

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Nyeri punggung bawah (*low back pain*) merupakan salah satu masalah muskuloskeletal paling umum dan menjadi penyebab utama disabilitas di seluruh dunia. Menurut Organisasi Kesehatan Dunia (WHO), pada tahun 2020 terdapat sekitar 619 juta kasus nyeri punggung bawah secara global, dan jumlah ini diperkirakan meningkat menjadi 843 juta pada tahun 2050 seiring pertumbuhan dan penuaan populasi [1].

Keluhan ini tidak hanya dialami oleh lansia, tetapi juga semakin banyak ditemukan pada kelompok usia produktif. Data dari Global Burden of Disease (GBD) menunjukkan bahwa dampak jangka panjang akibat kondisi ini paling besar terjadi pada usia 20 hingga 65 tahun, yang merupakan masa aktif dalam bekerja dan beraktivitas [2].

Faktor gaya hidup modern, seperti duduk terlalu lama, kurang bergerak, serta penggunaan komputer atau gawai dalam posisi tidak ergonomis, turut meningkatkan risiko nyeri punggung bawah. Sejumlah penelitian di Indonesia juga menunjukkan bahwa keluhan ini banyak dialami oleh mahasiswa dan pekerja muda, terutama karena durasi penggunaan perangkat elektronik yang tinggi dan postur duduk yang tidak tepat [3] [4] [5].

Penanganan nyeri punggung bawah umumnya dilakukan melalui terapi fisik, konsumsi obat pereda nyeri, atau intervensi medis lainnya. Namun, tidak

semua penderita memiliki akses atau waktu untuk menjalani terapi secara rutin di fasilitas kesehatan. Sebagai alternatif, terapi mandiri terbukti dapat membantu meredakan nyeri dan memperbaiki postur tubuh apabila dilakukan dengan benar dan berkelanjutan [6]. Sayangnya, banyak pasien yang merasa kebingungan dalam memilih jenis latihan yang sesuai, melakukan gerakan dengan cara yang kurang tepat, atau tidak mampu melacak perkembangan terapinya secara konsisten [7]. Hal ini menunjukkan perlunya panduan yang lebih terstruktur dan mudah diakses untuk mendukung keberhasilan terapi mandiri.

Munculnya teknologi digital memberikan peluang baru untuk menjawab tantangan tersebut. Aplikasi *mobile* yang dirancang khusus untuk terapi mandiri dapat menjadi solusi yang praktis dan efektif. Dengan fitur seperti panduan latihan, pemantauan performa, serta sistem *feedback* terhadap kesalahan gerakan, aplikasi semacam ini memungkinkan pengguna menjalani program terapi secara mandiri dengan pengawasan virtual yang sistematis.

Meski demikian, sebagian besar aplikasi kesehatan yang ada saat ini kurang personal dan belum menjawab tantangan ini secara spesifik. Kebanyakan aplikasi hanya berfungsi sebagai pemutar video generik, tanpa menyediakan rekomendasi latihan yang personal sesuai kondisi pengguna. Kelemahan fundamental lainnya adalah tidak adanya evaluasi gerakan secara *real-time* dan fitur pelacakan progres untuk memantau perkembangan kondisi pengguna secara objektif. Akibatnya, pengguna tidak mendapatkan umpan balik atas kebenaran gerakannya dan kesulitan melihat kemajuan terapi secara terukur.

Menanggapi kebutuhan tersebut, penulis mengembangkan Spinecare, sebuah aplikasi *mobile* yang ditujukan untuk memfasilitasi terapi mandiri nyeri punggung bawah secara aman, interaktif, dan terarah. Proses awal dalam aplikasi ini melibatkan validasi kondisi pengguna dan pengisian form asesmen untuk menghasilkan rekomendasi gerakan yang sesuai. Selain itu, Spinecare dilengkapi dengan fitur deteksi gerakan untuk menilai keakuratan latihan serta menghitung repetisi secara otomatis. Setelah sesi latihan, pengguna dapat mengisi *feedback* tingkat nyeri yang divisualisasikan dalam bentuk grafik mingguan. Sistem juga memberikan rekomendasi lanjutan dan pengingat untuk menjaga konsistensi latihan.

Dengan adanya aplikasi ini, diharapkan mampu menjadi solusi digital yang praktis dan adaptif dalam mendukung penanganan nyeri punggung bawah secara mandiri, serta berkontribusi pada pengembangan teknologi kesehatan preventif di Indonesia.

1.2 Batasan Masalah

1. Aplikasi ini menyediakan panduan latihan untuk nyeri punggung bawah (LBP) non-spesifik tingkat ringan hingga sedang. Aplikasi tidak dirancang untuk mendiagnosis atau menangani kondisi medis serius yang memerlukan pengawasan profesional.
2. Penggunaan aplikasi ini terbatas pada perangkat *mobile* android dan membutuhkan koneksi internet untuk memperbarui konten latihan serta menyimpan progres pengguna.

