersebut diadaptasi sesuai dengan kebutuhan pengembangan sistem yang dilakukan.

3.2 Tahapan Penelitian

DSRM memiliki beberapa tahapan meliputi identifikasi masalah, penentuan tujuan solusi, perancangan dan pengembangan, demonstrasi, evaluasi, komunikasi. Tahapan penelitian yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan pada Gambar 3.1.



Gambar 3.1 Tahapan Penelitian

Diagram tersebut menunjukkan tahapan penelitian yang dilakukan dalam pengembangan sistem. Setiap tahapan saling berkaitan dan dilakukan secara iteratif untuk menghasilkan solusi yang sesuai dengan permasalahan yang diangkat.

3.2.1 Identifikasi Masalah

Pada tahap ini dilakukan analisis terhadap permasalahan yang menjadi latar belakang penelitian. Permasalahan utama yang diidentifikasi adalah belum optimalnya pemanfaatan data aktivitas olahraga dalam mendukung analisis performa dan penyusunan rencana latihan yang adaptif. Meskipun data aktivitas dari perangkat *wearable* tersedia dalam jumlah besar, pengguna masih mengalami kesulitan dalam menginterpretasikan data tersebut secara mendalam. Selain itu, program latihan yang digunakan umumnya bersifat statis dan tidak menyesuaikan diri dengan perubahan performa pengguna. Berdasarkan permasalahan tersebut, diperlukan suatu sistem yang mampu mengolah data aktivitas secara terstruktur, menghasilkan analisis performa yang bermakna, serta menyesuaikan rencana latihan secara dinamis berdasarkan kondisi pengguna.

3.2.2 Penentuan Tujuan Solusi

Tahap ini bertujuan untuk mendefinisikan solusi yang akan dikembangkan berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi. Solusi yang diusulkan dalam penelitian ini adalah pengembangan sistem analisis performa dan rekomendasi latihan lari yang bersifat adaptif. Sistem yang dikembangkan diharapkan mampu:

- Mengolah data aktivitas olahraga menjadi analisis performa yang komprehensif
- Menyesuaikan rencana latihan secara dinamis berdasarkan histori performa
- Menghasilkan rekomendasi latihan yang personal dan mudah dipahami

Untuk mencapai tujuan tersebut, digunakan pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan rule-based system sebagai mekanisme pengambilan keputusan dengan *Generative AI* sebagai lapisan interpretasi.

3.2.3 Perancangan dan Pengembangan

Tahap perancangan dan pengembangan sistem merupakan bagian utama dalam penelitian ini yang bertujuan untuk merealisasikan solusi berdasarkan permasalahan yang telah diidentifikasi. Pada tahap ini dilakukan perancangan arsitektur sistem serta penyusunan alur proses yang mencakup pengolahan data aktivitas, analisis performa, evaluasi, hingga penyusunan rekomendasi latihan. Sistem dirancang dengan pendekatan modular agar setiap komponen memiliki fungsi yang jelas dan dapat dikembangkan secara terstruktur.

Dalam implementasinya, sistem menggunakan pendekatan *hybrid* yang mengombinasikan mekanisme pengambilan keputusan berbasis aturan dengan kemampuan interpretasi *Generative AI*. Proses analisis dan evaluasi dilakukan secara deterministik berdasarkan prinsip

sport science untuk memastikan konsistensi keputusan, sedangkan hasilnya diinterpretasikan dalam bentuk bahasa natural agar lebih mudah dipahami oleh pengguna. Penjelasan lebih rinci mengenai arsitektur dan alur sistem akan dibahas pada subbagian berikutnya.

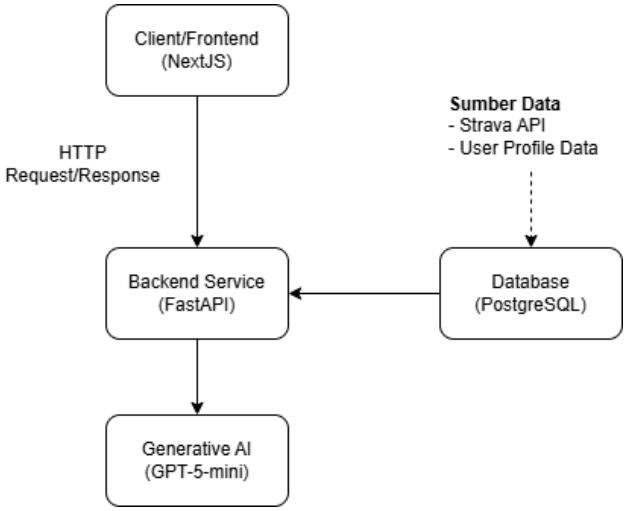
Arsitektur Sistem

Arsitektur sistem menggambarkan struktur utama serta hubungan antar komponen dalam sistem yang dikembangkan. Sistem dalam penelitian ini dirancang untuk mengolah data aktivitas olahraga menjadi analisis performa dan rekomendasi latihan yang adaptif. Untuk mencapai tujuan tersebut, sistem dibangun dengan pendekatan modular yang memisahkan proses pengolahan data, analisis, evaluasi, pengambilan keputusan, serta interpretasi hasil.

Secara umum, sistem terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu sumber data aktivitas, modul pengolahan data, modul analisis performa, modul evaluasi berbasis aturan, modul pengambilan keputusan, serta modul interpretasi berbasis *Generative AI*. Data aktivitas pengguna yang berasal dari perangkat *wearable* atau platform seperti Strava digunakan sebagai input utama dalam sistem. Data tersebut kemudian diproses untuk menghasilkan parameter-parameter yang relevan dalam analisis performa.

Setelah melalui tahap pengolahan data, sistem melakukan analisis performa dengan mempertimbangkan berbagai parameter secara terintegrasi. Hasil analisis tersebut kemudian dievaluasi menggunakan aturan yang mengacu pada prinsip *sport science*, seperti *progressive overload* dan *recovery*. Berdasarkan hasil evaluasi, sistem menentukan penyesuaian yang perlu dilakukan terhadap rencana latihan pengguna, seperti peningkatan, penahanan, atau penurunan beban latihan.

Tahap akhir dalam sistem adalah interpretasi hasil menggunakan *Generative AI*. Pada tahap ini, hasil analisis dan keputusan yang telah dihasilkan oleh sistem disusun dalam bentuk narasi yang lebih mudah dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, sistem tidak hanya menghasilkan keputusan yang terstruktur, tetapi juga mampu menyampaikan informasi secara komunikatif dan kontekstual.



Gambar 3.2 Arsitektur Sistem

Gambar 3.2 menunjukkan arsitektur teknis sistem Runasense. Sistem terdiri dari *client* atau *frontend* sebagai antarmuka pengguna, *backend service* berbasis *FastAPI* sebagai pusat pengolahan logika sistem, *database PostgreSQL* sebagai media penyimpanan data, sumber data aktivitas yang berasal dari *Strava API* dan data profil pengguna, serta layanan *Generative AI* sebagai komponen untuk menghasilkan interpretasi dan rekomendasi berbasis bahasa natural. *Backend* berperan sebagai penghubung utama yang mengatur proses autentikasi, pengambilan data aktivitas, analisis performa, pembentukan rencana latihan, serta komunikasi dengan layanan *Generative AI*.

Analisis Input dan Output Sistem

Identifikasi input dan output sistem dilakukan melalui pengamatan terhadap aplikasi dan layanan yang digunakan dalam aktivitas lari, serta pengamatan terhadap data yang tersedia pada aktivitas lari pengguna. Pengamatan tersebut digunakan untuk mengidentifikasi parameter yang relevan dalam menggambarkan karakteristik aktivitas dan kondisi pengguna. Selanjutnya, dilakukan analisis terhadap kebutuhan sistem untuk menentukan data yang diperlukan dalam proses evaluasi performa dan adaptasi *training plan*. Berdasarkan hasil pengamatan dan analisis kebutuhan tersebut, data seperti jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi diidentifikasi sebagai parameter yang relevan untuk analisis aktivitas lari. Data profil seperti *max heart rate* dan *resting heart rate* digunakan untuk memberikan konteks individual dalam menginterpretasikan respons detak jantung pengguna terhadap latihan. Sementara itu, data *training plan* digunakan sebagai acuan untuk membandingkan target latihan dengan aktivitas aktual pengguna.

Input sistem terdiri dari data profil pengguna dan target latihan, data aktivitas lari yang diperoleh melalui integrasi dengan Strava, serta data *training plan* yang digunakan sebagai acuan dalam mengevaluasi ketercapaian latihan. Data aktivitas yang diperoleh dari Strava meliputi parameter seperti jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, elevasi, dan waktu aktivitas, yang selanjutnya diolah untuk menghasilkan indikator performa seperti *completion rate*, *distance ratio*, serta indikator analisis lainnya. Indikator tersebut digunakan sebagai masukan dalam proses evaluasi berbasis aturan untuk menentukan kondisi performa pengguna dan tindakan adaptasi yang diperlukan. Output sistem meliputi hasil analisis aktivitas, evaluasi performa, keputusan adaptasi berupa *progress as planned*, *hold load*, *reduce load*, atau *extend base*, serta *training plan* yang telah disesuaikan dengan kondisi pengguna. Hasil analisis dan keputusan adaptasi tersebut kemudian digunakan sebagai konteks bagi *Generative AI* untuk menghasilkan interpretasi, *insight*, dan rekomendasi latihan dalam bentuk bahasa natural yang dapat dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, input dan output sistem mencakup seluruh data dan informasi yang terlibat mulai dari pengambilan data aktivitas hingga menghasilkan rekomendasi latihan yang adaptif. Rincian input dan output sistem ditampilkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.1 Input dan Output Sistem

Jenis	**Komponen**	**Data**
Input	Profil pengguna	Nama, usia, berat badan, tinggi badan, *max* HR, *resting* HR, target mingguan, hari latihan.
Input	Aktivitas Strava	Jarak, durasi, rerata *pace*, rerata HR, rerata *cadence*, *stream* waktu, *stream* kecepatan, *stream cadence*, *stream* HR, *stream* elevasi.
Input	Training plan	Judul latihan, target latihan, durasi latihan, histori latihan.
Input	Indikator performa	*Completion rate, distance ratio*
Output	Analisis aktivitas	*Insight* aktivitas
Output	Keputusan adaptasi	*progress_as_planned*, *hold_load*, *reduce_load*, atau *extend_base.*
Output	Adaptive training plan	Rencana latihan

Perancangan Basis Data

Perancangan basis data (*database*) dilakukan untuk mendukung penyimpanan data yang digunakan dalam proses analisis performa dan penyusunan rekomendasi latihan. Basis data yang digunakan bersifat relasional untuk menjaga konsistensi data serta memudahkan pengelolaan hubungan antar entitas. Gambar 3.3 menunjukkan *Entity Relationship Diagram* (ERD) dalam bentuk sederhana yang merepresentasikan struktur utama data dalam sistem.

Entitas utama dalam sistem meliputi *users*, *profiles*, *activities*, serta komponen rencana latihan yang terdiri dari *training_plans*, *training_weeks*, dan *training_sessions*. Entitas *users* dan *profiles* digunakan untuk menyimpan informasi pengguna dan kondisi awal yang menjadi dasar personalisasi. Data aktivitas lari yang diperoleh dari *Strava API* disimpan dalam entitas *activities* dan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis performa. Sementara itu, rencana latihan diorganisasikan secara bertingkat melalui *training_plans*, *training_weeks*, dan *training_sessions* untuk merepresentasikan program latihan secara terstruktur.

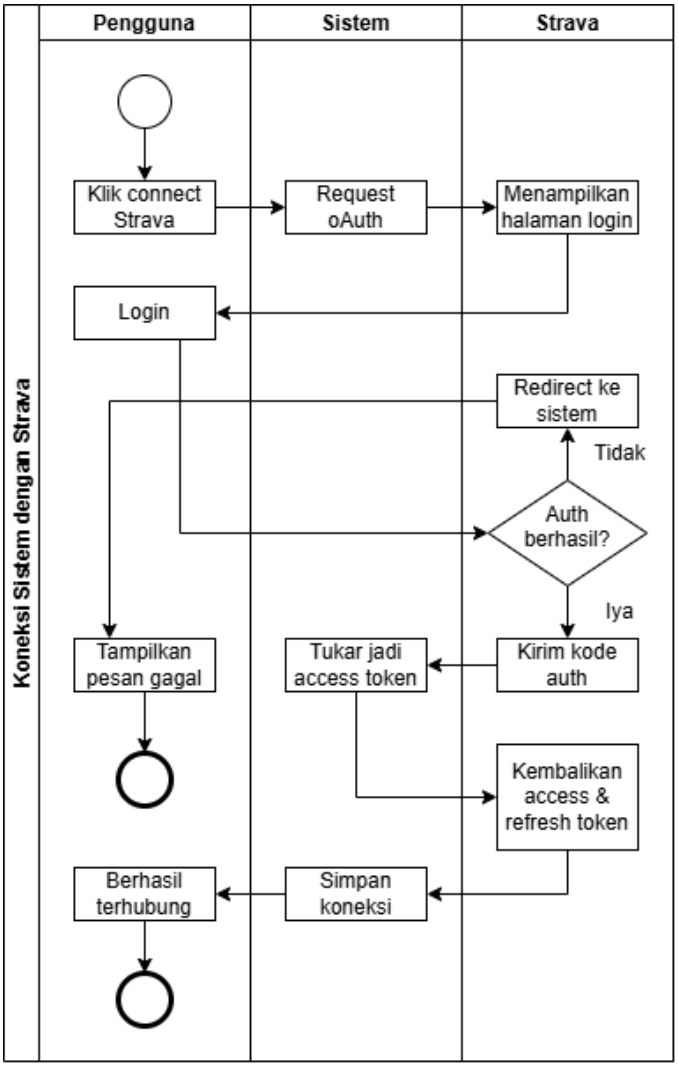
Relasi antar entitas dirancang untuk mendukung pengelolaan histori aktivitas dan proses adaptasi latihan. Setiap pengguna dapat memiliki banyak aktivitas dan rencana latihan, di mana setiap rencana terdiri dari beberapa minggu dan sesi latihan. Struktur ini memungkinkan sistem untuk melakukan analisis performa berbasis histori serta menyesuaikan rencana latihan secara berkelanjutan sesuai dengan kondisi pengguna.



Gambar 3.3 Bentuk Sederhana Skema Database

Alur Koneksi Sistem dengan Strava

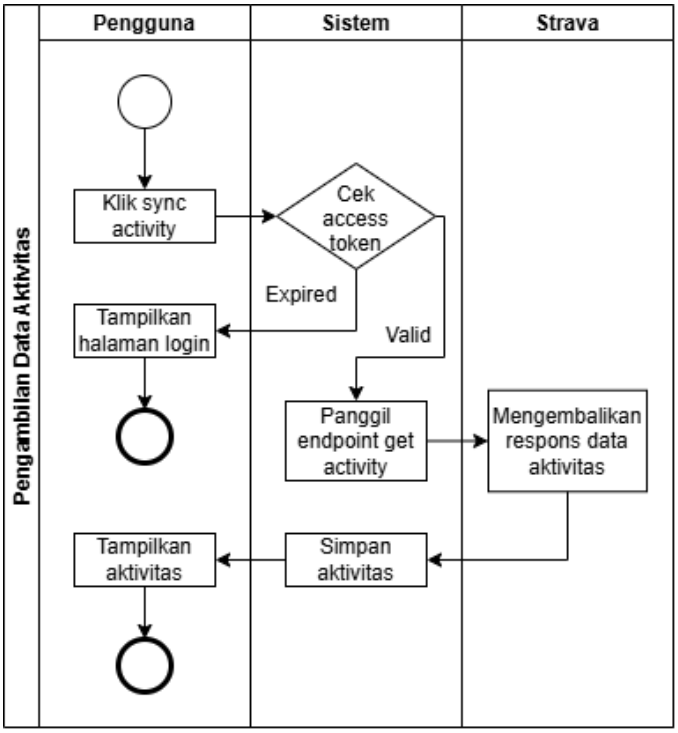
Proses integrasi akun Strava dengan sistem memanfaatkan mekanisme otentikasi OAuth 2.0 melalui alur *Authorization Code Grant*. Alur dimulai ketika pengguna mengklik tombol koneksi Strava pada antarmuka sistem, yang memicu sistem untuk mengirimkan permintaan OAuth ke pihak Strava hingga halaman login dan otorisasi ditampilkan. Setelah pengguna melakukan otentikasi, Strava mendeteksi keberhasilan autentikasi; jika otentikasi gagal atau ditolak, Strava mengarahkan kembali pengguna ke sistem untuk menampilkan pesan kegagalan dan mengakhiri proses. Sebaliknya, jika otentikasi berhasil, Strava mengirimkan *authorization code* yang kemudian ditukarkan oleh backend sistem untuk mendapatkan *access token* dan *refresh token*. Setelah kredensial token tersebut diterima dan disimpan secara aman ke dalam basis data sistem, sistem mengonfirmasi status terhubung kepada pengguna hingga alur pertukaran data berhasil diselesaikan. Detail alur dapat dilihat di Gambar 3.4.