1.3 Tujuan dan Manfaat

1.3.1. Tujuan

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sebuah aplikasi Panduan Gerakan Terapi untuk Mengurangi Nyeri Punggung Bawah berbasis Mobile. Berikut beberapa tujuan dari penelitian ini:

- a. Mengembangkan aplikasi mobile Spinecare sebagai panduan terapi mandiri bagi penderita nyeri punggung bawah.
- b. Membangun fitur asesmen awal untuk menghasilkan rekomendasi gerakan yang sesuai dengan keluhan pengguna.
- c. Menerapkan fitur deteksi gerakan dan hitung repetisi untuk memastikan latihan dilakukan dengan benar.
- d. Menyediakan sistem pelacakan perkembangan nyeri pengguna dan memberikan feedback otomatis berdasarkan progres yang tercatat.

1.3.2. Manfaat

Penelitian dan pengembangan dari aplikasi ini diharapkan dapat memberikan beberapa manfaat utama, di antaranya sebagai berikut:

1. Bagi Mahasiswa
 - a. Menambah wawasan dalam pengembangan aplikasi berbasis mobile untuk mendukung terapi fisik berbasis teknologi.
 - b. Memberikan pengalaman praktis dalam mengembangkan sistem rekomendasi dan deteksi gerakan terapi.

- c. Mengasah keterampilan dalam pengumpulan dan analisis data kesehatan.
2. Bagi Masyarakat
- a. Membantu individu yang mengalami nyeri punggung bawah (LBP) dalam memahami dan menerapkan terapi fisik secara mandiri dengan lebih efektif.
 - b. Memberikan solusi yang lebih mudah diakses bagi pengguna yang memiliki keterbatasan dalam mendapatkan layanan fisioterapi secara langsung.
 - c. Mengurangi risiko nyeri punggung bawah dengan meningkatkan kesadaran masyarakat terhadap pentingnya postur tubuh yang baik dan latihan pencegahan yang tepat.
3. Bagi Institusi
- a. Memperkaya karya inovatif di bidang kesehatan berbasis teknologi digital.
 - b. Mendukung pengembangan teknologi terapan serta meningkatkan reputasi institusi dalam menghasilkan penelitian yang bermanfaat bagi masyarakat luas.

1.4 Tinjauan Pustaka

Beberapa penelitian dan pengembangan aplikasi telah dilakukan dalam upaya memberikan solusi terapi nyeri punggung bawah secara mandiri. Meskipun demikian, sebagian besar aplikasi yang dikembangkan masih terbatas pada fitur edukasi dan panduan latihan, tanpa mengintegrasikan sistem evaluasi gerakan maupun pelacakan perkembangan nyeri pengguna secara otomatis.

Penelitian oleh [8] mengevaluasi aplikasi Manage My Pain (MMP) dalam manajemen nyeri kronis di sejumlah klinik di Kanada. Aplikasi ini digunakan untuk mencatat keluhan nyeri, menjawab kuesioner psikologis, dan menampilkan grafik perkembangan kondisi pasien. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penggunaan aktif selama lebih dari 30 hari berkorelasi dengan penurunan tingkat kecemasan dan *pain catastrophizing*, mengindikasikan bahwa aplikasi digital dapat berkontribusi terhadap peningkatan keterlibatan pengguna serta perbaikan hasil klinis. Namun, fitur koreksi gerakan dan sistem rekomendasi latihan berdasarkan kondisi individual belum tersedia dalam aplikasi tersebut.

Studi oleh [9] membahas pengembangan SnapCare, sebuah aplikasi *mobile* untuk pengelolaan mandiri nyeri punggung bawah. Aplikasi ini menawarkan fitur latihan fisik, edukasi, dan pelacakan gejala dalam kerangka *self-management*. Namun, studi ini tidak menyajikan hasil uji klinis secara rinci, sehingga efektivitasnya dalam menurunkan nyeri atau meningkatkan fungsi fisik belum dapat disimpulkan. Selain itu, aplikasi ini belum mengintegrasikan koreksi gerakan maupun pemantauan performa latihan secara *real-time*.

Penelitian oleh [10] melaporkan hasil uji klinis dari aplikasi selfBACK yang inovatif dalam memberikan dukungan swakelola yang dipersonalisasi. Fitur utamanya adalah penggunaan AI untuk menyusun rencana latihan mingguan yang disesuaikan dengan kondisi pengguna, dan terbukti efektif mengurangi disabilitas. Namun, inovasi AI pada selfBACK terbatas pada tahap perencanaan program. Aplikasi ini belum memiliki kemampuan untuk memberikan *feedback* atau koreksi saat sesi latihan berlangsung (eksekusi *real-time*), sehingga kualitas gerakan pengguna tidak dapat dipastikan.