Gambar 3.4 Alur Koneksi Sistem dengan Strava

Alur Pengambilan Data Aktivitas dari Strava

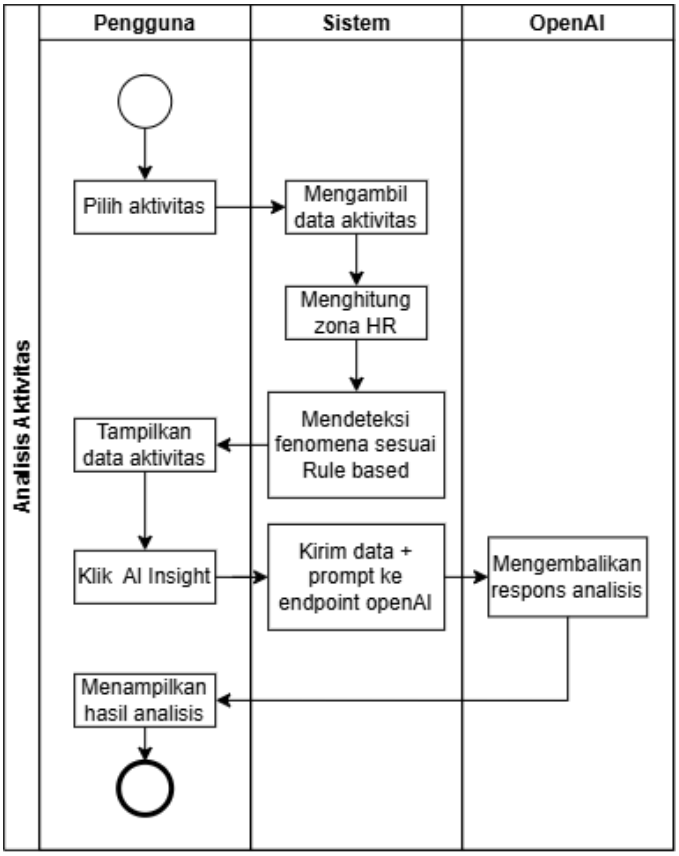
Proses pengambilan data aktivitas dimulai ketika pengguna mengklik tombol *sync activity*, yang memicu sistem untuk mengecek validitas *access token* pengguna. Jika *access token* sudah kadaluarsa (*expired*), sistem mengarahkan pengguna ke halaman login untuk melakukan re-autentikasi dan mengakhiri proses. Sebaliknya, jika *access token* masih valid, sistem memanggil *endpoint get activity* ke API Strava, lalu Strava mengembalikan respons data aktivitas pengguna. Selanjutnya, sistem menyimpan data aktivitas tersebut ke basis data dan menampilkannya pada antarmuka pengguna hingga alur sinkronisasi selesai. Detail alur dapat dilihat di Gambar 3.5.



Gambar 3.5 Alur Pengambilan Data Aktivitas

Alur Analisis Aktivitas (Avtivity Analysis)

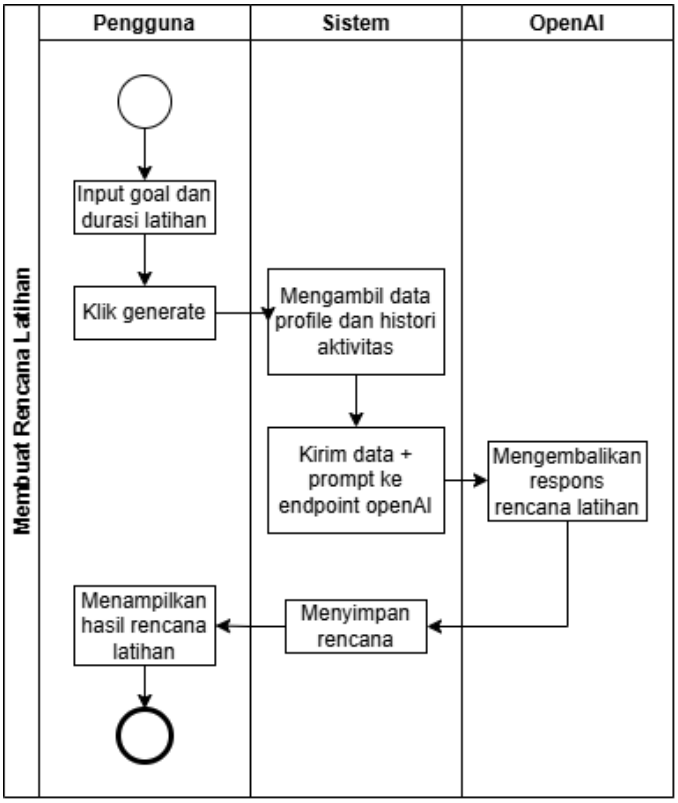
Proses analisis aktivitas dimulai saat pengguna memilih salah satu data aktivitas pada antarmuka aplikasi. Sistem kemudian mengambil data aktivitas tersebut dari basis data, menghitung kalkulasi zona *heart rate* (HR), dan melakukan deteksi fenomena fisiologis menggunakan algoritma *rule-based* sebelum menampilkan visualisasi data aktivitas kepada pengguna. Apabila pengguna menginginkan penjelasan yang lebih mendalam dan mengklik tombol *AI Insight*, sistem akan menyusun *prompt* kontekstual beserta data hasil deteksi fisiologis untuk dikirimkan ke *endpoint* API OpenAI. Setelah OpenAI memproses dan mengembalikan respons hasil interpretasi, sistem menerima data tersebut dan menyajikannya dalam bentuk wawasan naratif pada layar pengguna hingga alur analisis selesai. Detail alur dapat dilihat di gambar 3.6.



Gambar 3.6 Alur Analisis Aktivitas

Alur Pembuatan Rencana Latihan

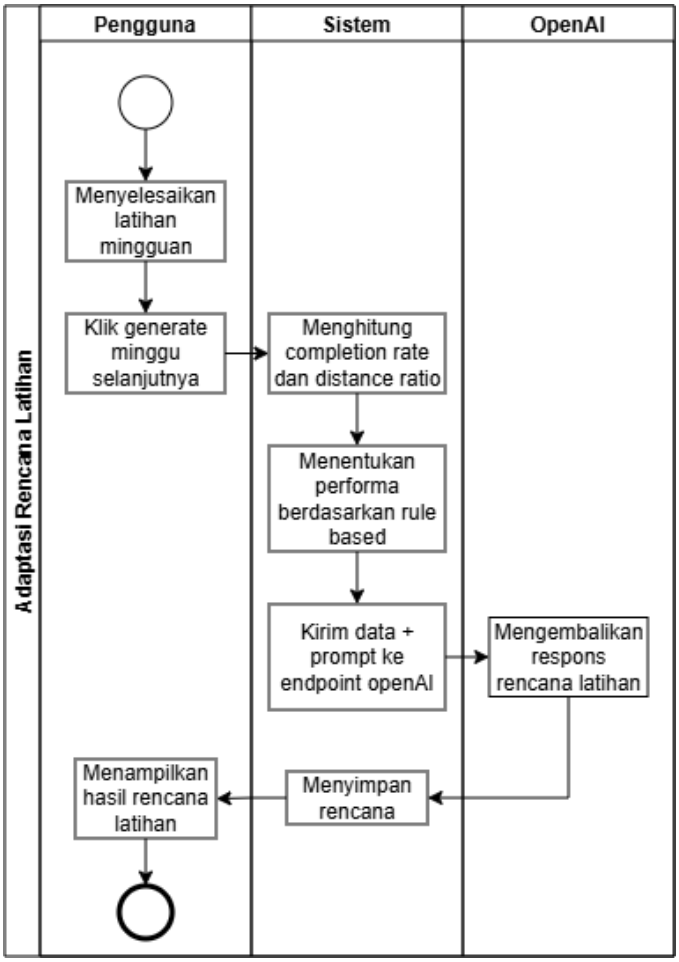
Proses pembuatan rencana latihan dimulai ketika pengguna memasukkan *goal* target dan durasi latihan pada antarmuka aplikasi, kemudian mengklik tombol *generate*. Sistem memproses permintaan tersebut dengan mengambil data profil serta histori aktivitas pengguna dari basis data sebagai konteks acuan, lalu mengirimkan data tersebut bersama *prompt* ke *endpoint* API OpenAI. Setelah OpenAI mengembalikan respons berupa instruksi rencana latihan, sistem menerima dan menyimpan rencana tersebut ke dalam basis data. Terakhir, sistem menampilkan hasil rencana latihan ke pengguna. Detil alur dapat dilihat di Gambar 3.7.



Gambar 3.7 Alur Pembuatan Rencana Latihan

Alur Adaptasi Rencana Latihan

Alur adaptasi rencana latihan dimulai ketika **Pengguna** menyelesaikan latihan mingguan dan menekan tombol untuk membuat (generate) rencana minggu selanjutnya. Selanjutnya, **Sistem** akan menghitung nilai *completion rate* dan *distance ratio*, menggunakannya untuk menentukan tingkat performa berdasarkan *rule-based*, lalu mengirimkan data beserta *prompt* tersebut ke *endpoint* **OpenAI**. Setelah OpenAI mengembalikan respons berupa rencana latihan yang baru, Sistem akan menyimpan rencana tersebut dan menampilkannya kembali kepada Pengguna sebagai akhir dari proses. Detil alur dapat dilihat di Gambar 3.8.



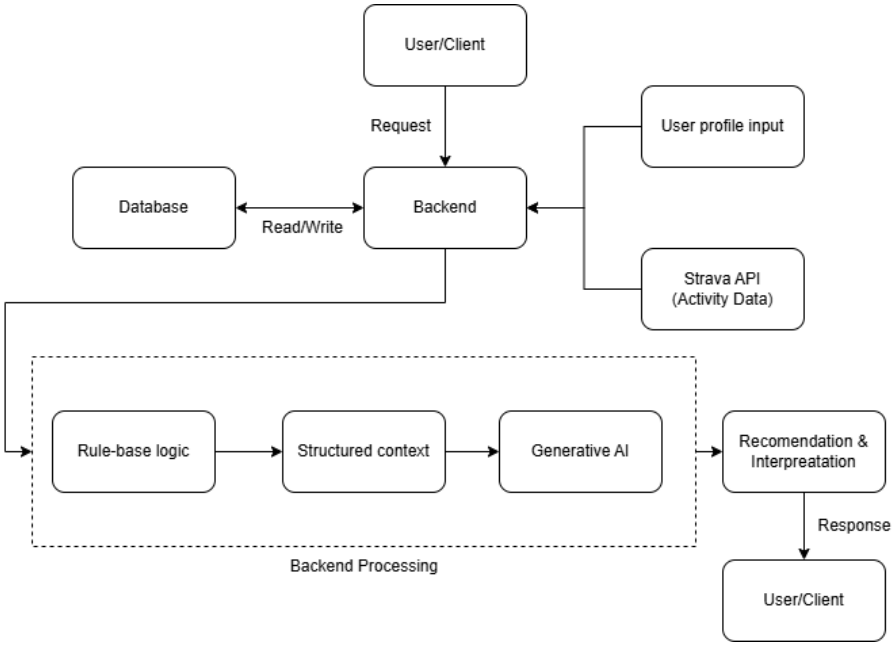
Gambar 3.8 Alur Adaptasi Rencana Latihan

Alur Data Sistem

Alur data sistem menggambarkan bagaimana data mengalir dari sumber hingga menghasilkan *output* berupa analisis performa dan rekomendasi latihan. Proses dimulai dari pengguna melalui *client* yang mengirimkan *request* ke *backend*. *Backend* kemudian mengambil data dari dua sumber utama, yaitu data profil pengguna yang diinput secara langsung serta data aktivitas yang diperoleh melalui integrasi dengan *Strava API*. Seluruh data yang diterima kemudian diproses dan disimpan dalam *database* untuk keperluan pengolahan lebih lanjut serta sebagai penyimpanan histori aktivitas pengguna.

Selanjutnya, *backend* melakukan proses analisis terhadap data aktivitas yang telah tersimpan untuk menghasilkan indikator performa pengguna. Hasil analisis tersebut digunakan dalam mekanisme evaluasi berbasis aturan untuk menentukan penyesuaian rencana latihan. Proses ini dilanjutkan dengan penyusunan konteks terstruktur yang kemudian dikirim ke layanan *Generative AI* untuk menghasilkan rekomendasi dan interpretasi dalam bentuk bahasa

natural. *Output* akhir kemudian dikembalikan ke *client* sebagai respons, sehingga pengguna dapat memahami hasil analisis dan rekomendasi latihan yang diberikan.



Gambar 3.9 Alur Data Sistem

Perancangan Modul Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini terdiri dari beberapa modul utama yang saling terintegrasi untuk mengolah data aktivitas menjadi rekomendasi latihan yang adaptif. Proses dimulai dari modul analisis performa yang bertugas mengolah data aktivitas pengguna menjadi indikator performa. Data yang digunakan meliputi parameter seperti jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi. Analisis dilakukan secara terintegrasi dengan mempertimbangkan histori aktivitas dalam periode tertentu untuk mengidentifikasi pola latihan, seperti konsistensi dan perubahan performa pengguna.

Hasil dari analisis performa kemudian digunakan dalam modul evaluasi berbasis aturan untuk menentukan penyesuaian rencana latihan. Modul ini merupakan inti pengambilan keputusan dalam sistem, di mana hasil performa dibandingkan dengan target latihan serta mempertimbangkan kondisi pengguna. Berdasarkan evaluasi tersebut, sistem menentukan bentuk adaptasi yang diperlukan, seperti melanjutkan progres, menahan beban latihan, menurunkan intensitas, atau menyesuaikan fase latihan. Aturan yang digunakan dirancang berdasarkan prinsip *sport science* sehingga keputusan yang dihasilkan bersifat konsisten dan dapat dijelaskan.

Selanjutnya, hasil analisis dan keputusan adaptasi disusun dalam bentuk konteks terstruktur yang berisi informasi penting seperti profil pengguna, histori aktivitas, serta indikator performa. Konteks ini kemudian digunakan sebagai input bagi modul *Generative AI* untuk menghasilkan interpretasi dalam bentuk bahasa natural. Pada tahap ini, *Generative AI* berperan sebagai lapisan interpretasi yang menyampaikan hasil analisis dan rekomendasi latihan secara lebih komunikatif dan mudah dipahami oleh pengguna. Dengan integrasi antar modul tersebut, sistem mampu menghasilkan rekomendasi latihan yang tidak hanya adaptif, tetapi juga kontekstual dan informatif.

Perancangan Analisis Aktivitas

Dalam penelitian ini, digunakan sebanyak **28 aktivitas lari** yang terdiri atas 10 aktivitas *easy run*, 5 aktivitas *tempo run*, 5 aktivitas *long run*, dan 8 aktivitas *interval*. Aktivitas tersebut dianalisis berdasarkan tingkat variabilitas *pace* menggunakan *Coefficient of Variation* (CV) untuk mengidentifikasi perbedaan karakteristik antara aktivitas dengan pola *pacing* yang relatif stabil (*steady-state*) dan aktivitas dengan variasi intensitas (*unsteady-state*). Hasil perhitungan CV untuk masing-masing kategori aktivitas ditunjukkan pada Tabel 3.1.

Tabel 3.2 Perhitungan CV setiap kategori

Jenis Aktivitas	N	Mean CV
Easy run	10	0,10
Tempo run	5	0,14
Long run	5	0,12
Interval	8	0,57

Berdasarkan hasil analisis, aktivitas easy run, tempo run, dan long run menunjukkan nilai CV rata-rata yang relatif rendah, dengan rentang 0,10–0,14. Sementara itu, aktivitas interval menunjukkan nilai CV rata-rata sebesar 0,57. Perbedaan tersebut menunjukkan adanya pemisahan tingkat variabilitas pace antara aktivitas dengan pola pacing yang relatif stabil dan aktivitas dengan perubahan intensitas yang lebih tinggi.

Berdasarkan pemisahan tersebut, penelitian ini menggunakan nilai CV sebesar 0,30 sebagai *threshold* operasional untuk klasifikasi aktivitas. Nilai tersebut berada di antara nilai CV aktivitas *steady-state* dan *interval* pada dataset yang digunakan. Aktivitas dengan nilai CV $\leq 0{,}30$ dikategorikan sebagai *steady-state*, sedangkan aktivitas dengan CV > 0,30 dikategorikan sebagai *unsteady-state*. Nilai 0,30 merupakan *threshold* empiris yang diperoleh berdasarkan

karakteristik 28 aktivitas dalam penelitian ini dan tidak dimaksudkan sebagai batas universal untuk klasifikasi aktivitas lari.

Teknologi Sistem

Sistem dalam penelitian ini dikembangkan menggunakan beberapa teknologi untuk mendukung proses pengolahan data, analisis, serta penyusunan rekomendasi latihan. *Backend* sistem dibangun menggunakan *FastAPI*, yaitu *framework* berbasis *Python* yang digunakan untuk mengelola logika aplikasi, pemrosesan data, serta integrasi dengan layanan eksternal. Sementara itu, antarmuka pengguna dikembangkan menggunakan *Next.js* sebagai *framework frontend* untuk menyediakan interaksi yang responsif antara pengguna dan sistem.

Untuk penyimpanan data, sistem menggunakan *PostgreSQL* sebagai *database* relasional yang berfungsi menyimpan data pengguna, aktivitas olahraga, serta rencana latihan. Data aktivitas lari diperoleh melalui integrasi dengan *Strava API*, yang menyediakan informasi seperti jarak, durasi, detak jantung, dan parameter lainnya yang digunakan dalam proses analisis performa.

Selain itu, sistem memanfaatkan layanan *Generative AI* berbasis *Large Language Model* (LLM), yaitu model *GPT-5 Mini*, untuk menghasilkan interpretasi dan rekomendasi dalam bentuk bahasa natural. Model ini digunakan untuk menerjemahkan hasil analisis dan keputusan berbasis aturan menjadi penjelasan yang lebih mudah dipahami oleh pengguna. Penggunaan kombinasi teknologi tersebut memungkinkan sistem berjalan secara terintegrasi, adaptif, serta mampu menyampaikan hasil analisis secara informatif.

3.2.4 Demonstrasi

Tahap demonstrasi dilakukan untuk menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat digunakan untuk mengolah data aktivitas olahraga dan menghasilkan rekomendasi latihan secara adaptif. Demonstrasi dilakukan menggunakan skenario pengguna yang terhubung dengan data aktivitas dari Strava, sehingga sistem dapat memproses data secara nyata.

Dalam skenario ini, pengguna melakukan autentikasi melalui sistem dan menghubungkan akun Strava. *Backend* kemudian mengambil data aktivitas pengguna dan menyimpannya ke dalam database. Data tersebut diproses melalui modul analisis performa dan evaluasi berbasis aturan untuk menentukan penyesuaian rencana latihan. Hasil dari proses tersebut berupa rekomendasi latihan yang disusun dalam bentuk bahasa natural melalui pemanfaatan *Generative AI*. Dengan demikian, demonstrasi ini menunjukkan bahwa sistem mampu

menjalankan seluruh alur mulai dari pengambilan data hingga menghasilkan rekomendasi dalam satu proses yang terintegrasi.

3.2.5 Evaluasi

Tahap evaluasi dilakukan untuk menilai apakah sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utama sesuai dengan tujuan penelitian. Evaluasi dalam penelitian ini difokuskan pada dua bentuk pengujian, yaitu pengujian fungsional sistem dan pengujian pengguna.

Pengujian fungsional sistem dilakukan untuk mengevaluasi kemampuan sistem dalam menjalankan dua fitur utama, yaitu analisis aktivitas lari dan *adaptive training plan*. Pada fitur analisis aktivitas, pengujian dilakukan untuk melihat kemampuan sistem dalam mengolah data aktivitas, mengenali karakteristik aktivitas lari, melakukan segmentasi aktivitas, serta menghasilkan interpretasi yang sesuai dengan data yang tersedia. Sementara itu, pada fitur *adaptive training plan*, pengujian dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam menentukan penyesuaian latihan berdasarkan histori dan kondisi performa pengguna, seperti melanjutkan progres latihan, menahan peningkatan beban, menurunkan beban latihan, atau memperpanjang fase latihan.

Selain pengujian fungsional, dilakukan juga pengujian pengguna secara terbatas kepada pelari rekreasional menggunakan pendekatan *User Acceptance Testing* (UAT). Pengujian ini bertujuan untuk memperoleh penilaian terhadap kemudahan penggunaan sistem, kejelasan hasil analisis, relevansi rekomendasi latihan, serta manfaat dan kepercayaan sistem bagi pengguna. Aspek penilaian disusun dengan mengacu pada konsep *usability* dalam ISO 9241-11 yang mencakup *effectiveness, efficiency,* dan *satisfaction*, serta disesuaikan dengan karakteristik dan tujuan sistem yang dikembangkan. Penilaian pengguna dilakukan menggunakan kuesioner berbasis skala Likert dengan rentang nilai 1 sampai 5. Aspek dan instrumen pengujian dapat di lihat di Tabel 3.2.

Tabel 3.3 Aspek dan Instrumen Pengujian Pengguna

Aspek	Kode	Pertanyaan
Kemudahan Penggunaan	U1	Tampilan dan navigasi sistem mudah dipahami.
	U2	Proses login, koneksi Strava, dan import aktivitas mudah dilakukan.
	U3	Saya dapat menggunakan fitur-fitur utama sistem tanpa kesulitan berarti.
Kejelasan Analisis Aktivitas	U4	Hasil analisis aktivitas lari yang ditampilkan sistem mudah dipahami.
	U5	Insight analisis aktivitas yang diberikan sistem terasa jelas dan sesuai dengan aktivitas saya.
Relevansi Adaptive Training Plan	U6	Rencana latihan yang dihasilkan sistem sesuai dengan kondisi latihan saya.
	U7	Sesi latihan mingguan yang direkomendasikan sistem terlihat realistis untuk dijalankan.
	U8	Penyesuaian atau adaptasi rencana latihan yang diberikan sistem terasa masuk akal berdasarkan aktivitas saya.
Manfaat dan Kepercayaan Sistem	U9	Saya dapat memahami alasan di balik rekomendasi atau adaptasi latihan yang diberikan sistem.
	U10	Sistem membantu saya memahami performa dan merencanakan latihan lari dengan lebih terarah.

Instrumen kuesioner dalam penelitian ini disusun secara khusus untuk memperoleh penilaian pengguna terhadap sistem yang dikembangkan. Penelitian ini tidak melakukan pengujian validitas dan reliabilitas secara statistik karena instrumen digunakan dalam pengujian pengguna secara terbatas dan tidak dimaksudkan sebagai instrumen pengukuran psikometrik yang dapat digeneralisasikan. Penyusunan instrumen mengacu pada konsep *usability* serta disesuaikan dengan karakteristik dan fungsi utama sistem. Tidak dilakukannya pengujian validitas dan reliabilitas secara statistik menjadi keterbatasan penelitian, sehingga hasil kuesioner digunakan sebagai gambaran persepsi pengguna terhadap sistem dan tidak dimaksudkan untuk menggeneralisasikan karakteristik instrumen pada populasi yang lebih luas.

Nilai setiap aspek dihitung menggunakan rata-rata skor seluruh pertanyaan pada aspek tersebut. Karena UAT tidak menetapkan kategori interpretasi universal untuk skor kuesioner, penelitian ini menggunakan kategori interpretasi yang diturunkan dari skala Likert lima poin.

Lebar interval diperoleh dengan membagi rentang skor 1 sampai 5 menjadi lima kategori, yaitu $\frac{5-1}{5} = 0{,}80$. Berdasarkan interval tersebut, skor rata-rata dikelompokkan ke dalam lima kategori interpretasi sebagaimana ditunjukkan pada Tabel 3.3.

Tabel 3.4 Kategori Interpretasi Skor Kuisioner UAT

Rentang Nilai	Interpretasi
4,21 – 5,00	Sangat Baik
3,41 – 4,20	Baik
2,61 – 3,40	Cukup
1,81 – 2,60	Kurang
1,00 – 1,80	Sangat Kurang

3.2.6 Komunikasi

Tahap komunikasi hasil merupakan tahap akhir dalam metode *Design Science Research Methodology* (DSRM), yang bertujuan untuk menyampaikan hasil penelitian kepada pihak yang berkepentingan. Pada penelitian ini, hasil pengembangan sistem analisis performa dan rekomendasi latihan disusun dalam bentuk laporan skripsi yang menjelaskan seluruh proses penelitian secara sistematis. Laporan penelitian mencakup tahapan identifikasi masalah, perancangan dan pengembangan sistem, hingga evaluasi terhadap sistem yang telah dibangun. Selain itu, hasil penelitian juga disajikan dalam bentuk analisis dan pembahasan untuk memberikan pemahaman yang lebih mendalam mengenai kinerja sistem dalam menghasilkan rekomendasi latihan yang adaptif.

Dengan adanya dokumentasi dalam bentuk skripsi ini, diharapkan hasil penelitian dapat menjadi referensi bagi pengembangan sistem serupa di masa mendatang serta memberikan kontribusi dalam pemanfaatan data aktivitas olahraga untuk mendukung peningkatan performa pengguna.

BAB IV
HASIL DAN PEMBAHASAN

4.1 Hasil Implementasi Sistem

Sistem yang dikembangkan dalam penelitian ini telah berhasil diimplementasikan dalam bentuk aplikasi berbasis web yang dapat digunakan untuk mengolah data aktivitas olahraga dan menghasilkan rekomendasi latihan secara adaptif. Implementasi sistem mencakup pengembangan antarmuka pengguna, integrasi backend dengan sumber data eksternal, serta penerapan mekanisme analisis performa dan adaptasi latihan berbasis aturan yang dikombinasikan dengan *Generative AI*.

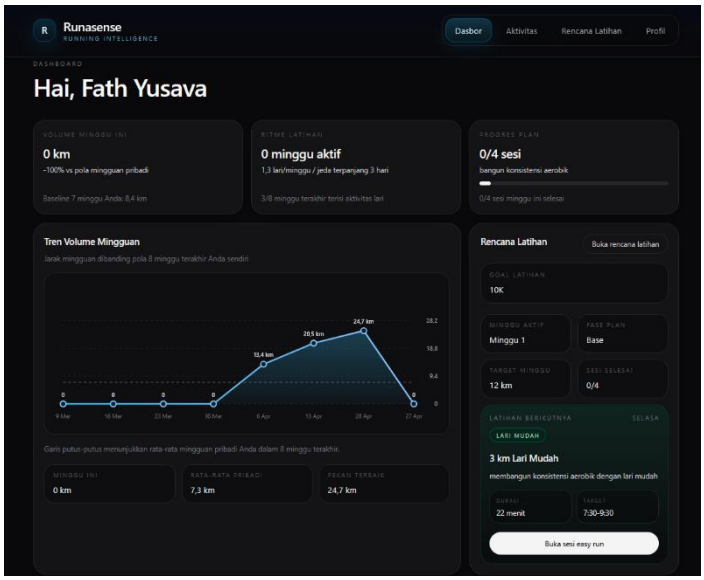
Sistem mampu mengambil data aktivitas pengguna dari *Strava API*, menyimpannya dalam *database*, serta mengolah data tersebut untuk menghasilkan analisis performa. Hasil analisis kemudian digunakan untuk menentukan penyesuaian rencana latihan, yang selanjutnya diinterpretasikan dalam bentuk rekomendasi yang mudah dipahami oleh pengguna. Dengan demikian, sistem yang dibangun tidak hanya berfungsi sebagai alat pemantauan aktivitas, tetapi juga sebagai sistem pendukung pengambilan keputusan latihan yang adaptif.

4.1.1 Implementasi Antarmuka Pengguna

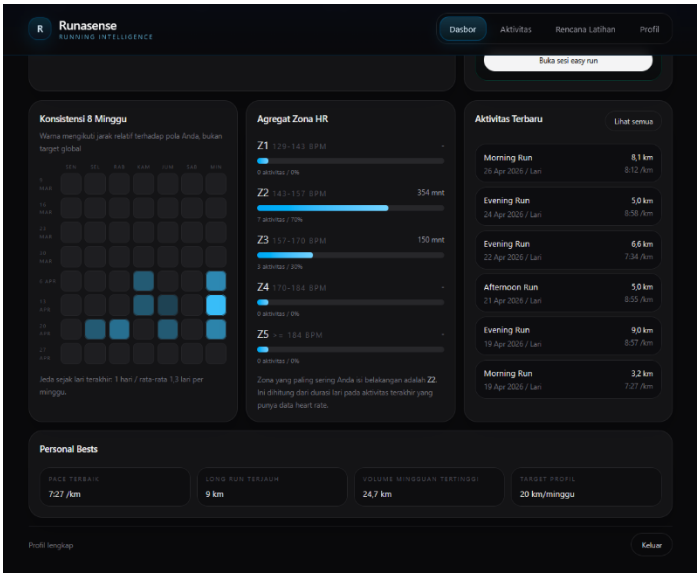
Antarmuka pengguna dalam sistem ini dikembangkan sebagai media interaksi antara pengguna dengan sistem, serta sebagai sarana untuk merepresentasikan hasil pengolahan data aktivitas dan rencana latihan yang dihasilkan. Antarmuka tidak hanya berfungsi sebagai tampilan visual, tetapi juga sebagai bagian dari sistem yang menyajikan informasi secara terstruktur agar mudah dipahami oleh pengguna. Melalui antarmuka ini, pengguna dapat memantau aktivitas lari, melihat hasil analisis performa, serta mengikuti rencana latihan yang telah disesuaikan dengan kondisi mereka.

Implementasi antarmuka dirancang untuk menampilkan berbagai komponen utama sistem, seperti ringkasan aktivitas, detail analisis berbasis AI, serta rencana latihan mingguan yang bersifat adaptif. Setiap tampilan disusun untuk merefleksikan proses yang terjadi di backend, sehingga pengguna tidak hanya melihat hasil akhir, tetapi juga dapat memahami konteks dari informasi yang disajikan. Dengan pendekatan ini, antarmuka berperan sebagai jembatan antara proses komputasi di sistem dan interpretasi yang dapat digunakan secara praktis oleh pengguna dalam aktivitas latihan sehari-hari.

Halaman Dashboard



Gambar 4.1 Halaman Dashboard (a)

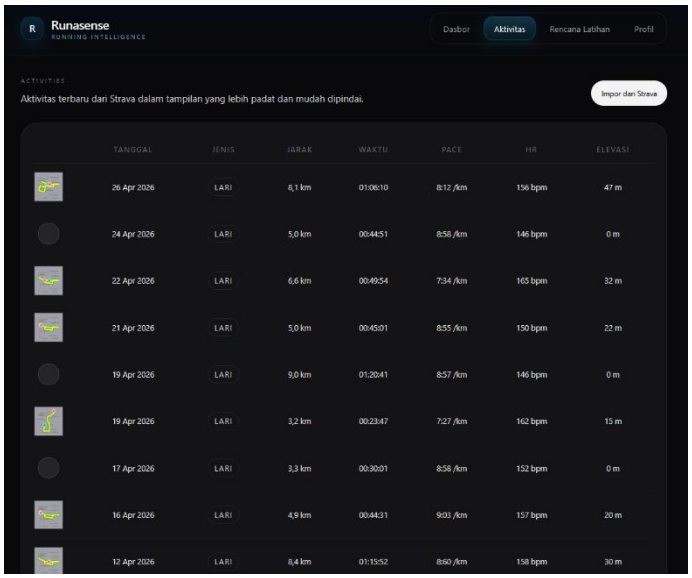


Gambar 4.2 Halaman Dashboard (b)

Halaman dashboard merupakan tampilan utama yang menyajikan ringkasan kondisi aktivitas dan progres latihan pengguna secara keseluruhan. Pada bagian ini, sistem menampilkan informasi seperti total jarak tempuh mingguan, jumlah sesi latihan yang telah diselesaikan, serta progres terhadap rencana latihan yang sedang dijalankan. Selain itu, ditampilkan pula grafik tren volume mingguan yang memberikan gambaran perkembangan aktivitas pengguna dari waktu ke waktu. Informasi ini membantu pengguna memahami pola latihan secara umum tanpa perlu melihat detil setiap aktivitas.

Selain ringkasan tersebut, dashboard juga menampilkan distribusi zona detak jantung serta daftar aktivitas terbaru yang telah dilakukan. Distribusi zona detak jantung memberikan indikasi intensitas latihan yang dijalankan, sementara aktivitas terbaru menjadi referensi langsung terhadap data yang digunakan dalam proses analisis sistem. Dengan demikian, halaman dashboard tidak hanya berfungsi sebagai tampilan awal, tetapi juga sebagai sarana monitoring yang menghubungkan data aktivitas, analisis performa, dan rencana latihan dalam satu tampilan yang terintegrasi.

Halaman Aktivitas



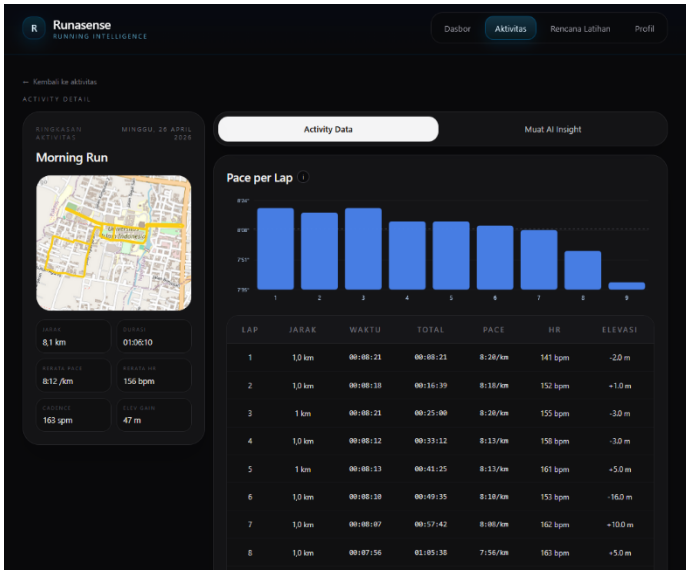
Gambar 4.3 Halaman Aktivitas

Halaman aktivitas menampilkan daftar seluruh aktivitas lari yang telah dilakukan oleh pengguna dan tersinkronisasi dari platform Strava. Pada halaman ini, setiap aktivitas ditampilkan dalam bentuk ringkasan yang mencakup informasi seperti jarak, durasi, kecepatan rata-rata, serta waktu pelaksanaan aktivitas. Tampilan ini memudahkan pengguna untuk menelusuri riwayat latihan secara kronologis dan memilih aktivitas tertentu untuk dianalisis lebih lanjut.

Selain berfungsi sebagai daftar riwayat, halaman ini juga menjadi pintu masuk menuju analisis performa yang lebih detail. Ketika pengguna memilih salah satu aktivitas, sistem akan menampilkan informasi lengkap terkait aktivitas tersebut, termasuk grafik seperti distribusi *pace*, detak jantung, dan elevasi. Data ini menjadi dasar bagi proses analisis yang dilakukan oleh sistem, sehingga halaman aktivitas berperan penting dalam menghubungkan data aktivitas dengan hasil interpretasi yang dihasilkan pada tahap berikutnya.

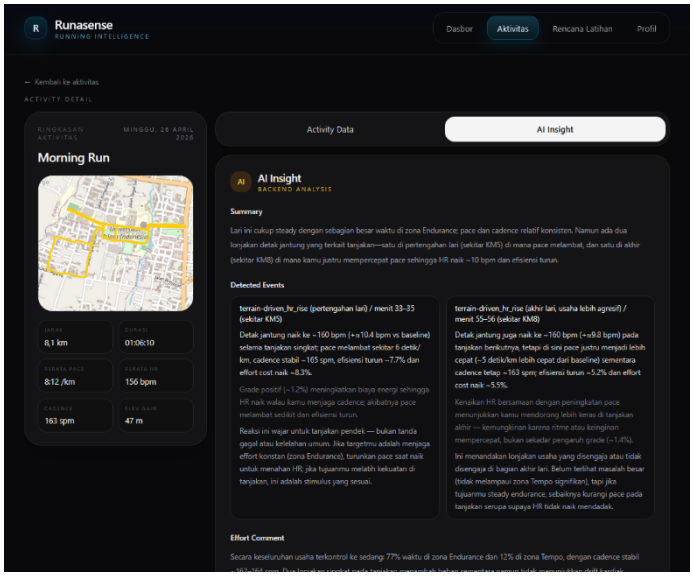
Halaman Analisis Aktivitas

Halaman analisis aktivitas menampilkan hasil interpretasi performa yang dihasilkan oleh sistem berdasarkan data aktivitas yang telah diproses. Pada halaman ini, sistem tidak hanya menampilkan data mentah, tetapi juga menyajikan ringkasan analisis dalam bentuk narasi, seperti *summary*, *effort comment*, serta evaluasi terhadap sesi latihan. Selain itu, sistem juga menampilkan *detected events* yang menunjukkan fenomena tertentu selama aktivitas, seperti peningkatan detak jantung atau perubahan efisiensi, yang telah diidentifikasi melalui mekanisme berbasis aturan.