Penelitian oleh [11] mengembangkan sistem pemantauan latihan rehabilitasi nyeri punggung bawah berbasis web menggunakan model LSTM. Sistem ini mendeteksi pose secara *real-time* melalui video RGB dengan akurasi 98,8% saat pelatihan dan 99,7% saat pengujian. Hasil uji coba menunjukkan peningkatan keterlibatan pengguna, penurunan nyeri, dan skor usability yang tinggi. Namun, sistem masih bergantung pada kualitas video, rentan terhadap kesalahan saat tubuh tidak terdeteksi penuh, dan belum mendukung rekomendasi latihan atau pelacakan progres. Selain itu, karena hanya tersedia dalam versi web, penggunaannya kurang fleksibel.

Penelitian [12] membahas pengembangan dan uji usability aplikasi bernama My Back Exercise App sebagai alat manajemen mandiri holistik untuk penderita LBP kronis. Aplikasi ini menyediakan konten edukasi berbasis bukti yang mencakup panduan latihan, manajemen tidur, dan diet. Hasil pengujian usability menggunakan metode SUS dan MARS menunjukkan bahwa aplikasi tersebut diterima dengan baik oleh pengguna. Meskipun aplikasi ini

menawarkan pendekatan yang komprehensif untuk manajemen mandiri, fungsionalitasnya masih terbatas pada penyajian konten. Aplikasi tersebut belum mengintegrasikan sistem deteksi gerakan berbasis AI untuk memberikan *feedback* korektif secara *real-time* kepada pengguna saat melakukan latihan

Dari berbagai penelitian di atas, dapat disimpulkan bahwa belum terdapat sistem yang secara terintegrasi menggabungkan asesmen awal keluhan pengguna, pemberian rekomendasi gerakan terapi, koreksi dan pelacakan gerakan melalui *pose estimation*, serta evaluasi progres terapi secara menyeluruh. Oleh karena itu, penelitian ini menawarkan pendekatan baru melalui pengembangan aplikasi Spinecare, yang dirancang untuk memberikan panduan terapi nyeri punggung bawah secara personal, interaktif, dan terarah dengan dukungan teknologi pendeteksi pose dan pelacakan performa pengguna.

Tabel 1. 1 Tinjauan Pustaka

No.	Peneliti	Teknologi	Hasil	Pembeda dengan Penelitian ini
1.	Bhatia, Anuj Kara, Jamal Janmoha med., dkk. (2020)	Aplikasi <i>Mobile</i> (Android)	Menghasilkan penurunan tingkat kecemasan (GAD-7) dan <i>pain catastrophizing</i> (PCS)	Pengumpulan data nyeri pada aplikasi Manage My Pain mengumpulkan data nyeri yang dilaporkan secara acak oleh pasien. Sedangkan aplikasi pada penelitian ini secara spesifik meminta input nyeri dari pengguna setelah menyelesaikan sesi latihan.

			pada pasien nyeri kronis.	
2.	Kheiri nejad, Sabad, Saba Visuri., dkk. (2021)	Aplikasi <i>Mobile</i>	Aplikasi ini terbukti efektif meningkatkan kemampuan fungsional (skor MODI) dan kepatuhan pengguna secara signifikan.	Pada penelitian Aplikasi Snapcare berfokus untuk memotivasi pengguna agar patuh berlatih melalui gamifikasi dan penetapan tujuan. Sebaliknya, penelitian ini fokus pada eksekusi latihan itu sendiri, dengan menggunakan AI sebagai pelatih virtual yang memberikan koreksi gerakan secara <i>real-time</i> untuk memastikan setiap repetisi dilakukan dengan benar dan aman.
3.	Sandal, L. F., dkk. (2021)	Aplikasi <i>Mobile</i>	Terbukti mengurangi disabilitas terkait nyeri punggung bawah (LBP) pada	Aplikasi selfBACK menggunakan AI untuk merencanakan jadwal latihan, sedangkan penelitian ini menggunakan AI untuk mengawasi pelaksanaan latihan secara <i>real-time</i> .

			3 bulan dibandingkan dengan perawatan biasa.	
4.	Ekambara m, Dilliraj Ponnusamy, Vijayakumar (2024)	Website (Streamlit), LSTM	Akurasi model panjang 98.8% (latih), 99.7% (pengujian), cross-validation 98.54%. Pengurangan nyeri 0.05), Skor usability 79.375, user-friendly	Pada penelitian tersebut membuat sistem berbasis website yang diakses lewat browser komputer, sedangkan penelitian ini membangun aplikasi <i>mobile</i> (native app) yang di-install di HP, sehingga memberikan portabilitas dan pengalaman pengguna yang jauh lebih unggul.