Gambar 4.4 Halaman Detil Aktivitas

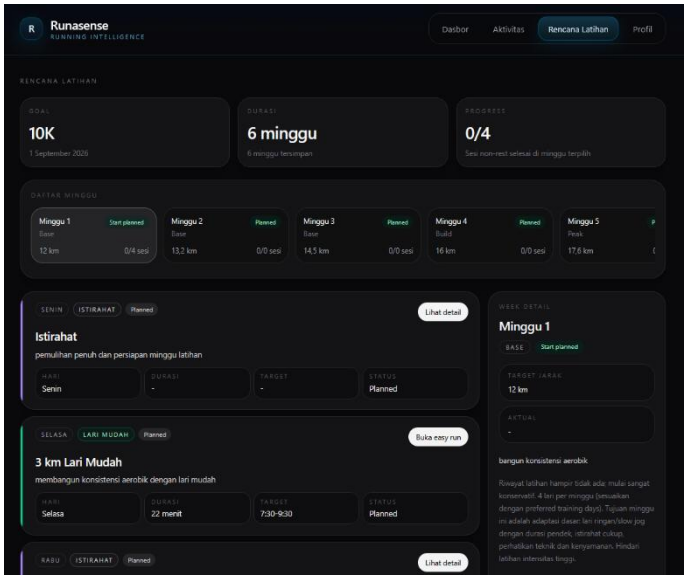
Tampilan ini merupakan representasi langsung dari proses analisis yang dilakukan oleh sistem, di mana data aktivitas terlebih dahulu diolah menjadi *context* terstruktur sebelum dikirim ke model bahasa untuk menghasilkan interpretasi. Dengan demikian, informasi yang ditampilkan tidak bersifat generatif semata, tetapi didasarkan pada *evidence* yang berasal dari data aktivitas pengguna. Halaman ini menjadi komponen penting dalam sistem karena menghubungkan hasil komputasi di backend dengan pemahaman yang dapat digunakan oleh pengguna dalam mengevaluasi performa latihan mereka.



Gambar 4.5 Halaman Analisis Aktivitas

Halaman Rencana Latihan

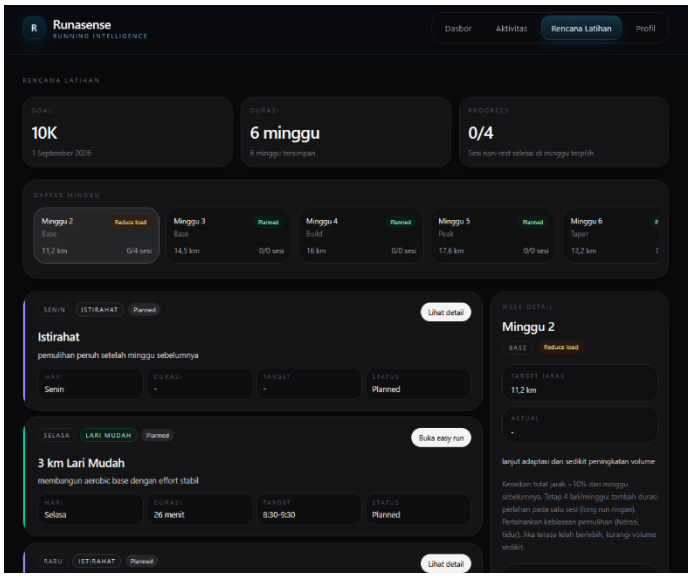
Halaman rencana latihan menampilkan struktur *training plan* yang dihasilkan oleh sistem berdasarkan profil pengguna, riwayat aktivitas, serta hasil evaluasi performa. Pada halaman ini, rencana latihan disusun dalam bentuk mingguan yang mencakup informasi seperti fase latihan (*base*, *build*, *peak*, *taper*), target jarak mingguan, serta fokus latihan pada setiap minggu. Penyajian ini menunjukkan bahwa rencana latihan tidak dibuat secara acak, tetapi mengikuti prinsip periodisasi yang umum digunakan dalam sport science.



Gambar 4.6 Halaman Rencana Latihan

Selain itu, setiap minggu dapat ditelusuri lebih lanjut untuk melihat detail sesi latihan harian yang harus dijalankan oleh pengguna. Setiap sesi dilengkapi dengan informasi seperti jenis latihan, target jarak atau durasi, intensitas, serta panduan pelaksanaan. Dengan struktur ini, pengguna tidak hanya mengetahui target mingguan, tetapi juga langkah-langkah konkret yang perlu dilakukan dalam setiap sesi latihan. Halaman ini menjadi representasi implementasi dari *adaptive training plan*, di mana rencana yang ditampilkan dapat berubah sesuai dengan kondisi dan performa pengguna.

Adaptasi Rencana Latihan



Gambar 4.7 Halaman Adaptasi Rencana Latihan

Halaman rencana latihan juga menampilkan hasil adaptasi yang dilakukan sistem berdasarkan realisasi sesi latihan pengguna. Adaptasi ini ditunjukkan melalui perubahan pada target latihan mingguan serta indikator aksi adaptasi, seperti *reduce load*, *hold load*, atau *progress as planned*. Perubahan tersebut terjadi sebagai respons terhadap performa pengguna pada minggu sebelumnya, yang dievaluasi berdasarkan tingkat penyelesaian sesi dan pencapaian target latihan. Dengan demikian, pengguna dapat melihat secara langsung bagaimana sistem menyesuaikan rencana latihan sesuai dengan kondisi aktual.

Selain itu, perubahan yang terjadi tidak hanya bersifat visual, tetapi juga memengaruhi struktur rencana latihan yang ditampilkan, seperti penurunan atau penyesuaian target jarak mingguan. Hal ini menunjukkan bahwa sistem tidak hanya menghasilkan rencana latihan awal, tetapi juga melakukan pembaruan secara dinamis berdasarkan data realisasi. Dengan adanya tampilan ini, pengguna dapat memahami hubungan antara performa yang dicapai dengan

penyesuaian rencana latihan yang diberikan, sehingga proses adaptasi menjadi lebih transparan dan mudah dipahami.

4.1.2 Implementasi Pengambilan Data

Implementasi sistem memungkinkan pengambilan data aktivitas pengguna secara terintegrasi dari sumber eksternal. Pengguna terlebih dahulu menghubungkan akun mereka dengan sistem, sehingga data aktivitas dapat diakses dan digunakan dalam proses selanjutnya. Dengan mekanisme ini, sistem mampu memperoleh data aktivitas secara otomatis tanpa memerlukan input manual dari pengguna.

Data aktivitas yang berhasil diperoleh mencakup berbagai parameter yang merepresentasikan performa latihan, seperti jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi. Informasi tersebut menjadi input utama dalam sistem dan digunakan sebagai dasar dalam proses analisis performa. Ketersediaan data yang lengkap memungkinkan sistem untuk memahami kondisi latihan pengguna secara lebih akurat.

Selain itu, data aktivitas yang diperoleh disimpan sebagai histori yang terstruktur, sehingga dapat digunakan untuk analisis berkelanjutan. Dengan memanfaatkan histori aktivitas, sistem tidak hanya mengevaluasi satu sesi latihan, tetapi juga mampu mengidentifikasi pola performa pengguna dalam periode tertentu, seperti konsistensi latihan dan perubahan performa dari waktu ke waktu. Hal ini menunjukkan bahwa sistem mampu menyediakan data yang relevan dan berkelanjutan untuk mendukung proses analisis dan adaptasi latihan.

4.1.3 Implementasi Analisis Performa

Implementasi analisis performa dalam sistem ini bertujuan untuk mengubah data aktivitas lari yang bersifat mentah menjadi informasi yang lebih bermakna dan dapat digunakan dalam proses evaluasi. Data aktivitas yang diperoleh, seperti jarak, durasi, *pace*, *cadence*, elevasi, dan detak jantung, terlebih dahulu diproses untuk memahami karakter aktivitas pengguna. Proses ini tidak hanya melihat satu aktivitas secara terpisah, tetapi juga mempertimbangkan histori aktivitas untuk mengidentifikasi pola performa, seperti konsistensi latihan dan perubahan kondisi dari waktu ke waktu.

Selanjutnya, sistem melakukan analisis terhadap struktur aktivitas untuk menentukan pola lari yang dilakukan, seperti *steady run* atau *unsteady run*. Berdasarkan klasifikasi tersebut, sistem menerapkan metode segmentasi yang sesuai, sehingga perbandingan performa dilakukan secara lebih relevan. Selain itu, sistem juga menghitung distribusi zona detak jantung

untuk memahami intensitas latihan dari sisi fisiologis, dengan pendekatan yang disesuaikan berdasarkan ketersediaan data profil pengguna.

Tahap akhir dari analisis performa adalah deteksi fenomena penting berbasis aturan yang bertujuan untuk menangkap pola-pola yang tidak terlihat secara langsung dari data mentah. Fenomena seperti peningkatan detak jantung tanpa perubahan pace (*cardiac drift*), pengaruh elevasi terhadap intensitas (*terrain-driven heart rate rise*), serta penurunan efisiensi di akhir aktivitas (*late fatigue efficiency drop*) diidentifikasi sebagai bagian dari *evidence* analisis. Hasil dari seluruh proses ini kemudian disusun dalam bentuk representasi terstruktur yang menjadi dasar dalam tahap evaluasi dan penyusunan rekomendasi latihan.

Langkah 1: Pembentukan Context Analisis

Context analisis dalam sistem ini dibentuk sebagai representasi terstruktur yang merangkum hasil pengolahan data aktivitas. Komponen utama yang disusun meliputi informasi umum aktivitas (*general_info*), distribusi zona detak jantung (*heart_rate_zones*), profil aktivitas (*run_profile*), segmentasi aktivitas (*segments*), serta hasil deteksi fenomena (*detectors*). Sebelum tahap ini, sistem terlebih dahulu mengklasifikasikan struktur aktivitas, seperti *steady run* atau *unsteady run*, yang kemudian menentukan metode segmentasi yang digunakan. Dengan demikian, segmentasi tidak dilakukan secara generik, tetapi disesuaikan dengan karakter aktivitas sebelum masuk ke tahap generasi bahasa.

Selain berfungsi sebagai representasi yang terorganisir, context ini juga dirancang untuk meningkatkan efisiensi dan relevansi pemrosesan oleh model bahasa. Informasi yang dikirim telah diringkas sehingga hanya memuat bagian aktivitas yang paling penting, memungkinkan model untuk lebih fokus dalam melakukan interpretasi. Hal ini menunjukkan bahwa output yang dihasilkan oleh LLM tidak bergantung pada data mentah, melainkan pada context yang telah disusun secara sistematis. Pendekatan ini membantu menghasilkan analisis yang lebih spesifik, kontekstual, dan dapat ditelusuri kembali ke proses pengolahan data yang dilakukan sebelumnya. Kode program ditampilkan pada Gambar 4.8.

```
def build_activity_analysis_context(activity: Activity) -> dict:
    velocity_stream = _build_velocity_stream_context(activity)
    interval_segments = _build_work_rest_segments(activity,
velocity_stream)
    steady_segments = _build_km_segments(activity, velocity_stream)

    if interval_segments:
        run_profile = _build_run_profile(
            run_structure="unsteady_run",
            segmentation_method="segmentasi work phase dan rest phase",
```

```
            reason="Pola velocity stream menunjukkan fase kerja dan
recovery berulang.",
        )
        segments = interval_segments
    else:
        run_profile = _build_run_profile(
            run_structure="steady_run",
            segmentation_method="segmentasi per 1 km",
            reason="Aktivitas dibaca sebagai steady run sehingga
dibandingkan per 1 km.",
        )
        segments = steady_segments

    llm_context = {
        "general_info": _build_general_info(activity),
        "heart_rate_zones": _build_heart_rate_zone_summary(activity,
velocity_stream),
        "run_profile": run_profile,
        "segments": segments,
        "detectors": _build_detector_context(velocity_stream),
    }
```

Gambar 4.8 Kode Proses Pembuatan Context Analisis

Dalam Gambar 4.8 terdapat fungsi _build_work_rest_segments(), fungsi tersebut digunakan untuk mengidentifikasi fase kerja (*work*) dan fase istirahat (*rest*) pada aktivitas lari berdasarkan perubahan kecepatan. Data aktivitas dibagi menjadi beberapa blok waktu, kemudian setiap blok dianalisis berdasarkan kecepatan rata-rata dan metrik pendukung seperti *heart rate*, cadence, durasi, dan jarak. Berdasarkan nilai *baseline* dan *threshold* kecepatan, setiap blok diklasifikasikan sebagai fase kerja, istirahat, atau kondisi stabil (*steady*). Blok yang berurutan kemudian digabungkan menjadi segmen dan disaring berdasarkan durasi minimum untuk menghasilkan segmen *work* dan *rest* yang bermakna. Hasil akhirnya digunakan untuk merepresentasikan struktur interval latihan dalam aktivitas lari. Detil fungsi dapat dilihat di Gambar 4.9.

```
def _build_work_rest_segments(activity: Activity, velocity_stream: dict) -
> list[dict]:
    speeds = velocity_stream.get("velocity_smooth") or []
    heartrates = velocity_stream.get("heartrate") or []
    cadences = velocity_stream.get("cadence") or []
    times = velocity_stream.get("time") or []
    distances = velocity_stream.get("distance") or []

    if len(speeds) < 30:
        return []

    sample_sec = _estimate_sample_sec(activity, times, speeds)
    samples_per_block = max(1, round(20 / sample_sec))

    blocks = []
    for start in range(0, len(speeds), samples_per_block):
        speed_chunk = speeds[start : start + samples_per_block]
```

```
        if not speed_chunk:
            continue
          hr_chunk = heartrates[start : start + len(speed_chunk)] if
heartrates else []
         cadence_chunk = cadences[start : start + len(speed_chunk)] if
cadences else []
        distance_chunk = distances[start : start + len(speed_chunk)] if
distances else []
        distance_delta = None
        if distance_chunk:
            distance_delta = distance_chunk[-1] - distance_chunk[0]
            if distance_delta < 0:
                distance_delta = None

        blocks.append(
            {
                "avg_speed": sum(speed_chunk) / len(speed_chunk),
                "duration_s": len(speed_chunk) * sample_sec,
                "distance_m": distance_delta,
                "hr_avg": _avg(hr_chunk),
                "hr_max": max(hr_chunk) if hr_chunk else None,
                "hr_end": hr_chunk[-1] if hr_chunk else None,
                "cadence_avg": _avg(cadence_chunk),
            }
        )

    if len(blocks) < 6:
        return []

    block_speeds = [block["avg_speed"] for block in blocks]
    baseline_speed = _quantile(block_speeds, 0.35)
    average_speed = _avg(block_speeds) or 0.0
    work_threshold = max(baseline_speed * 1.10, average_speed * 1.05)
    rest_threshold = baseline_speed * 1.02

    states = []
    for block in blocks:
        speed = block["avg_speed"]
        if speed >= work_threshold:
            states.append("work_phase")
        elif speed <= rest_threshold:
            states.append("rest_phase")
        else:
            states.append("steady")

    merged = _compress_segment_blocks(states, blocks)
    meaningful = []
    for item in merged:
         if item["phase_type"] == "work_phase" and item["duration_s"] >=
45:
            meaningful.append(item)
        elif item["phase_type"] == "rest_phase" and item["duration_s"] >=
30:
            meaningful.append(item)

     work_count = sum(1 for item in meaningful if item["phase_type"] ==
"work_phase")
     rest_count = sum(1 for item in meaningful if item["phase_type"] ==
"rest_phase")
    if work_count < 2 or rest_count < 1:
```

```
        return []

    segments = []
    work_index = 0
    rest_index = 0
    for item in meaningful:
        if item["phase_type"] == "work_phase":
            work_index += 1
            label = f"Work {work_index}"
        else:
            rest_index += 1
            label = f"Rest {rest_index}"

        segments.append(
            {
                "label": label,
                "phase_type": item["phase_type"],
                "distance": _format_distance_phase(item["distance_m"]),
                "moving_time": _format_duration(item["duration_s"]),
                "elapsed_time": None,
                "avg_pace": _format_speed_as_pace(item["avg_speed"]),
                "avg_hr": _format_heartrate(item["hr_avg"]),
                        "max_hr":  _format_heartrate(item["hr_max"])  if
item["phase_type"] == "work_phase" else None,
                                                                "avg_cadence":
_format_optional_cadence(item["cadence_avg"]),
                "elevation_difference": None,
                        "hr_end":  _format_heartrate(item["hr_end"])  if
item["phase_type"] == "rest_phase" else None,
            }
        )

    return segments
```

Gambar 4.9 Detil Fungsi _build_work_rest_segments()

Langkah 2: Penentuan Struktur Aktivitas

Bagian ini menunjukkan bahwa sistem tidak memperlakukan semua aktivitas lari dengan cara yang sama, melainkan menyesuaikan pendekatan analisis berdasarkan karakter aktivitas. Sistem membedakan aktivitas menjadi *steady run* dan *unsteady run* untuk memastikan metode analisis yang digunakan relevan. Aktivitas dengan *pace* yang stabil lebih tepat dianalisis menggunakan segmentasi per kilometer, sedangkan aktivitas dengan perubahan intensitas yang berulang lebih sesuai dianalisis menggunakan pembagian fase kerja dan pemulihan (*work-rest phase*).

Perbedaan pendekatan ini berdampak langsung pada kualitas interpretasi yang dihasilkan. Dengan memilih metode segmentasi yang sesuai, sistem dapat menghasilkan analisis yang lebih kontekstual dan tidak bias terhadap jenis aktivitas tertentu. Hal ini memungkinkan *insight* yang dihasilkan menjadi lebih akurat dan relevan dengan kondisi latihan pengguna.