5.	Comachi o, Josielli Mesa- Castrillon ., dkk (2024)	Aplikasi <i>Mobile</i>	Aplikasi manajemen mandiri holistik untuk LBP dengan hasil uji usabilitas yang baik (skor SUS 79).	Pada penelitian tersebut mengembangkan aplikasi dengan pendekatan yang lebih luas, seperti panduan latihan, diet, manajemen tidur, dan edukasi, metodologi pengembangan pada aplikasi tersebut berbasis teori. Sedangkan, penelitian ini mengambil pendekatan yang lebih spesifik, yang fokus pada kesempurnaan latihan fisik dan inovasi utama dalam penelitian ini adalah implementasi teknologi AI.
----	---	---------------------------	---	--

1.5 Data Penelitian

Penelitian ini memanfaatkan data sebagai dasar dalam merancang fitur utama aplikasi Spinecare, yaitu sistem rekomendasi gerakan, deteksi gerakan tubuh, dan pelacakan performa latihan pengguna. Data yang digunakan dikumpulkan dari wawancara dengan tenaga ahli dan pencarian video latihan terapi punggung bawah, yang kemudian diproses dan diintegrasikan ke dalam sistem.

Data yang diekstrak dari wawancara dan literatur ini kemudian diwujudkan menjadi serangkaian pertanyaan terstruktur di dalam aplikasi yang berfungsi sebagai alat asesmen. Rincian lengkap mengenai butir-butir pertanyaan dan opsi

jawaban yang digunakan dalam kuesioner asesmen pengguna disajikan pada

Tabel 1.2.

Tabel 1. 2 Detail Asesmen Pengguna

No.	Pertanyaan	Opsi Jawaban	Variabel di Sistem
1.	Aktivitas atau posisi apa yang biasanya membuat nyeri punggung Anda semakin terasa berat?	<ul style="list-style-type: none"> - Membungkuk - Duduk lama - Berdiri lama - Mengangkat beban - Memutar tubuh 	faktor_memperberat
2.	Apa yang biasanya membantu meringankan nyeri punggung bawah Anda?	<ul style="list-style-type: none"> - Berbaring/istirahat - Kompres hangat/dingin - Peregangan - Jalan kaki ringan 	faktor_memperingan
3.	Pilih tingkat nyeri punggung bawah Anda saat ini:	Dari skala 1 sampai 6	tingkat_nyeri
4.	Berapa lama Anda merasakan nyeri punggung bawah ini?	<ul style="list-style-type: none"> - Dibawah 6 minggu - 6 sampai 12 minggu - Diatas 12 minggu 	durasi

1.5.1 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan dua jenis data utama:

1) Data Klinis

Data ini merupakan basis aturan (*rule-based system*) untuk sistem rekomendasi berbasis aturan. Data ini berisi pemetaan antara kombinasi gejala pengguna (seperti faktor pemicu nyeri, durasi, dan tingkat keparahan) dengan program latihan yang sesuai (arah latihan dan jenis gerakan). Sumber utama untuk data ini adalah wawancara dengan ahli fisioterapi dan didukung oleh studi literatur medis. Untuk mengilustrasikan bagaimana penalaran klinis dari hasil wawancara diekstraksi menjadi basis pengetahuan dan alur fungsional aplikasi, beberapa contoh analisis dialog kunci disajikan pada Tabel 1.3.

Tabel 1. 3 Analisis Hasil Wawancara

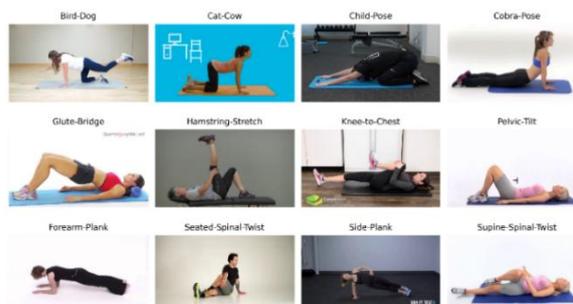
Topik	Pertanyaan	Informasi yang diperoleh
Identifikasi Gejala Darurat (Kontraindikasi)	Untuk aplikasi terapi mandiri, kondisi atau gejala apa yang membuat seseorang tidak boleh pakai aplikasi ini dan harus segera ke dokter?	Aplikasi hanya diperuntukan untuk nyeri punggung mekanis non-spesifik. Beberapa gejala darurat tidak diperkenankan melakukan latihan terapi mandiri. Diantaranya: nyeri pinggang disertai kelemahan kaki, memiliki riwayat trauma (jatuh/kecelakaan), gejala penyakit serius (demam, penurunan berat