Tabel 4.1 Jenis Latihan dan Karakteristik

No	Aktivitas	Karakteristik	Struktur yang dipilih	Bentuk segmentasi
1	Easy run	Pace relatif stabil, intensitas rendah	steady_run	per 1 km
2	Tempo run	Pace stabil pada intensitas menengah-tinggi	steady_run	per 1 km
3	Long run	Durasi panjang, pace cenderung stabil dengan sedikit variasi	steady_run	per 1 km
4	Interval	Pace naik-turun berulang dengan fase kerja dan recovery	unsteady_run	work/rest phase

Langkah 3: Penentuan Metode Zona Heart Rate

Bagian penentuan zona detak jantung menunjukkan bahwa sistem menyesuaikan metode analisis berdasarkan kelengkapan data fisiologis pengguna. Sistem dapat menggunakan pendekatan *heart rate reserve* apabila data detak jantung maksimum dan detak jantung istirahat tersedia. Jika hanya data detak jantung maksimum yang tersedia, sistem menggunakan pendekatan berbasis *max heart rate*. Namun, apabila data yang diperlukan tidak mencukupi, sistem tidak memaksakan perhitungan zona detak jantung agar hasil analisis tetap berada dalam batas informasi yang valid.

```
if max_hr and resting_hr and max_hr > resting_hr:
    method = "heart_rate_reserve"
elif max_hr:
    method = "max_heart_rate"
else:
    return {
        "method": UNKNOWN_VALUE,
        "reference": "Zona HR tidak dapat dihitung karena profil belum
memiliki max heart rate.",
        "zones": [],
    }
```

Gambar 4.10 Kode Proses Penentuan Metode Perhitungan Zona Heart Rate

Langkah 4: Deteksi Fenomena Berbasis Aturan

Sebelum model bahasa menghasilkan narasi analisis, sistem terlebih dahulu melakukan deteksi fenomena penting dari data stream aktivitas menggunakan serangkaian aturan. Pendekatan ini memastikan bahwa analisis yang dihasilkan tidak sepenuhnya bersifat generatif, melainkan didasarkan pada pola yang dapat ditelusuri kembali ke data aktivitas pengguna.

Beberapa fenomena utama yang dideteksi meliputi *cardiac drift*, yaitu peningkatan detak jantung meskipun pace relatif stabil; *terrain-driven heart rate rise*, yaitu kenaikan detak jantung yang dipengaruhi oleh perubahan elevasi; serta *late fatigue efficiency drop*, yaitu penurunan efisiensi performa pada fase akhir aktivitas. Deteksi fenomena ini berperan sebagai evidence yang memperkaya interpretasi dan menjadi dasar dalam penyusunan analisis yang lebih kontekstual.

```
def detect_run_phenomena(
    stream_points: Sequence[StreamPoint],
    config: DetectorConfig | None = None,
) -> dict[str, Any]:
    active_config = config or DetectorConfig()
    windows = aggregate_minute_windows(stream_points, active_config)
    if not windows:
        return {"detectors": _empty_detector_payload()}

    smooth_windows(windows, active_config)
    baseline = build_baseline_stats(windows, active_config)
    enrich_window_features(windows, baseline, active_config)
    apply_tail_fragment_exclusion(windows, active_config)
```

Gambar 4.11 Kode Proses Deteksi Fenomena

```
class DetectorConfig:
    window_size_sec: int = 60
    warm_up_exclusion_minutes: int = 6
    terrain_min_hr_rise_bpm: float = 5.0
    cardiac_drift_min_hr_rise_bpm: float = 8.0
    fatigue_min_pace_slowing_sec: float = 18.0
```

Gambar 4.12 Konfigurasi Ambang Detektor

Dalam proses deteksi fenomena, data stream aktivitas tidak digunakan secara langsung, melainkan terlebih dahulu diagregasi ke dalam unit waktu tertentu, seperti *window* per menit, untuk mempermudah analisis pola. Setelah itu, sistem membangun baseline performa dengan mengabaikan fase awal aktivitas (*warm-up*), sehingga perbandingan dilakukan pada kondisi yang lebih stabil dan representatif.

Berdasarkan baseline tersebut, sistem menerapkan ambang batas (*threshold*) yang telah ditentukan untuk mengidentifikasi fenomena tertentu. Pendekatan ini memungkinkan deteksi yang bersifat eksplisit dan dapat dijelaskan. Fenomena yang berhasil dideteksi kemudian digunakan sebagai evidence utama dalam proses analisis, sehingga interpretasi yang dihasilkan tidak hanya bersifat deskriptif, tetapi juga didukung oleh pola yang dapat ditelusuri dari data aktivitas. Fenomena yang dideteksi dalam sistem beserta indikator dan makna interpretatifnya dirangkum pada Tabel 4.2.

Tabel 4.2 Fenomena dan Indikator

No	Fenomena	Indikator Utama	Makna Interpretatif
1	cardiac_drift	HR naik saat pace relatif stabil	beban internal meningkat
2	terrain_driven_hr_rise	HR naik bersamaan dengan tanjakan	kenaikan effort dipengaruhi medan
3	late_fatigue_efficiency_drop	pace melambat di fase akhir	indikasi fatigue akhir sesi

Langkah 5: Prompt untuk LLM

Pada tahap akhir, model bahasa digunakan setelah seluruh context analisis diringkas dan disusun secara terstruktur. Hal ini memastikan bahwa model tidak menerima data mentah secara langsung, melainkan informasi yang telah dipilih dan diproses oleh sistem. Selain itu, prompt yang digunakan dirancang untuk membatasi ruang interpretasi model agar tidak menghasilkan informasi di luar evidence yang tersedia.

Dalam proses ini, hasil deteksi fenomena diperlakukan sebagai sumber evidence utama yang menjadi dasar dalam penyusunan narasi analisis. Model bahasa berperan untuk menginterpretasikan dan menyampaikan insight tersebut secara lebih komunikatif, dengan tetap menjaga agar output yang dihasilkan bersifat singkat, spesifik, dan terstruktur dalam format yang valid. Pendekatan ini memastikan bahwa hasil analisis tidak hanya informatif, tetapi juga dapat ditelusuri kembali ke data dan proses yang mendasarinya.

```
Peran model:
- Bertindak sebagai pelatih lari dan analis endurance

Input:
- Menggunakan context terstruktur yang terdiri dari:
  general_info, heart_rate_zones, run_profile, segments, detectors

Tujuan:
- Menjelaskan apa yang terjadi selama aktivitas
- Mengidentifikasi momen penting
- Memberikan insight yang dapat digunakan untuk sesi berikutnya

Pendekatan:
1. Gunakan detectors sebagai sumber utama evidence
2. Gunakan segments untuk memperjelas atau mengonfirmasi
3. Gunakan heart_rate_zones untuk menjelaskan intensitas

Aturan:
- Tidak mengarang fakta di luar context
- Tidak menebak tanpa evidence
- Prioritaskan 1–3 event paling bermakna
```

```
- Hindari output generik

Output:
- summary (ringkasan pola aktivitas)
- events (event penting berdasarkan evidence)
- effort_comment (intensitas dan kontrol)
- evaluation (apa yang sudah baik dan perlu diperbaiki)
- next_run_focus (fokus sesi berikutnya)
- coach_note (catatan singkat dan praktis)
```

Gambar 4.13 Prompt untuk Analisis Aktivitas

Dalam sistem ini, LLM tidak digunakan sebagai sumber utama dalam menentukan fakta atau evidence, melainkan berperan sebagai penyusun interpretasi berdasarkan informasi yang telah diproses sebelumnya. Evidence utama tetap berasal dari hasil analisis berbasis aturan dan struktur context yang telah dibangun oleh sistem. Dengan demikian, kualitas narasi yang dihasilkan tidak semata-mata bergantung pada kemampuan model bahasa, tetapi juga ditopang oleh representasi context yang terstruktur serta aturan prompt yang mengarahkan model agar tetap menghasilkan output yang relevan dan dapat dipertanggungjawabkan.

Hasil Implementasi

Hasil implementasi menunjukkan bahwa sistem berhasil membentuk *context* terstruktur yang merangkum informasi penting aktivitas ke dalam komponen seperti *general_info*, *heart_rate_zones*, *run_profile*, *segments*, dan *detectors*. Context ini merupakan hasil penyederhanaan data mentah menjadi informasi yang lebih relevan dan siap digunakan dalam proses analisis, tanpa menampilkan seluruh detail secara langsung. Tidak semua aktivitas menghasilkan fenomena pada bagian *detectors*, namun sistem tetap menyusun context secara konsisten berdasarkan data yang tersedia, termasuk pada kondisi data yang tidak lengkap, sehingga interpretasi yang dihasilkan tetap valid, tidak dipaksakan, dan dapat ditelusuri kembali ke sumber datanya.

```
context = {
  "general_info": {
    "distance": "6.59 km",
    "moving_time": "49 menit",
    "avg_pace": "7:34/km",
    "avg_hr": "165 bpm"
  },
  "heart_rate_zones": {
    "method": "heart_rate_reserve",
    "zones": [
      {"zone": "Tempo", "time_percentage": "72.1%"}
    ]
  },
  "run_profile": {
    "run_structure": "steady_run",
```

```
    "segmentation_method": "per 1 km"
  },
  "segments": [
    {"label": "KM 1", "avg_pace": "7:46/km", "avg_hr": "148 bpm"},
    {"label": "KM 2", "avg_pace": "7:40/km", "avg_hr": "161 bpm"}
  ],
  "detectors": [
    {
      "type": "cardiac_drift",
      "occurrence_count": 2
    }
  ]
}
```


Gambar 4.14 Hasil Pembentukan Context Analisis

Gambar 4.13 menunjukkan bahwa aktivitas diklasifikasikan sebagai *steady run*, yang ditandai dengan penggunaan segmentasi per 1 km dan pola pace yang relatif stabil antar segmen. Dari data segment yang terbentuk, variasi pace tidak menunjukkan fluktuasi signifikan, sementara detak jantung cenderung meningkat secara bertahap, yang merupakan karakteristik umum dari aktivitas dengan intensitas stabil. Fenomena yang terdeteksi seperti *cardiac drift* dan *terrain-driven heart rate rise* juga mendukung interpretasi ini, di mana peningkatan detak jantung terjadi tanpa perubahan pace yang signifikan atau dipengaruhi oleh faktor elevasi, bukan karena perubahan intensitas yang disengaja. Tidak ditemukannya pola interval atau perubahan intensitas berulang semakin memperkuat bahwa aktivitas ini sesuai diklasifikasikan sebagai *steady run*, sehingga pemilihan struktur analisis yang digunakan sudah tepat dan menghasilkan interpretasi yang konsisten dengan kondisi aktivitas.


```
{
  "summary": "Lari ini pada dasarnya adalah steady run dengan pacing
relatif konsisten, tetapi detak jantung meningkat bertahap dan sering
melonjak pada tanjakan. Sebagian besar waktu, yaitu sekitar 72%, berada di
zona Tempo, sehingga effort cukup menuntut dan detak jantung sering lebih
tinggi daripada yang diharapkan untuk lari steady.",

  "events": [
    {
      "type": "cardiac_drift_berulang",
      "when": "menit 22–24 (akhir KM3 hingga awal KM4) dan menit 39–43
(KM6)",
      "what": "Detak jantung naik secara bertahap sementara pace dan
cadence tetap relatif stabil. Efisiensi menurun dan effort cost meningkat
selama periode tersebut.",
      "why": "Segment menunjukkan pace stabil sekitar 7:28–7:36 per km dan
cadence konstan sekitar 166 spm, tetapi detector melaporkan kenaikan HR
sekitar +12 sampai +16 bpm serta penurunan efisiensi sekitar -6.9% sampai
-8.6%. Pola ini menunjukkan cardiac drift, yaitu detak jantung naik tanpa
peningkatan pace.",
      "so_what": "Peristiwa ini masih dapat dianggap wajar jika ringan atau
terbatas, tetapi karena terjadi dua kali dan sebagian besar sesi berada di
```

```
zona Tempo, hal ini menandakan effort mulai menumpuk. Pola ini perlu
dipantau, terutama jika berulang pada sesi steady run berikutnya."
    },
    {
      "type": "hr_rise_terkait_tanjakan",
      "when": "menit 11–13 (KM2), menit 30–31 (awal KM5), dan menit 49–50
(akhir KM7)",
      "what": "Setiap tanjakan memicu kenaikan HR yang jelas, dengan
lonjakan terbesar terjadi di akhir aktivitas. Pada periode tersebut juga
terjadi penurunan efisiensi dan peningkatan effort cost.",
      "why": "Detector mencatat grade positif sekitar 1.6–1.7% pada periode
ini. HR naik sekitar +7.3 bpm sampai +18.9 bpm dibanding baseline, cadence
hampir tidak berubah, dan pace kadang sedikit melambat atau tetap stabil.
Pola ini konsisten dengan respons fisiologis terhadap tanjakan atau
akumulasi kelelahan menuju akhir sesi.",
      "so_what": "Respons detak jantung terhadap tanjakan merupakan hal
yang normal, tetapi lonjakan terbesar di akhir aktivitas menunjukkan
kombinasi antara tanjakan dan akumulasi effort. Jika tujuan latihan adalah
steady aerobic, pengguna dapat menurunkan pace pada tanjakan untuk menjaga
detak jantung tetap lebih terkontrol."
    }
  ],

  "effort_comment": "Secara keseluruhan sesi terasa menuntut. Mayoritas
waktu berada di zona Tempo dan terdapat tanda cardiac drift, sehingga
effort tidak benar-benar mudah atau santai. Kontrol pace cukup konsisten,
tetapi kontrol fisiologis melalui detak jantung mulai menurun seiring
waktu.",

  "evaluation": "Hal yang sudah baik adalah cadence stabil dan pace per
kilometer relatif konsisten, sehingga mekanika dan pacing dasar tetap
terjaga. Hal yang perlu diperhatikan adalah adanya dua episode cardiac
drift dan beberapa lonjakan HR pada tanjakan, terutama di akhir aktivitas,
yang menunjukkan akumulasi beban dari sesi ini. Data tidak menunjukkan
masalah akut, tetapi pola ini layak dipantau untuk mencegah overreaching.",

  "next_run_focus": "Untuk steady run berikutnya, targetkan menjaga HR di
atau di bawah batas atas zona Endurance, yaitu sekitar 162 bpm. Jika
melewati tanjakan, biarkan pace turun sekitar 5–10 detik per km daripada
menaikkan effort. Selain itu, perhatikan apakah cardiac drift kembali
muncul dengan mencatat kondisi hidrasi dan fatigue sebelum mulai latihan.",

  "coach_note": "Cadence dan pacing sudah terjaga dengan baik. Pada sesi
berikutnya, coba batasi HR saat tanjakan dengan menurunkan pace sedikit
sambil tetap menjaga cadence. Jika drift di menit 22–24 dan 39–43 berkurang,
berarti penyesuaian pacing sudah cukup membantu. Jika tidak, recovery atau
volume latihan perlu dievaluasi kembali."
}
```


Gambar 4.15 Hasil Analisis Generative AI

Gambar 4.14 menunjukkan bahwa kualitas *summary* yang dihasilkan mampu merangkum pola utama aktivitas secara spesifik, tidak hanya mengulang data seperti jarak atau durasi, tetapi menyoroti hubungan antara pacing dan respons detak jantung. Pada bagian *events*, sistem berhasil mengidentifikasi momen penting yang relevan, seperti *cardiac drift* dan respons terhadap tanjakan, dengan penjelasan yang mengaitkan indikator data dan makna

interpretatifnya. Selain itu, komponen *next_run_focus* dan *coach_note* memberikan saran yang bersifat praktis dan kontekstual terhadap aktivitas yang dianalisis, bukan sekadar rekomendasi umum. Secara keseluruhan, output yang dihasilkan terasa lebih personal dan berbasis kondisi aktual aktivitas, sehingga memberikan nilai tambah dibandingkan hanya menampilkan angka atau metrik mentah tanpa interpretasi.

4.1.4 Implementasi Adaptive Training Plan

Fitur *adaptive training plan* dalam sistem ini dirancang untuk menghasilkan rencana latihan yang bersifat personal dan dinamis dengan memanfaatkan kombinasi data profil pengguna, riwayat aktivitas, dan realisasi latihan. Proses dimulai dari pembentukan plan awal yang tidak hanya bergantung pada tujuan pengguna, tetapi juga mempertimbangkan kondisi aktual melalui *activity summary*. Dengan demikian, sistem mampu membangun baseline kemampuan pengguna sebelum menyusun rencana latihan mingguan yang lebih relevan dan realistis.

Dalam implementasinya, sistem menggunakan pendekatan hybrid yang menggabungkan mekanisme *rule-based* dan *Generative AI*. Model bahasa digunakan untuk menghasilkan struktur macro plan dan sesi latihan detail, namun tetap dibatasi oleh aturan seperti periodisasi, *progressive overload*, dan konservatisme ketika riwayat aktivitas terbatas. Selain itu, hasil yang dihasilkan oleh model tidak langsung digunakan, melainkan melalui proses normalisasi dan validasi oleh backend untuk memastikan konsistensi dan kelengkapan rencana latihan.

Sifat adaptif sistem terlihat pada proses penyesuaian mingguan yang didasarkan pada data realisasi latihan pengguna. Sistem mengevaluasi performa menggunakan indikator seperti *completion rate* dan *distance ratio*, kemudian menentukan aksi adaptasi seperti mempertahankan, menahan, menurunkan beban, atau memperpanjang fase latihan melalui aturan eksplisit. Pendekatan ini memungkinkan sistem untuk menghasilkan rencana latihan yang lebih responsif terhadap kondisi aktual pengguna, sekaligus tetap dapat dijelaskan secara logis dan dipertanggungjawabkan secara akademik.

Langkah 1: Pembacaan Profil dan Riwayat Aktivitas

Pembentukan plan awal dalam sistem ini didasarkan pada kombinasi antara profil pengguna dan ringkasan aktivitas (*activity summary*) sebagai representasi kondisi latihan terbaru. Profil berfungsi sebagai sumber karakteristik dasar, seperti tujuan latihan dan kapasitas awal pengguna, sementara *activity summary* memberikan gambaran aktual mengenai kebiasaan dan kualitas latihan yang telah dilakukan. Dengan demikian, rencana latihan tidak dibangun

hanya berdasarkan goal, tetapi juga mempertimbangkan kesiapan nyata pengguna. Selain itu, hasil yang dihasilkan oleh model bahasa tidak langsung digunakan, melainkan melalui proses normalisasi dan penyimpanan oleh backend untuk memastikan konsistensi, kelengkapan, dan kesesuaian dengan struktur sistem.

```
def generate_training_plan(db: Session, payload:
TrainingPlanGenerateRequest, user) -> dict:
    profile = user.profile
    if profile is None:
        raise ValueError("User profile is required before generating a
training plan")

    activity_summary = activity_service.build_activity_summary(
        db,
        user_id=user.id,
        period_days=payload.analysis_window_days,
    )
    llm_input = _build_training_plan_input(
        payload=payload,
        profile=profile,
        activity_summary=activity_summary,
    )
```

Gambar 4.16 Kode Proses Pembuatan Training Plan

Gambar 4.15 menunjukkan bahwa plan awal tidak dibentuk secara generik. Sistem terlebih dahulu memastikan bahwa profil pengguna tersedia, lalu membangun ringkasan aktivitas terbaru sebagai dasar konteks. Dengan demikian, plan awal yang dihasilkan sudah bersifat personal sejak tahap pertama. Hasil ringkasan aktivitas yang dibuat sistem ditampilkan pada gambar 4.16.

```
{
  "has_activity_data": true,
  "analysis_window_days": 28,
  "data_span_days": 18,
  "has_sufficient_history": true,
  "history_quality": "sufficient",
  "total_activities": 10,
  "run_activities": 10,
  "total_distance_km": 60.15,
  "total_moving_time_minutes": 530.15,
  "avg_runs_per_week": 3.89,
  "avg_distance_per_run_km": 6.01,
  "longest_run_km": 9.01,
  "avg_pace_sec_per_km": 528.85,
  "fastest_avg_pace_sec_per_km": 447.32,
  "avg_heartrate": 155.3,
  "avg_cadence": 78.45,
  "active_weeks": 4,
  "longest_break_days": 3
}
```


Gambar 4.17 Hasil Ringkasan Aktivitas

Langkah 2: Pembentukan Macro Training Plan

Pada tahap pembentukan *macro training plan*, model bahasa digunakan untuk menghasilkan template mingguan yang mencerminkan struktur latihan secara umum. Namun, penggunaan LLM dalam sistem ini tidak bersifat bebas, melainkan dibatasi oleh aturan yang tertanam dalam prompt, seperti penerapan periodisasi (base, build, peak, taper) dan prinsip *progressive overload* yang moderat. Selain itu, output yang dihasilkan oleh model tidak langsung digunakan, tetapi terlebih dahulu melalui proses normalisasi oleh backend untuk memastikan struktur dan nilai yang dihasilkan tetap konsisten dan valid. Sistem juga menyediakan mekanisme *fallback* apabila hasil yang diberikan model tidak lengkap, sehingga kualitas rencana latihan tetap terjaga dan tidak sepenuhnya bergantung pada keluaran model bahasa. Prompt yang diberikan kepada LLM ditampilkan pada gambar 4.17.

```
Peran model:
Kamu adalah pelatih lari profesional.

Tugas:
Buat macro running plan hanya menggunakan object context yang diberikan
pada user message.

Context berisi:
- profile pelari
- ringkasan aktivitas terbaru
- goal
- goal_date
- duration_weeks

Aturan:
```

```
- Kembalikan tepat satu template minggu untuk setiap minggu yang diminta
di duration_weeks.
- Gunakan profile dan activity_summary secara bersamaan.
- Jangan abaikan riwayat latihan terbaru.
- Jika activity_summary terbatas, buat plan yang lebih konservatif.
- Gunakan periodisasi: base, build, peak, taper.
- Jaga progressive overload tetap moderat, sekitar 5–10% per minggu.
- Prompt ini hanya membuat template minggu, bukan sesi harian detail untuk
semua minggu.
-   Hormati   running_days_per_week   dan   preferred_training_days   jika
memungkinkan.
- Target jarak harus realistis terhadap riwayat latihan terbaru.
-  Semua teks bebas seperti focus dan notes harus ditulis dalam Bahasa
Indonesia.
- Nilai enum teknis seperti phase tetap menggunakan nilai sistem yang sudah
ditentukan.
- Kembalikan hanya JSON valid.

Bentuk output:
{
  weeks: [
    {
      week_number: 1,
      phase: "base",
      target_distance_km: 20,
      focus: "bangun konsistensi aerobik",
      notes: "minggu ringan untuk membangun fondasi"
    }
  ]
}
```

Gambar 4.18 Prompt untuk Pembentukan Training Plan

Langkah 3: Normalisasi dan Validasi Plan

Pada tahap ini, *backend* berperan dalam menjaga kualitas rencana latihan sebelum digunakan lebih lanjut. Sistem tidak langsung menerima hasil dari model bahasa secara mentah, melainkan menerapkan mekanisme pengamanan seperti penentuan *fallback* untuk target jarak mingguan apabila nilai tidak tersedia atau tidak realistis. Selain itu, fase mingguan juga memiliki nilai default untuk memastikan struktur periodisasi tetap konsisten. Ketika plan baru dibuat, sistem secara otomatis menutup plan aktif sebelumnya untuk menghindari konflik data. Pendekatan ini membantu mengurangi risiko keluaran yang tidak lengkap atau tidak konsisten, sehingga rencana latihan yang dihasilkan tetap robust dan dapat digunakan secara praktis.

```
def _derive_baseline_weekly_distance(profile, activity_summary: dict) ->
float:
    if profile.weekly_target_distance and profile.weekly_target_distance
> 0:
        return round(float(profile.weekly_target_distance), 1)

    if activity_summary.get("has_activity_data"):
```

```
        active_weeks = max(1, int(activity_summary.get("active_weeks") or
1))
        total_distance = float(activity_summary.get("total_distance_km")
or 0.0)
        if total_distance > 0:
            return round(total_distance / active_weeks, 1)
```

Gambar 4.19 Kode Proses Validasi Plan

Gambar 4.18 menunjukkan bahwa sistem menyediakan baseline jarak mingguan sebagai acuan awal dalam penyusunan rencana latihan, yang dihitung berdasarkan data yang tersedia dari profil pengguna maupun ringkasan aktivitas. Apabila salah satu sumber data tidak lengkap, sistem menggunakan mekanisme *fallback* dari sumber lain yang masih tersedia, sehingga perhitungan tetap dapat dilakukan secara wajar. Pendekatan ini menunjukkan bahwa desain sistem tidak sepenuhnya bergantung pada keluaran model bahasa, melainkan tetap memiliki mekanisme pengamanan yang membuat sistem tetap robust meskipun output LLM tidak selalu sempurna.

Langkah 4: Pembentukan Sesi Latihan

Pembentukan sesi latihan mingguan dalam sistem ini dilakukan dengan memanfaatkan model bahasa yang diarahkan melalui prompt terstruktur yang dapat dilihat pada gambar 4.12. Model menerima *context* yang mencakup profil pengguna, ringkasan aktivitas, informasi plan, template minggu, serta *adaptation_context* yang merepresentasikan hasil keputusan adaptasi sebelumnya. Berdasarkan context tersebut, model menyusun sesi latihan harian dengan mengikuti fase latihan, target jarak mingguan, serta arah penyesuaian yang telah ditentukan sistem. Prompt juga membatasi model untuk menjaga total volume latihan tetap sesuai dengan *effective target distance*, memastikan distribusi sesi yang realistis, serta menyediakan waktu pemulihan yang cukup.

```
Peran model:
Kamu adalah pelatih lari berpengalaman.

Tugas:
Buat satu minggu sesi latihan detail berdasarkan context yang diberikan.

Context berisi:
- profile pelari
- ringkasan aktivitas terbaru
- info plan
- template minggu terpilih
- adaptation_context

Aturan utama:
- Ikuti phase minggu, target_distance, focus, dan adaptation_context.
```

```
- Terapkan penyesuaian jika adaptation_context meminta penurunan beban atau
perpanjangan fase.
- Total volume mingguan harus mengikuti effective weekly target distance.
- Pastikan sesi tetap realistis, aman, dan memiliki cukup recovery.
- Easy run harus tetap nyaman (conversational).
- Jumlah sesi mengikuti running_days_per_week.
- Gunakan Bahasa Indonesia untuk semua teks bebas.

Struktur sesi:
- day menggunakan lowercase English (monday–sunday)
- session_type: easy_run, recovery_run, long_run, tempo_run, interval,
progression_run, hill_repeats, fartlek, rest
- priority: low, medium, high
- Setiap sesi memiliki goal, guidance, dan success_hint
- Gunakan format pace m:ss (contoh: 8:15)
- Gunakan null untuk target yang tidak relevan

Blocks (opsional):
- Digunakan hanya untuk latihan terstruktur (interval, tempo, dll.)
- block_type: warmup, work, recovery, steady, progression, cooldown
- target_type: distance_m, distance_km, duration_sec, duration_min, open

Output:
Kembalikan hanya JSON valid dengan struktur:

{
  sessions: [
    {
      day: "monday",
      session_type: "easy_run",
      priority: "medium",
      goal: "...",
      planned_distance_km: 5,
      planned_duration_min: 45,
      target_pace_min: "8:15",
      target_pace_max: "9:30",
      target_hr_min: 135,
      target_hr_max: 155,
      target_rpe_min: 3,
      target_rpe_max: 4,
      guidance: "...",
      success_hint: "...",
      blocks: []
    },
    {
      day: "thursday",
      session_type: "interval",
      priority: "high",
      goal: "...",
      planned_distance_km: 7,
      planned_duration_min: 50,
      target_rpe_min: 7,
      target_rpe_max: 8,
      guidance: "...",
      success_hint: "...",
      blocks: [
        {   order_index:   1,   block_type:   "warmup",   target_type:
"duration_min", target_value: 10 },
        { order_index: 2, block_type: "work", repeat_count: 6, target_type:
"distance_m", target_value: 400 },
```

```
        { order_index: 3, block_type: "recovery", repeat_count: 6,
target_type: "duration_sec", target_value: 90 },
        { order_index: 4, block_type: "cooldown", target_type:
"duration_min", target_value: 10 }
      ]
    }
  ]
}
```

Gambar 4.20 Prompt untuk Pembentukan Sesi Latihan

Selain itu, setiap sesi yang dihasilkan memiliki struktur yang konsisten, mencakup jenis latihan, prioritas, tujuan, panduan pelaksanaan, serta indikator keberhasilan. Untuk sesi sederhana seperti *easy run* atau *long run*, model dapat menghasilkan struktur yang lebih ringkas, sementara untuk sesi terstruktur seperti *interval* atau *tempo run*, model dapat menyusun blok latihan yang lebih detail. Dengan pendekatan ini, model bahasa tidak berperan sebagai penentu utama arah latihan, melainkan sebagai penyusun representasi sesi yang mengikuti aturan sistem, sehingga hasil yang dihasilkan tetap konsisten, realistis, dan sesuai dengan kebutuhan pengguna.

Langkah 5: Pencatatan Realisasi Sesi Latihan

Adaptasi mingguan dalam sistem ini sangat bergantung pada kualitas data pelaksanaan sesi. Setiap sesi latihan memungkinkan pengguna untuk memperbarui status serta memasukkan data aktual seperti jarak, durasi, detak jantung, dan tingkat persepsi usaha (*RPE*). Data ini kemudian disimpan oleh sistem dan digunakan untuk menghitung realisasi jarak mingguan serta tingkat pencapaian terhadap target yang telah ditetapkan. Dengan pendekatan ini, proses adaptasi tidak didasarkan pada asumsi, melainkan pada data aktual yang mencerminkan kondisi latihan pengguna, sehingga penyesuaian pada minggu berikutnya menjadi lebih akurat dan relevan.

Langkah 6: Evaluasi Performa Mingguan

Tahap adaptasi mingguan merupakan inti dari fitur *adaptive training plan*, di mana penyesuaian rencana latihan tidak didasarkan pada prediksi semata, tetapi pada data realisasi sesi yang benar-benar dijalankan oleh pengguna. Sistem menghitung indikator performa seperti *completion rate* dan *distance completion ratio* untuk menilai sejauh mana target latihan tercapai. Berdasarkan evaluasi tersebut, sistem menentukan aksi adaptasi yang sesuai, seperti mempertahankan, menahan, atau menurunkan beban latihan. Keputusan ini kemudian disimpan secara eksplisit dalam atribut seperti *adaptation_action* dan *adaptation_reason*,

sehingga proses adaptasi tidak hanya terjadi secara internal, tetapi juga dapat ditelusuri dan dijelaskan secara logis.

Langkah 7: Penentuan Adaptasi Berbasis Aturan

Keputusan adaptasi dalam sistem ini didasarkan pada aturan berbasis *threshold* yang eksplisit, sehingga kondisi performa pengguna dapat dipetakan ke aksi adaptasi yang berbeda. Sistem mengevaluasi indikator seperti tingkat penyelesaian latihan *(completion rate*) dan pencapaian jarak (*distance ratio*) untuk menentukan apakah beban latihan perlu dilanjutkan sesuai rencana, dipertahankan, diturunkan, atau fase latihan tertentu diperpanjang.

Aturan adaptasi dirancang berdasarkan prinsip *progressive overload* dan *recovery*. Prinsip tersebut diterjemahkan ke dalam indikator ketercapaian latihan dan aturan keputusan agar penyesuaian beban dapat dilakukan secara konsisten. Dalam penelitian ini, tingkat ketercapaian latihan dioperasionalkan menggunakan rentang 70–90% sebagai batas toleransi terhadap deviasi dari target latihan. Rentang tersebut dipilih dengan mempertimbangkan temuan pada 556 pelari *halft marathon* rekreasional yang menunjukkan bahwa jarak terjauh saat latihan dikisaran 15,5-22 km, dengan median sebesar 18,5km (Fokkema dkk., 2020). Temuan tersebut menunjukkan bahwa pelari tidak selalu melakukan latihan dengan jarak yang sama dengan jarak perlombaan. Berdasarkan pertimbangan tersebut, rentang 70–90% digunakan sebagai parameter operasional untuk memberikan toleransi terhadap deviasi target latihan. Nilai *threshold* ini ditetapkan dalam penelitian untuk menerjemahkan prinsip *sport science* ke dalam mekanisme keputusan sistem, sehingga tidak dimaksudkan sebagai nilai ambang universal dalam *sport science*.

Tabel 4.3 Ringkasan Logika Adaptasi

Kondisi Minggu Sebelumnya	Respon Sistem
performa baik	progress_as_planned
performa kurang solid	hold_load
performa buruk	reduce_load
Target belum tercapai pada fase *base*	extend_base

Pendekatan berbasis aturan ini membuat proses adaptasi berjalan secara deterministik berdasarkan kondisi dan *threshold* yang telah ditentukan. Dengan demikian, keputusan adaptasi dapat dijelaskan dan ditelusuri kembali berdasarkan indikator performa yang memenuhi kondisi tertentu. Meskipun demikian, nilai *threshold* yang digunakan merupakan

parameter operasional penelitian dan belum dimaksudkan sebagai standar universal untuk menentukan respons latihan. Logika proses adaptasi ditampilkan pada Gambar 4.21.

```
if (
    (previous_week.phase or "").lower() == TrainingPhase.BASE.value
    and original_phase not in {TrainingPhase.BASE.value,
TrainingPhase.TAPER.value}
    and (
        (completion_rate is not None and completion_rate < 0.85)
        or (distance_ratio is not None and distance_ratio < 0.85)
    )
):
    action = "extend_base"
elif (
    (completion_rate is not None and completion_rate < 0.70)
    or (distance_ratio is not None and distance_ratio < 0.75)
):
    action = "reduce_load"
elif (
    (completion_rate is not None and completion_rate < 0.85)
    or (distance_ratio is not None and distance_ratio < 0.90)
    or skipped_key_session_count > 0
):
    action = "hold_load"
```

Gambar 4.21 Kode Proses Logika Adaptasi

Hasil Implementasi

Hasil implementasi menunjukkan bahwa plan awal yang dihasilkan sistem bersifat personal dan tidak seragam untuk setiap pengguna, karena mempertimbangkan kombinasi antara profil dan riwayat aktivitas terbaru. Target jarak mingguan yang dihasilkan mengikuti kondisi awal pengguna, seperti longest run dan frekuensi latihan, sehingga peningkatan beban dilakukan secara bertahap dan tetap realistis. Hal ini terlihat dari fase awal (*base*) yang dimulai dengan volume moderat sebelum meningkat secara progresif pada fase *build* dan mencapai puncak pada fase *peak*, lalu menurun kembali pada fase *taper*. Dengan pendekatan ini, plan yang dihasilkan tidak hanya berorientasi pada goal, tetapi juga memperhatikan kesiapan aktual pengguna.