		badan), gangguan saraf berat, dan berbagai kondisi serius yang perlu konsultasi dengan medis.
Proses Asesmen Awal Pasien	Sebelum menentukan latihan, informasi kunci apa saja yang pertama kali digali dari pasien nyeri punggung bawah untuk asesmen awal?	Proses anamnesis adalah fondasi utama. Input yang wajib ada: faktor pemicu/pereda nyeri, durasi nyeri (akut/kronis), tingkat nyeri (skala).
Penentuan Arah Latihan Berdasarkan Faktor Pereda Nyeri	Bagaimana penentuan latihan secara spesifik untuk pasien dengan kondisi dan keluhan tertentu?	Faktor pemicu dan pereda akan menentukan arah latihan utamanya. Apakah polanya lebih cocok untuk jalur Fleksi, Ekstensi atau Stabilisasi. Kemudian durasi nyeri akan menentukan tujuan latihan. Jika akut maka gerakannya ringan untuk menenangkan. Jika kronis maka gerakannya fokus pada penguatan untuk rehabilitasi jangka panjang.

		<p>Tingkat nyeri akan menentukan intensitas latihan. Jika ringan pasien mendapat set latihan yang paling lebih fungsional untuk mulai membangun kekuatan.</p> <p>Jika sedang pasien bisa menerima set yang paling aman dan stabil.</p>
--	--	--

2) Data Visual Gerakan

Untuk mengembangkan sistem cerdas yang mampu mendeteksi kesalahan gerakan secara akurat, diperlukan *Dataset* yang andal [13]. Data ini merupakan bahan baku untuk melatih model *deep learning* yang bertugas mendeteksi gerakan. Data ini berupa kumpulan video gerakan terapi yang kemudian diolah menjadi data sekuensial numerik (vektor landmark). Sumber utama data ini adalah video publik yang telah divalidasi oleh tenaga ahli. Untuk memberikan gambaran visual mengenai data mentah yang digunakan, beberapa sampel *frame* dari setiap kelas gerakan disajikan pada Gambar 1.1.



Gambar 1. 1 Sampel Data Mentah Tiap Kelas Gerakan

1.5.2 Proses Pengumpulan Data

1) Pengumpulan Data Klinis

Basis aturan klinis yang menjadi fondasi sistem rekomendasi dan logika aplikasi diperoleh melalui dua metode utama:

a) Wawancara dengan Ahli

Untuk memastikan validitas klinis, dilakukan proses konsultasi *semi-terstruktur* dengan dua orang ahli di bidangnya. Konsultasi pertama, yang berfokus pada aspek keamanan medis dan batasan aplikasi, dilakukan secara daring melalui platform Halodoc dengan Dr. Gustin F. Muhayani M.Ked.Klin, Sp.KFR, seorang Dokter Spesialis Kedokteran Fisik dan Rehabilitasi. Dari beliau, digali informasi mengenai penanganan umum nyeri punggung bawah serta identifikasi gejala darurat (*red flags*) dan kondisi pasien yang tidak diperkenankan (kontraindikasi) untuk menggunakan aplikasi terapi mandiri. Konsultasi kedua, yang menjadi dasar utama untuk logika sistem rekomendasi, dilakukan secara langsung di Instalasi Rehabilitasi Medik dengan fisioterapis Dhany Lisdiyanto N., Amd.FT. Diskusi dengan fisioterapis didominasi oleh penggalian penalaran klinis untuk memetakan kombinasi gejala (faktor pemicu, durasi, tingkat nyeri ringan-sedang) ke dalam arah latihan (*fleksi, ekstensi, stabilisasi*) dan pemilihan set gerakan yang spesifik untuk setiap kondisi. Kemudian, perancangan alur progresi terapi, yaitu bagaimana sistem seharusnya memberikan *feedback* berdasarkan

data perkembangan nyeri yang diinput oleh pengguna dari waktu ke waktu.



Gambar 1. 2 Sesi Wawancara Bersama Fisioterapis

b) Telaah Literatur Medis

Informasi yang diperoleh dari para ahli kemudian didukung dan divalidasi silang dengan studi pustaka terhadap jurnal medis dan panduan klinis terkini. Literatur ini digunakan untuk memperkuat dasar penentuan kategori latihan dan batasan penggunaan aplikasi, serta menjadi acuan dalam perancangan fitur evaluasi progres pengguna.

2) Pengumpulan Data Visual Gerakan

Proses pengumpulan data visual dilakukan berdasarkan daftar gerakan terapi yang telah ditetapkan dari hasil analisis data klinis sebelumnya. Terdapat 12 jenis gerakan utama yang menjadi target pengumpulan data, daftar gerakan disajikan pada Tabel 1.4 dibawah ini.

Tabel 1. 4 Gerakan Terapi

No	Nama Gerakan	Gambar	Keterangan Deskripsi
1.	Bird-Dog		Gerakan untuk melatih keseimbangan dan stabilitas otot inti (<i>core</i>) dengan cara mengangkat tangan dan kaki yang berlawanan secara bersamaan dari posisi merangkak.
2.	Cat-Cow		Peregangan dinamis untuk meningkatkan fleksibilitas dan mobilitas tulang belakang dengan melengkungkan (ekstensi) dan membungkukkan (fleksi) punggung.
3.	Child's Pose		Pose istirahat yang bertujuan untuk meregangkan secara lembut otot-otot punggung bawah, pinggul, dan paha.
4.	Cobra-Pose		Gerakan <i>backbend</i> (melengkung ke belakang) untuk memperkuat otot

			tulang belakang dan meregangkan otot dada serta perut.
5.	Glute-Bridge		Latihan untuk mengaktifkan dan memperkuat otot bokong (<i>gluteus</i>) dan hamstring, yang penting untuk menopang punggung bawah.
6.	Supine-Hamstring-Stretch		Peregangan statis yang dilakukan saat berbaring telentang (supine) untuk memanjangkan dan mengurangi ketegangan pada otot paha bagian belakang (hamstring).
7.	Knee-to-Chest		Peregangan lembut untuk meredakan ketegangan di punggung bawah dan otot bokong dengan menarik satu atau kedua lutut ke arah dada.

8.	Pelvic-Tilt		Gerakan kecil yang bertujuan untuk mengaktifkan otot perut bagian dalam dan menstabilkan area panggul serta punggung bawah.
9.	Forearm-Plank		Latihan isometrik (menahan posisi) untuk membangun kekuatan dan daya tahan otot inti (<i>core</i>), bahu, dan punggung secara keseluruhan.
10.	Seated-Spinal-Twist		Gerakan memutar tubuh saat duduk untuk meningkatkan mobilitas rotasi tulang belakang dan meregangkan otot perut samping (<i>obliques</i>).
11.	Side-Plank		Latihan isometrik yang secara spesifik menargetkan kekuatan otot perut samping (<i>obliques</i>) dan otot penstabil pinggul.

12.	Supine-Spinal-Twist		Peregangan rotasi saat berbaring untuk membantu meredakan ketegangan di sepanjang tulang belakang dan punggung bawah.
-----	---------------------	--	---

Untuk setiap jenis gerakan tersebut, dikumpulkan sekitar 10 video referensi dari platform YouTube, sehingga total data mentah yang diperoleh adalah sekitar 120 video. Setiap video dipilih secara cermat berdasarkan kriteria seperti postur tubuh yang terlihat jelas, gerakan dilakukan dengan teknik yang benar, dan relevansi konten dengan praktik terapi mandiri.

1.5.3 Pengolahan dan Transformasi Data

1) Data Klinis

Data klinis yang menjadi fondasi *knowledge base system* ini diperoleh dari wawancara dengan narasumber ahli (fisioterapis). Data kualitatif tersebut kemudian diolah dan ditransformasikan menjadi sebuah tabel logika (dataset rekomendasi) yang terstruktur dan dapat dibaca oleh sistem.

Proses transformasi ini melibatkan dua langkah utama:

a. Ekstraksi Aturan dan Variabel

Dari hasil wawancara, diidentifikasi empat variabel input (bebas) yang paling krusial untuk menentukan jenis penanganan, yaitu

faktor pemicu, faktor pereda, durasi nyeri, dan tingkat keparahan nyeri. Selain itu, diidentifikasi pula variabel output (terikat) berupa Arah Latihan dan satu Paket Gerakan berisi tiga gerakan spesifik.

b. Penyusunan Tabel Logika

Setiap baris dalam tabel mewakili satu aturan IF-THEN majemuk yang merepresentasikan satu skenario klinis. Sumber data pada kolom faktor memperberat, faktor meringankan, durasi, dan tingkat nyeri diperoleh dari hasil wawancara dengan pakar (expert) serta didukung oleh referensi literatur terkait rehabilitasi muskuloskeletal. Dengan demikian, setiap aturan yang terbentuk mencerminkan kombinasi antara pengetahuan klinis dan bukti empiris.

Sebagai contoh, salah satu aturan yang ada di dalam tabel adalah sebagai berikut:

- Skenario Input (IF):
 - Faktor Pemicu: “nyeri saat membungkuk”
 - Faktor Pereda: "reda saat berbaring"
 - Durasi: "< 6 minggu" (fase akut)
 - Tingkat Nyeri: Skala 6 (kategori "sedang")
- Analisis Klinis (Berdasarkan Pengetahuan Pakar):

Kombinasi ini mengindikasikan pola nyeri mekanis akut, di mana gerakan fleksi (membungkuk) memperparah tekanan pada struktur tulang belakang, dan posisi netral/ekstensi (berbaring)

meredakannya. Karena fasenya masih akut dan nyerinya tergolong sedang, penanganan harus fokus pada pereda tekanan dan aktivasi otot yang aman.