Pada tingkat sesi mingguan, sistem menghasilkan jumlah dan distribusi sesi yang menyesuaikan dengan jumlah hari latihan (*running days*), sehingga beban latihan tersebar secara seimbang dalam satu minggu. Tipe sesi yang diberikan juga konsisten dengan fase latihan, di mana fase awal didominasi oleh *easy run* dan *long run*, sementara fase berikutnya mulai memasukkan sesi yang lebih terstruktur seperti *progression run* atau *interval*. Selain itu, total volume mingguan yang dihasilkan menunjukkan kesesuaian dengan target yang telah

ditentukan, sehingga rencana latihan tidak hanya terstruktur secara konseptual, tetapi juga realistis dan dapat diimplementasikan secara praktis oleh pengguna.

```
training_plan = {
  goal: "Half Marathon",
  duration_weeks: 12,

  weeks: [
    {
      week: 1,
      phase: "base",
      target_distance_km: 25,
      focus: "bangun konsistensi aerobik",
      adaptation_action: "start_as_planned",

      sessions: [
        { day: "monday", type: "easy_run", distance_km: 5, target_hr: "119-
149 bpm" },
        { day: "wednesday", type: "progression_run", distance_km: 6,
detail: "progressive effort + warmup/cooldown" },
        { day: "friday", type: "easy_run", distance_km: 5 },
        { day: "sunday", type: "long_run", distance_km: 9 }
      ]
    },

    {
      week: 2,
      phase: "base",
      target_distance_km: 26.5,
      focus: "peningkatan volume ringan"
    },
    {
      week: 3,
      phase: "base",
      target_distance_km: 28,
      focus: "kapasitas jarak menengah"
    },
    {
      week: 4,
      phase: "base",
      target_distance_km: 29.5,
      focus: "konsolidasi dasar aerobik"
    },

    {
      week: 5,
      phase: "build",
      target_distance_km: 31,
      focus: "ketahanan spesifik half marathon"
    },
    {
      week: 6,
      phase: "build",
      target_distance_km: 33,
      focus: "peningkatan durasi long run"
    },
    {
      week: 7,
```

```
      phase: "build",
      target_distance_km: 35,
      focus: "ekspansi ketahanan jarak panjang"
    },
    {
      week: 8,
      phase: "build",
      target_distance_km: 31.5,
      focus: "recovery week (volume diturunkan)"
    },

    {
      week: 9,
      phase: "peak",
      target_distance_km: 34.5,
      focus: "puncak ketahanan (long run ~16 km)"
    },
    {
      week: 10,
      phase: "peak",
      target_distance_km: 37,
      focus: "puncak jarak (long run ~18 km)"
    },

    {
      week: 11,
      phase: "taper",
      target_distance_km: 32,
      focus: "penurunan beban dan pemulihan"
    },
    {
      week: 12,
      phase: "taper",
      target_distance_km: 22,
      focus: "race week (half marathon)"
    }
  ]
}
```

Gambar 4.22 Hasil Generate Adaptif Training Plan

4.2 Pengujian Sistem

Pengujian sistem dilakukan untuk mengetahui apakah sistem yang dikembangkan mampu menjalankan fungsi utama sesuai dengan tujuan penelitian. Pengujian difokuskan pada tiga aspek utama, yaitu analisis aktivitas lari, *adaptive training plan*, dan pengujian pengguna terbatas.

Pengujian analisis aktivitas dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam mengolah data aktivitas lari dan menghasilkan analisis performa berdasarkan karakteristik aktivitas. Skenario yang digunakan mencakup aktivitas lari stabil, aktivitas dengan perubahan intensitas, aktivitas dengan indikasi fenomena fisiologis, serta aktivitas dengan data fisiologis yang tidak lengkap. Pengujian ini bertujuan untuk memastikan bahwa sistem mampu mengenali pola

aktivitas, melakukan segmentasi, mendeteksi fenomena performa, dan tetap menghasilkan analisis meskipun terdapat keterbatasan data.

Pengujian *adaptive training plan* dilakukan untuk menilai kemampuan sistem dalam menyesuaikan rencana latihan berdasarkan histori dan kondisi performa pengguna. Skenario yang digunakan mencakup kondisi performa baik, performa kurang optimal, performa buruk, serta kondisi ketika pengguna tidak mampu menyelesaikan target latihan pada akhir fase tertentu. Melalui pengujian ini, diamati apakah sistem mampu menghasilkan keputusan adaptasi yang sesuai, seperti melanjutkan progres latihan, menahan peningkatan beban, menurunkan beban latihan, atau memperpanjang fase latihan. Skenario pengujian ditampilkan pada tabel 4.4.

Tabel 4.4 Skenario Pengujian Sistem

No	Fitur yang Diuji	Skenario	Tujuan Pengujian
1	Analisis Aktivitas	Aktivitas *steady run*	Menguji apakah sistem mampu mengenali pola lari stabil dan melakukan segmentasi per 1 km
2	Analisis Aktivitas	Aktivitas *unsteady run*	Menguji apakah sistem mampu mengenali pola intensitas berubah dan menggunakan segmentasi *work-rest phase*
3	Analisis Aktivitas	Aktivitas dengan fenomena HR	Menguji apakah sistem mampu mendeteksi fenomena seperti *cardiac drift* atau kenaikan HR akibat elevasi
4	Analisis Aktivitas	Data fisiologis tidak lengkap	Menguji apakah sistem tetap menghasilkan analisis tanpa memaksakan interpretasi zona HR
5	Adaptive Training Plan	Performa baik	Menguji apakah sistem melanjutkan progres latihan sesuai rencana
6	Adaptive Training Plan	Performa kurang solid	Menguji apakah sistem menahan peningkatan beban latihan
7	Adaptive Training Plan	Performa buruk	Menguji apakah sistem menurunkan beban latihan
8	Adaptive Training Plan	Gagal pada akhir fase base	Menguji apakah sistem memperpanjang fase base sebelum masuk fase berikutnya

Selain pengujian fungsional berbasis skenario, dilakukan juga pengujian pengguna secara terbatas kepada pelari rekreasional. Responden dipilih berdasarkan kriteria pernah melakukan aktivitas lari dalam tiga bulan terakhir, memiliki riwayat aktivitas yang tercatat pada aplikasi Strava, serta termasuk dalam kategori pelari rekreasional. Validasi responden dilakukan melalui bukti riwayat aktivitas lari.

Pengujian dilakukan dengan memberikan akses kepada responden untuk menggunakan sistem dan menjalankan fungsi utama yang berkaitan dengan proses analisis aktivitas dan penyusunan rekomendasi latihan. Responden terlebih dahulu melakukan login dan menghubungkan akun Strava, kemudian mengimpor aktivitas lari dan meninjau hasil analisis aktivitas yang dihasilkan sistem. Selanjutnya, responden meninjau *adaptive training plan* beserta penyesuaian latihan yang diberikan sistem. Setelah mencoba dan memahami fungsi utama tersebut, responden diminta memberikan penilaian melalui kuesioner.

Pengujian pengguna dilakukan untuk menilai kemudahan penggunaan sistem, kejelasan hasil analisis, relevansi rekomendasi latihan, tingkat kepercayaan pengguna terhadap hasil yang diberikan sistem, dan manfaat sistem. Penilaian dilakukan menggunakan kuesioner dengan skala Likert 1 sampai 5, dengan nilai 1 menunjukkan sangat tidak setuju dan nilai 5 menunjukkan sangat setuju.

4.3 Evaluasi Sistem

Berdasarkan pengujian yang telah dirancang pada Tabel 4.4, sistem dievaluasi untuk menilai kemampuan analisis aktivitas, *adaptive training plan*, serta penerimaan awal dari pengguna. Evaluasi fungsional dilakukan untuk memastikan bahwa sistem mampu menghasilkan output yang sesuai dengan skenario yang telah ditentukan. Sementara itu, pengujian pengguna dilakukan secara terbatas untuk memperoleh penilaian terhadap kemudahan penggunaan, kejelasan hasil analisis, dan relevansi rekomendasi latihan.

4.3.1 Hasil Pengujian Fungsional

Hasil evaluasi menunjukkan bahwa seluruh skenario pengujian fungsional menghasilkan output yang sesuai dengan hasil yang diharapkan. Pada fitur analisis aktivitas, sistem mampu mengenali karakteristik aktivitas, memilih metode segmentasi yang sesuai, serta mendeteksi fenomena fisiologis berdasarkan data yang tersedia. Pada fitur *adaptive training plan*, sistem mampu menghasilkan keputusan adaptasi yang sesuai dengan kondisi performa pengguna,

seperti melanjutkan progres, menahan beban, menurunkan beban latihan, atau memperpanjang fase latihan. Ringkasan hasil evaluasi sistem ditunjukkan pada Tabel 4.5.

Tabel 4.5 Hasil Pengujian Sistem

No	Fitur	Skenario	Input	Output	Hasil
1	Analisis Aktivitas	Tempo Run	Pace stabil, HR naik	steady_run + cardiac_drift	Valid
2	Analisis Aktivitas	Interval	Pace naik-turun	unsteady_run + work/rest	Valid
3	Analisis Aktivitas	Long Run	Pace stabil, HR naik	steady_run + cardiac_drift	Valid
4	Analisis Aktivitas	Data HR tidak lengkap	Tidak ada HR	Tanpa HR zone	Valid
5	Adaptive Training Plan	Performa baik	completion 1.0	progress_as_planned	Valid
6	Adaptive Training Plan	Performa sedang	completion 0.75	hold_load	Valid
7	Adaptive Training Plan	Performa buruk	completion 0.5	reduce_load	Valid
8	Adaptive Training Plan	Gagal fase base	completion rendah di base	extend_base	Valid

Analisis Skenario Aktivitas Easy run



Easy run

Jarak = 4 km

Durasi = 33 menit 16 detik

Avg.Pace = 8:19/km

Avg.HR = 150 bpm

Avg.Cadence = 166 spm

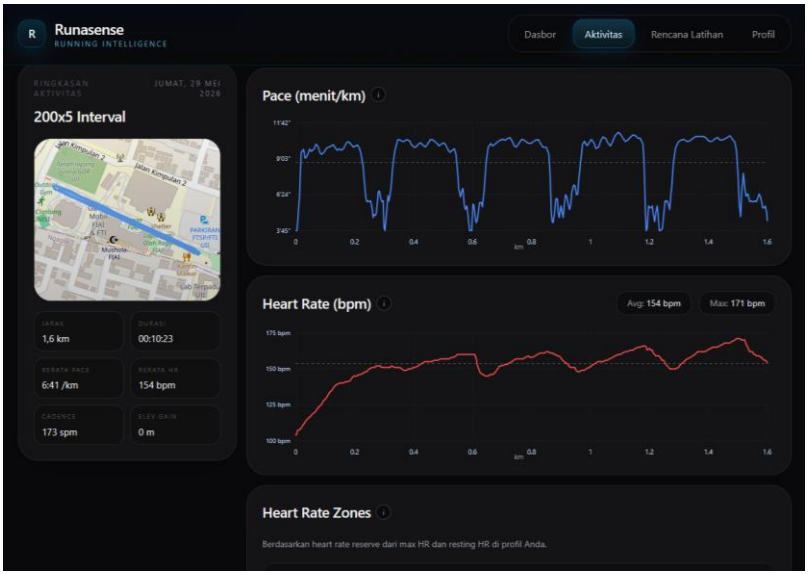
Gambar 4.23 Aktivitas Easy run

Pada skenario ini digunakan aktivitas lari dengan pace yang relatif konsisten sepanjang sesi latihan. Sistem berhasil mengklasifikasikan aktivitas sebagai steady run dan menerapkan segmentasi per 1 km sebagai metode analisis. Hasil segmentasi menunjukkan variasi pace yang kecil antar segmen, yaitu berada pada rentang 8:15–8:22 menit/km, dengan cadence yang juga relatif stabil pada kisaran 166–168 spm. Berdasarkan karakteristik tersebut, sistem menilai aktivitas memiliki pola intensitas yang stabil sehingga segmentasi per kilometer lebih sesuai dibandingkan segmentasi berbasis fase kerja dan pemulihan. Hasil ini menunjukkan bahwa mekanisme identifikasi struktur aktivitas dan pemilihan metode segmentasi berjalan sesuai dengan karakteristik data yang diberikan. Tabel 4.6 menunjukkan sebagian hasil segmentasi yang dihasilkan sistem.

Tabel 4.6 Hasil segmentasi Steady run

Segmen	**Avg.Pace**	**Avg.HR**	**Avg.Cadende**
1 (1km)	8:23/km	139 bpm	166 spm
2 (1km)	8:17/km	150 bpm	168 spm
3 (1km)	8:15/km	154 bpm	166 spm
4 (1km)	8:19/km	155 bpm	166 spm

Analisis Skenario Aktivitas Interval



200x5 Interval

Jarak = 1,6 km

Durasi = 10 menit 23 detik

Avg.Pace = 6:41/km

Avg.HR = 154 bpm

Avg.Cadence = 173 spm

Gambar 4.24 Aktivitas 200x5 Interval

Pada skenario ini digunakan aktivitas interval 200x5 Interval dengan total jarak 1,55 km dan durasi aktivitas 10 menit 23 detik. Aktivitas terdiri dari lima fase kerja (work phase) dan lima fase pemulihan (rest phase) yang dilakukan secara bergantian. Berdasarkan hasil analisis, sistem mengklasifikasikan aktivitas sebagai unsteady run dan menggunakan metode segmentasi berbasis work phase dan rest phase.

Keputusan tersebut dihasilkan karena pola kecepatan aktivitas menunjukkan perubahan intensitas yang berulang antara fase kerja dan fase pemulihan. Selain itu, nilai coefficient of variation (CV) kecepatan sebesar 0,306 melebihi ambang batas 0,3 yang digunakan sistem untuk mengidentifikasi aktivitas dengan intensitas yang tidak stabil. Oleh karena itu, sistem tidak menggunakan segmentasi per kilometer sebagaimana pada aktivitas steady run, melainkan melakukan analisis berdasarkan setiap fase kerja dan fase pemulihan. Tabel 4.7 menunjukkan sebagian hasil segmentasi yang dihasilkan sistem.

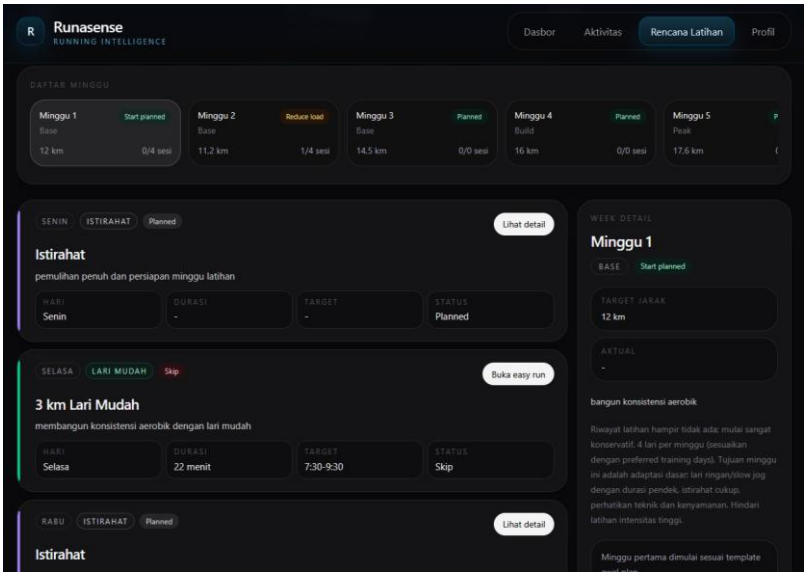
Tabel 4.7 Hasil segmentasi Unsteady run

Segmen	Tipe	Avg.Pace	Avg.HR	Avg.Cadende
Work 1	Work Phase	5:39/km	136 bpm	176 spm
Rest 1	Rest Phase	9:37/km	151 bpm	162 spm
Work 2	Work Phase	5:20/km	154 bpm	182 spm
Rest 2	Rest Phase	9:35/km	156 bpm	160 spm
Work 3	Work Phase	5:11/km	155 bpm	182 spm

Segmen	Tipe	Avg.Pace	Avg.HR	Avg.Cadende
Rest 3	Rest Phase	9:29/km	154 bpm	164 spm
Work 4	Work Phase	5:04/km	157 bpm	186 spm
Rest 4	Rest Phase	10:25/km	157 bpm	162 spm
Work 5	Work Phase	5:05/km	160 bpm	186 spm
Rest 5	Rest Phase	9:32/km	160 bpm	154 spm

Pada skenario ini digunakan aktivitas interval yang terdiri dari beberapa fase kerja (*work phase*) dan fase pemulihan (*rest phase*). Sistem berhasil mengklasifikasikan aktivitas sebagai unsteady run dan menerapkan segmentasi berbasis *work-rest phase*. Hasil segmentasi menunjukkan perbedaan intensitas yang jelas antara fase kerja dengan pace 5:04–5:39 menit/km dan cadence 176–186 spm, serta fase pemulihan dengan pace 9:29–10:25 menit/km dan cadence 160–164 spm. Selain itu, detak jantung rata-rata meningkat secara bertahap dari 136 bpm pada *Work 1* menjadi 160 bpm pada *Work 5*, yang menunjukkan respons fisiologis terhadap peningkatan beban latihan. Hasil ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengenali karakteristik aktivitas interval dan memilih metode analisis yang sesuai dengan pola aktivitas yang dilakukan pengguna.

Analisis Skenario Adaptasi Performa Buruk



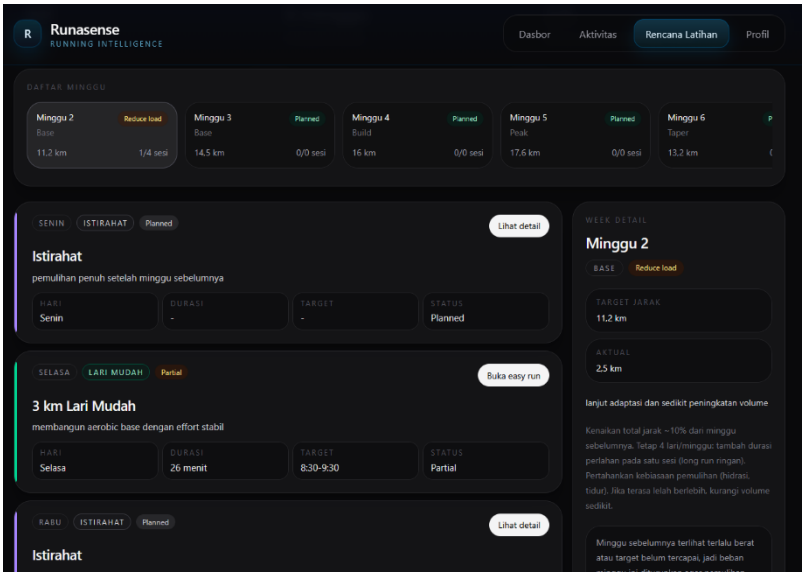
Minggu 1

Target = 12 km

Aktual = 0 km

Completion = 0/4

Gambar 4.25 Rencana Latihan Minggu ke-1



Minggu 2
Target = 11,2 km
penyesuaian **Reduce Load**
dengan menurunkan target

Gambar 4.26 Rencana Latihan Minggu ke-2

Pada skenario ini digunakan kondisi pengguna yang gagal menyelesaikan target latihan pada minggu sebelumnya, ditunjukkan oleh realisasi latihan sebesar 0 km dari target 12 km yang telah direncanakan serta tidak adanya sesi latihan yang berhasil diselesaikan. Berdasarkan kondisi tersebut, sistem menghasilkan aksi adaptasi *reduce load* dan menurunkan target jarak mingguan pada minggu berikutnya menjadi 11,2 km. Keputusan ini menunjukkan bahwa sistem mampu mengidentifikasi performa yang berada di bawah target dan meresponsnya dengan mengurangi beban latihan untuk memberikan kesempatan pemulihan dan penyesuaian sebelum melanjutkan progres latihan. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mekanisme adaptasi berjalan sesuai dengan aturan yang telah ditetapkan dalam sistem.