- Konklusi Output (THEN):
 - Arah Latihan: Berdasarkan analisis tersebut, strategi terapi yang paling tepat adalah Ekstensi.
 - Paket Gerakan: Direkomendasikan paket gerakan yang aman untuk fase ini, yaitu Cobra-Pose (gerakan ekstensi utama), didukung oleh Bird-Dog (stabilitas inti awal), dan Glute-Bridge (aktivasi otot penyangga punggung).

Contoh struktur data hasil pengolahan ditunjukkan pada Tabel 1.3 berikut.

Tabel 1. 5 Tabel Dataset Rekomendasi

faktor_ memperberat	faktor_ memperingan	durasi	tingkat_ nyeri	arah_ latihan	gerakan 1	gerakan 2	gerakan 3
membungkuk	Berbaring /istirahat	dibawah 6 minggu	4-6	ekstensi	cobra-pose	bird-dog	glute-bridge
membungkuk	Peregangan	6 sampai 12 minggu	1-3	ekstensi	cobra-pose	bird-dog	forearm-plank
membungkuk, berdiri lama	Berbaring /istirahat	diatas 12 minggu	4-6	stabilisasi	bird-dog	plank	side-plank
membungkuk, berdiri lama	Jalan kaki ringan	6 sampai 12 minggu	1-3	mobilisasi/postural	cat-cow	pelvic-tilt	supine-hamstrin g-stretch

2) Data Visual Gerakan

Data visual gerakan dari video latihan diproses menggunakan teknologi pose estimation berbasis MediaPipe. Setiap *frame* video diolah untuk mengekstraksi 33 titik pose tubuh (*landmark*), yang menghasilkan nilai koordinat tiga dimensi (x, y, z) dan tingkat *visibilitas* (v). Total terdapat

132 fitur numerik per *frame* (33 titik \times 4 nilai). Data ini kemudian dikompilasi dalam bentuk tabular dengan struktur sebagai berikut.

class	x1	y1	z1	v1	...	v32	x33	y33	z33	v33
-------	----	----	----	----	-----	-----	-----	-----	-----	-----

Gambar 1. 3 Data Tabular Gerakan

Di mana kolom *class* menunjukkan kelas gerakan seperti: cobra pose, cat-cow, bird-dog, child's pose, dan lainnya. Setiap baris dalam *dataset* merepresentasikan satu *frame* video. Setelah proses ekstraksi selesai, dilakukan tahap pembersihan (menghapus *frame* tidak valid), normalisasi koordinat agar seragam, pelabelan sesuai nama gerakan, serta augmentasi seperti pembalikan arah atau rotasi kecil untuk memperkaya variasi gerakan. Setelah itu, data dibagi menjadi tiga set: pelatihan (*training*), validasi, dan pengujian, untuk membangun dan menguji model klasifikasi gerakan.

Hasil akhir dari proses ini berupa *dataset* dalam format CSV dengan ukuran 68.388 baris dan 133 kolom (132 fitur + 1 label). Contoh representasi data tersebut dapat dilihat pada Gambar 1.4.

	class	x1	y1	z1	v1	...	v32	x33	y33	z33	v33
0	Bird-Dog	0.798681	0.435686	0.008820	0.999951	...	0.570967	0.259817	0.839329	0.107168	0.971078
1	Bird-Dog	0.799031	0.435901	-0.007700	0.999952	...	0.589858	0.259353	0.840514	0.107158	0.972334
2	Bird-Dog	0.799390	0.435971	-0.012262	0.999953	...	0.607006	0.258752	0.840589	0.108494	0.973445
3	Bird-Dog	0.799742	0.436006	-0.009969	0.999956	...	0.624393	0.258864	0.840586	0.116636	0.974542
4	Bird-Dog	0.799894	0.436044	-0.008619	0.999958	...	0.640462	0.258955	0.840584	0.122034	0.975566

5 rows \times 133 columns

Gambar 1. 4 *Dataset* Model Klasifikasi

Dataset final dalam format CSV ini menjadi fondasi utama yang akan digunakan untuk melatih dan mengevaluasi model klasifikasi gerakan.

Model ini bertugas mengenali jenis gerakan yang dilakukan oleh pengguna berdasarkan input kamera secara *real-time* dan memberikan *feedback* terhadap ketepatan gerakan yang dilakukan.

1.5.4 Integrasi Data ke Dalam Sistem

Data yang telah melalui proses pengolahan selanjutnya diintegrasikan ke dalam sistem aplikasi Spinecare untuk mendukung fungsionalitas inti, yaitu sistem rekomendasi gerakan, deteksi gerakan secara *real-time*, serta pelacakan perkembangan terapi pengguna.

1) Integrasi Data Klinis - Sistem Rekomendasi Gerakan

Data klinis yang telah disusun ke dalam format tabel logika digunakan dalam modul *rule-based recommendation system*. Ketika pengguna mengisi keluhan melalui formulir awal aplikasi, sistem akan mencocokkan kombinasi input seperti faktor yang memperberat dan meringankan nyeri, durasi keluhan, dan tingkat nyeri ke dalam struktur aturan yang telah dibuat. Berdasarkan hasil pencocokan tersebut, sistem secara otomatis menentukan arah latihan yang sesuai (*fleksi, ekstensi, stabilisasi atau mobilisasi*), kemudian menampilkan tiga gerakan terapi yang direkomendasikan. Fitur ini memastikan bahwa latihan yang diberikan bersifat personal, relevan, dan berbasis pada kaidah fisioterapi yang telah divalidasi.

2) Integrasi Data Visual - Sistem Deteksi Gerakan

Model klasifikasi gerakan yang telah dibangun dari data visual digunakan dalam fitur deteksi gerakan otomatis. Sistem menerima input

dari kamera pengguna secara *real-time*, lalu memprosesnya menggunakan model yang telah dilatih untuk mengenali pose tubuh. Aplikasi kemudian dapat mengidentifikasi jenis gerakan yang sedang dilakukan (misalnya: cobra-pose atau bird-dog), mengevaluasi akurasi gerakan berdasarkan kecocokan pose tubuh pengguna dengan model yang telah dilatih. Jika gerakan sesuai, maka akan dihitung sebagai satu repetisi yang valid.

3) Integrasi Data Pengguna - Pelacakan Progres dan *Feedback*

Setelah menyelesaikan sesi latihan, pengguna diminta untuk mengisi skala nyeri harian yang dirasakan. Data ini dicatat dan divisualisasikan dalam bentuk grafik perkembangan terapi. Sistem akan menganalisis tren berdasarkan data nyeri yang diinput pengguna dari waktu ke waktu. Jika nyeri menunjukkan perbaikan, sistem menampilkan pesan motivasi atau notifikasi “lanjutkan latihan”. Jika nyeri meningkat atau tidak membaik selama beberapa hari, sistem memberikan saran untuk melakukan istirahat atau berkonsultasi dengan tenaga ahli.

1.6 Alat Penelitian

Penelitian ini menggunakan sejumlah perangkat keras dan perangkat lunak untuk mendukung proses pengembangan aplikasi Spinecare, mulai dari pengolahan data, pelatihan model deteksi, hingga pembangunan sistem aplikasi. Alat yang digunakan dapat dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

1.6.1 Perangkat Keras

Perangkat keras yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a) Laptop

- Prosesor : Intel Core i5
- RAM : 16 GB
- GPU : Intel Iris Xe Graphics
- Penyimpanan : SSD 512GB

b) Smartphone Android

- Sistem Operasi : Android 14
- Fitur Utama : Kamera depan aktif, layar sentuh responsif

1.6.2 Perangkat Lunak

Tabel 1. 6 Kebutuhan Perangkat Lunak

NO	Perangkat Lunak	Fungsi
1.	Windows 11	Sistem operasi utama untuk pengembangan aplikasi, pemrosesan data, dan pelatihan model
2.	Python 3.10	Bahasa pemrograman utama untuk scripting, preprocessing, dan integrasi model
3.	MediaPipe	Library untuk ekstraksi titik pose tubuh (landmark) dari video
4.	OpenCV	Digunakan untuk membaca dan memproses video <i>frame-by-frame</i>

5.	Scikit-Learn	Library machine learning untuk membangun model klasifikasi awal
6.	Google Colab	Platform pelatihan model berbasis cloud GPU, digunakan khusus untuk model LSTM
7.	Visual Studio Code	Code editor utama dalam pengembangan skrip Python dan aplikasi <i>backend</i>
8.	Flutter & Dart	<i>Framework</i> dan bahasa pemrograman untuk membangun antarmuka aplikasi <i>mobile</i> (Android)
9.	Flask	<i>Framework</i> Python untuk membuat API dan <i>backend</i> aplikasi
10.	MongoDB Atlas	Layanan database NoSQL berbasis cloud untuk menyimpan data pengguna dan histori latihan
11.	Figma	Aplikasi desain antarmuka untuk membuat prototipe UI sebelum diimplementasikan di Flutter
12.	Google Sheets	Mendokumentasikan dan menganalisis hasil wawancara dan data asesmen

13.	Postman	Menguji <i>endpoint</i> API Flask dan memastikan koneksi data antara <i>frontend</i> dan <i>backend</i>
-----	---------	---