4.3.2 Hasil Pengujian Pengguna

Pengujian pengguna dilakukan untuk mengetahui persepsi pelari rekreasional terhadap sistem yang dikembangkan. Pengujian ini berfokus pada kemudahan penggunaan sistem, kejelasan hasil analisis, relevansi rekomendasi latihan, serta tingkat kepercayaan pengguna terhadap hasil yang diberikan sistem. Tabel 4.8 menunjukkan profil responden pengujian.

Tabel 4.8 Profil Responden

Responden	**Frekuensi Lari**	**Total Aktivitas (2 bulan terakhir)**	**Kelengkapan Data**
R1	3-4 sesi/minggu	29 Aktivitas	Lengkap
R2	< 1 sesi/minggu	5 Aktivitas	Tanpa HRM
R3	3-4 sesi/minggu	15 Aktivitas	Tanpa HRM

Responden	Frekuensi Lari	Total Aktivitas (2 bulan terakhir)	Kelengkapan Data
R4	3-4 sesi/minggu	9	Partial
R5	3-4 sesi/minggu	27	Tanpa HRM
R6	< 1 sesi/minggu	3	Tanpa HRM
R7	1-2 sesi/minggu	7	Lengkap
R8	1-2 sesi/minggu	8	Lengkap
R9	< 1 sesi/minggu	2	Lengkap
R10	< 1 sesi/minggu	2	Tanpa HRM

Tabel 4.9 Hasil Pengujian Pengguna

No	Aspek Penilaian	Pernyataan	Rerata Skor	Interpretasi
1	Kemudahan penggunaan	Sistem mudah digunakan oleh pengguna.	4,47	Sangat Baik
2	Kejelasan hasil analisis	Hasil analisis aktivitas mudah dipahami.	4,45	Sangat Baik
3	Relevansi rekomendasi	Rekomendasi latihan sesuai dengan kebutuhan pelari rekreasional.	4,57	Sangat Baik
4	Manfaat dan kepercayaan sistem	Sistem membantu pengguna dalam memahami performa latihan.	4,40	Sangat Baik
Rerata Total			4,48	Sangat Baik

Berdasarkan hasil pengujian pengguna, sistem yang dikembangkan memperoleh penilaian positif dari responden. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem dinilai mudah digunakan, hasil analisis aktivitas dapat dipahami, serta rekomendasi dan adaptasi latihan yang diberikan dianggap relevan dengan kondisi pengguna.

Secara keseluruhan, pengujian ini menunjukkan bahwa sistem yang dikembangkan dapat diterima dengan baik oleh pelari rekreasional sebagai alat bantu untuk memahami performa dan merencanakan latihan lari secara lebih terarah. Meskipun pengujian dilakukan secara terbatas, hasil ini dapat menjadi indikasi awal bahwa sistem memiliki manfaat bagi target pengguna.

4.4 Keterbatasan Sistem

Meskipun sistem yang dikembangkan telah mampu menghasilkan analisis performa dan rencana latihan yang adaptif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diperhatikan. Pertama, kualitas analisis sangat bergantung pada kelengkapan dan kualitas data aktivitas yang diperoleh dari pengguna. Pada kondisi di mana data fisiologis seperti detak jantung tidak tersedia atau tidak konsisten, sistem tidak dapat melakukan analisis berbasis zona intensitas secara optimal, sehingga interpretasi yang dihasilkan menjadi lebih terbatas.

Kedua, mekanisme adaptasi yang digunakan masih berbasis aturan dengan threshold yang telah ditentukan sebelumnya. Meskipun pendekatan ini memberikan kejelasan dan konsistensi dalam pengambilan keputusan, fleksibilitas sistem dalam menangani kondisi yang lebih kompleks atau tidak terduga masih terbatas. Selain itu, parameter seperti *completion rate* dan *distance ratio* belum sepenuhnya mencakup seluruh aspek performa, seperti kondisi kelelahan subjektif, kualitas tidur, atau faktor eksternal lainnya.

Ketiga, penggunaan model bahasa dalam sistem masih memiliki keterbatasan terkait potensi variasi output. Meskipun telah dibatasi dengan *prompt* dan *context* terstruktur, model tetap memiliki kemungkinan menghasilkan keluaran yang kurang optimal atau tidak sepenuhnya sesuai dengan ekspektasi. Oleh karena itu, sistem masih memerlukan mekanisme validasi tambahan untuk memastikan konsistensi dan kualitas hasil yang dihasilkan, terutama jika digunakan dalam skala yang lebih luas.

BAB V
KESIMPULAN DAN SARAN

5.1 Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengimplementasikan sistem analisis performa aktivitas lari serta *adaptive training plan* berbasis pendekatan *hybrid* yang menggabungkan *rule-based system* dan *Generative AI*. Sistem yang dikembangkan mampu mengolah data aktivitas dari platform Strava, seperti jarak, durasi, *pace*, detak jantung, *cadence*, dan elevasi, menjadi informasi yang lebih terstruktur. Melalui proses pembentukan context, data aktivitas yang awalnya berupa angka dapat digunakan sebagai dasar untuk menghasilkan analisis yang lebih mudah dipahami oleh pengguna.

Berdasarkan hasil implementasi dan pengujian, sistem mampu melakukan analisis performa dengan mengenali karakteristik aktivitas lari, melakukan segmentasi, serta mendeteksi fenomena performa berdasarkan data yang tersedia. Hasil analisis tidak hanya menampilkan informasi secara deskriptif, tetapi juga memberikan interpretasi yang lebih kontekstual terhadap kondisi aktivitas pengguna. Dengan demikian, sistem dapat membantu pengguna, khususnya pelari rekreasional, dalam memahami performa lari secara lebih informatif dibandingkan hanya melihat data aktivitas dalam bentuk angka atau grafik.

Selain menghasilkan analisis aktivitas, sistem juga mampu menyusun rencana latihan yang bersifat adaptif berdasarkan histori dan realisasi latihan pengguna. Mekanisme adaptasi dilakukan melalui evaluasi berbasis aturan untuk menentukan penyesuaian latihan, seperti melanjutkan progres latihan, menahan peningkatan beban, menurunkan beban latihan, atau memperpanjang fase latihan. Dengan adanya mekanisme tersebut, rencana latihan yang dihasilkan tidak bersifat statis, tetapi dapat disesuaikan dengan kondisi performa pengguna dari waktu ke waktu.

Pendekatan *hybrid* yang digunakan dalam penelitian ini menunjukkan bahwa *rule-based system* dan *Generative AI* dapat saling melengkapi. *Rule-based system* berperan dalam menjaga konsistensi dan kejelasan dasar pengambilan keputusan, sedangkan *Generative AI* berperan dalam menyampaikan hasil analisis dan rekomendasi dalam bentuk bahasa natural yang lebih mudah dipahami. Hasil pengujian fungsional menunjukkan bahwa fitur utama sistem berjalan sesuai dengan skenario yang telah dirancang. Selain itu, pengujian pengguna secara terbatas menunjukkan bahwa sistem memperoleh penerimaan positif dari pelari rekreasional pada aspek kemudahan penggunaan, kejelasan hasil analisis, relevansi rekomendasi latihan, serta manfaat

sistem. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan dapat menjadi dasar bagi pengembangan adaptive training assistant berbasis data aktivitas olahraga di masa mendatang.

5.2 Saran

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan yang dapat menjadi arah pengembangan di masa mendatang. Salah satu aspek yang dapat ditingkatkan adalah kualitas dan kelengkapan data yang digunakan dalam analisis. Sistem saat ini bergantung pada data aktivitas dari Strava, sehingga pada kondisi data yang tidak lengkap, seperti tidak tersedianya detak jantung, analisis menjadi terbatas. Penelitian selanjutnya dapat mengintegrasikan sumber data tambahan, seperti data *recovery*, kualitas tidur, atau indikator kelelahan, agar analisis yang dihasilkan menjadi lebih komprehensif. Selain itu, mekanisme adaptasi yang masih berbasis aturan dapat dikembangkan lebih lanjut dengan pendekatan yang lebih fleksibel, seperti metode berbasis data yang mampu menyesuaikan *threshold* secara dinamis sesuai pola performa pengguna.

Di sisi lain, penggunaan model bahasa (LLM) dalam sistem masih memiliki potensi variasi output yang perlu dikendalikan lebih lanjut. Pengembangan berikutnya dapat difokuskan pada peningkatan konsistensi hasil melalui teknik validasi tambahan, penyempurnaan *prompt*, atau penggunaan model yang lebih spesifik pada domain olahraga. Selain itu, pengembangan antarmuka pengguna juga menjadi aspek penting untuk meningkatkan kemudahan penggunaan sistem. Dengan adanya antarmuka yang lebih interaktif dan intuitif, sistem tidak hanya berfungsi sebagai alat analisis, tetapi juga dapat menjadi pendamping latihan yang lebih efektif dalam membantu pengguna memahami hasil analisis dan menjalankan rencana latihan secara optimal.

DAFTAR PUSTAKA

Alnattah, A., Jajroudi, M., Fadafen, S., Manzari, M., & Eslami, S. (2025). Artificial Intelligence in Clinical Decision-Making: A Scoping Review of Rule-Based Systems and Their Applications in Medicine. *Cureus*, *17*. https://doi.org/10.7759/cureus.91333

Biró, A., Cuesta-Vargas, A., & Szilágyi, L. (2023). AI-Assisted Fatigue and Stamina Control for Performance Sports on IMU-Generated Multivariate Times Series Datasets. *Sensors (Basel, Switzerland)*, *24*. https://doi.org/10.3390/s24010132

Cheng, A., Jude, B., & Lanner, J. (2020). Intramuscular mechanisms of overtraining. *Redox Biology*, *35*. https://doi.org/10.1016/j.redox.2020.101480

Cheng, L., Deng, D., Xie, X., Qiu, R., Xu, M., & Wu, Y. (2024). SNIL: Generating Sports News From Insights With Large Language Models. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *31*, 3973–3986. https://doi.org/10.1109/tvcg.2024.3392683

Chrzanowski-Smith, O., Piatrikova, E., Betts, J., Williams, S., & Gonzalez, J. (2020). Variability in exercise physiology: Can capturing intra-individual variation help better understand true inter-individual responses? *European Journal of Sport Science*, *20*, 452–460. https://doi.org/10.1080/17461391.2019.1655100

Clermont, C. A., Benson, L. C., Osis, S. T., Kobsar, D., & Ferber, R. (2019). Running patterns for male and female competitive and recreational runners based on accelerometer data. *Journal of Sports Sciences*, *37*(2), 204–211. https://doi.org/10.1080/02640414.2018.1488518

DeJong, A. F., Fish, P. N., & Hertel, J. (2021). Running behaviors, motivations, and injury risk during the COVID-19 pandemic: A survey of 1147 runners. *PLoS ONE*, *16*(2 February). https://doi.org/10.1371/journal.pone.0246300

Fokkema, T., van Damme, A. A. D. N., Fornerod, M. W. J., de Vos, R. J., Bierma-Zeinstra, S. M. A., & van Middelkoop, M. (2020). Training for a (half-)marathon: Training volume and longest endurance run related to performance and running injuries. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, *30*(9), 1692–1704. https://doi.org/10.1111/sms.13725

Garmin. (2025, Juni 4). *Garmin Memperingati Global Running Day 2025: Kebangkitan Olahraga Lari, Kebangkitan Kesehatan Indonesia*. https://www.garmin.co.id/news/press-release/news-2025-jun-global-running-day/?hl=en-GB

Hak, F., Guimaraes, T., & Santos, M. (2022). Towards effective clinical decision support systems: A systematic review. Dalam *PLoS ONE* (Vol. 17, Nomor 8 August). Public Library of Science. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0272846

Hostrup, M., & Bangsbo, J. (2022). Performance Adaptations to Intensified Training in Top-Level Football. *Sports Medicine (Auckland, N.z.)*, *53*, 577–594. https://doi.org/10.1007/s40279-022-01791-z

Kierner, S., Kucharski, J., & Kierner, Z. (2023). Taxonomy of hybrid architectures involving rule-based reasoning and machine learning in clinical decision systems: A scoping review. *Journal of biomedical informatics*, 104428. https://doi.org/10.1016/j.jbi.2023.104428

Lian, Z., Zhou, Z., Hu, C., Feng, Z., Ning, P., & Ming, Z. (2024). Interpretable large-scale belief rule base for complex industrial systems modeling with expert knowledge and limited data. *Adv. Eng. Informatics*, *62*, 102852. https://doi.org/10.1016/j.aei.2024.102852

Migliaccio, G. M., Padulo, J., & Russo, L. (2024). The Impact of Wearable Technologies on Marginal Gains in Sports Performance: An Integrative Overview on Advances in Sports, Exercise, and Health. *Applied Sciences*, *14*, 6649. https://doi.org/10.3390/app14156649

Nappi, C., Petretta, M., Assante, R., Zampella, E., Gaudieri, V., Cantoni, V., Green, R., Volpe, F., Piscopo, L., Mainolfi, C. G., Nicolai, E., Acampa, W., & Cuocolo, A. (2022). Prognostic value of heart rate reserve in patients with suspected coronary artery disease undergoing stress myocardial perfusion imaging. *Journal of Nuclear Cardiology*, *29*(5), 2521–2530. https://doi.org/https://doi.org/10.1007/s12350-021-02743-2

Nguyen, N. H., Nguyen, D. T. A., Bingkun, & Hu, J. (2021). The application of machine learning and deep learning in sport: predicting NBA players' performance and popularity. *Journal of Information and Telecommunication*, *6*, 217–235. https://doi.org/10.1080/24751839.2021.1977066

Olli-Pekka, N., Ari, N., Elisa, K., Keijo, H., & Heikki, K. (2022). Individualized Endurance Training Based on Recovery and Training Status in Recreational Runners. *Medicine and science in sports and exercise*. https://doi.org/10.1249/mss.0000000000002968

Palsa, L., & Mertala, P. (2024). Contextualizing Everyday Data Literacies: The Case of Recreational Runners. *International Journal of Human-Computer Interaction*, *40*, 5845–5856. https://doi.org/10.1080/10447318.2023.2241612

Peffers, K., Tuunanen, T., Rothenberger, M., & Chatterjee, S. (2007). A Design Science Research Methodology for Information Systems Research. *Journal of Management Information Systems*, *24*, 45–77. https://doi.org/10.2753/mis0742-1222240302

Qin, J., Isleem, H., Almoghayer, W., & Khishe, M. (2025). Predictive athlete performance modeling with machine learning and biometric data integration. *Scientific Reports*, *15*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-01438-9

Raza, M., Jahangir, Z., Riaz, M. B., Saeed, M. J., & Sattar, M. A. (2025). Industrial applications of large language models. *Scientific Reports*, *15*. https://doi.org/10.1038/s41598-025-98483-1

Rogers, B., Giles, D., Draper, N., Hoos, O., & Gronwald, T. (2021). A New Detection Method Defining the Aerobic Threshold for Endurance Exercise and Training Prescription Based on Fractal Correlation Properties of Heart Rate Variability. *Frontiers in Physiology*, *11*. https://doi.org/10.3389/fphys.2020.596567

Runna. (2026). *Training Hub FAQs*. https://support.runna.com/en/collections/3431932-training-hub

Shookster, D., Lindsey, B., Cortes, N., & Martin, J. R. (2020). Accuracy of Commonly Used Age-Predicted Maximal Heart Rate Equations. Dalam *International Journal of Exercise Science* (Vol. 13, Nomor 7). http://www.intjexersci.com

Solang, E. W., Linawati, L., Manuaba, I. B. G., & Setiawan, I. N. (2026). A Systematic Literature Review of Machine Learning for Endurance Running Performance Prediction . *Sinkron : jurnal dan penelitian teknik informatika*, *10*(1), 512–524. https://doi.org/10.33395/sinkron.v10i1.15743

Strava. (2026). *Strava features*. https://www.strava.com/features

Thuany, M., Gomes, T., & Almeida, M. (2021). Relationship between Biological, Training, and Physical Fitness Variables in the Expression of Performance in Non-Professional Runners. *Sports*, *9*. https://doi.org/10.3390/sports9080114

Vec, V., Tomažič, S., Kos, A., & Umek, A. (2024). Trends in real-time artificial intelligence methods in sports: a systematic review. *Journal of Big Data*, *11*. https://doi.org/10.1186/s40537-024-01026-0

LAMPIRAN

A. Hasil Kuisioner Pengujian Pengguna

Inisial Responden	Frekuensi Mingguan	U1	U2	U3	U4	U5	U6	U7	U8	U9	U10
RMN	3-4	5	5	4	5	4	5	5	5	5	5
BAH	< 1	4	4	4	4	5	5	4	4	4	3
AMF	3-4	4	5	4	5	4	5	5	5	5	4
RRM	3-4	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
APA	3-4	5	4	5	5	4	5	5	5	4	5
AWA	< 1	4	4	5	4	4	4	4	3	4	4
AGT	1-2	4	5	4	4	4	5	4	4	4	4
NPP	1-2	4	5	5	4	5	5	4	5	5	4
MA	< 1	4	5	5	4	5	4	5	4	5	5
WSA	< 1	4	4	4	5	4	5	4	4	4	4
Total		43	46	45	45	44	48	45	44	45	43
Rerata		4,30	4,60	4,50	4,50	4,40	4,80	4,50	4,40	4,50	4,30

Aspek	Kode	Total	Rerata
Kemudahan Penggunaan	U1-U3	134	4,47
Kejelasan Analisis Aktivitas	U4-U5	89	4,45
Relevansi Adaptive Training Plan	U6-U8	137	4,57
Manfaat dan Kepercayaan Sistem	U9-U10	88	4,40
Semua Aspek		448	4,48

B. Dokumentasi Demo Sistem





