

BAB I

PENDAHULUAN

1.1 Latar Belakang

Stroke kini menjadi ancaman serius bagi kesehatan global sekaligus penyebab utama disabilitas permanen. Berdasarkan Global Stroke Fact Sheet 2022 dari World Stroke Organization (WSO), probabilitas seseorang terkena stroke melonjak 50% dalam kurun waktu 17 tahun terakhir, yang mengindikasikan bahwa satu dari empat individu kini berisiko mengalaminya [1]. Dampak terberat dari krisis ini dialami oleh negara-negara berpenghasilan rendah dan menengah (LMIC), yang menyumbang 89% dari total Disability Adjusted Life Years (DALYs) dan 86% angka kematian akibat stroke. Kondisi di Indonesia pun mencerminkan urgensi serupa, di mana stroke menempati posisi teratas sebagai penyebab kematian dan terjadi lonjakan prevalensi sebesar 56% hanya dalam kurun waktu lima tahun berdasarkan data Riskesdas [2].

Bagi jutaan penyintas, dampak stroke sangat signifikan, sering kali menyebabkan kecacatan fisik yang parah dan hilangnya kemandirian. Keberhasilan pemulihan fungsi tubuh pasca-stroke sangat bergantung pada rehabilitasi intensif, yang berlandaskan pada prinsip neuroplasticity, yakni kemampuan otak melakukan reorganisasi struktur dan fungsi sebagai respons terhadap pelatihan. Prinsip-prinsip seperti "Repetition Matters" dan "Intensity Matters" mengindikasikan bahwa perbaikan motorik menuntut latihan yang

konsisten dan berulang, seperti Latihan Range of Motion (ROM) pada ekstremitas atas yang terbukti efektif meningkatkan kekuatan otot pasien [3].

Kendati demikian, kondisi ideal rehabilitasi sering kali berbenturan dengan realitas di lapangan. Berdasarkan observasi pendahuluan yang dilakukan di Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Kardinah, ditemukan fakta empiris bahwa banyak pasien lansia pasca-stroke yang masih sangat bergantung pada peran pendamping dalam melakukan aktivitas keseharian. Terapis medis acap kali menemui hambatan dalam memonitor tingkat kepatuhan latihan pasien saat menjalani *Home Program* (Latihan di rumah), yang tercermin dari sulitnya memastikan apakah resep latihan harian telah benar-benar dikerjakan secara presisi oleh pasien. Selain komitmen terhadap aktivitas fisik, efektivitas pemulihan dan pencegahan serangan stroke sekunder juga sangat dipengaruhi oleh tingkat kepatuhan pasien dalam mengonsumsi obat-obatan rutin sesuai resep dokter, yang sering kali terabaikan tanpa adanya pengingat yang sistematis. Kombinasi antara keterbatasan fisik pasien, tingginya ketergantungan pada pihak pendamping, serta minimnya sistem pengawasan mandiri ini pada akhirnya memicu sebuah kompleksitas masalah pemantauan klinis yang dihadapi oleh tenaga medis secara berlapis.

Selain masalah pemantauan yang telah diuraikan tersebut, proses rehabilitasi mandiri di rumah juga dihadapkan pada krisis motivasi. Metode rehabilitasi konvensional yang didominasi oleh repetisi gerakan ROM cenderung monoton dan membosankan. Hal ini sejalan dengan temuan observasi di mana Standar Operasional Prosedur (SOP) mengharuskan latihan

dilakukan secara berurutan, dimulai dari bagian distal (motorik halus seperti membuka-tutup jari) menuju proksimal (sendi besar seperti tekuk siku dan rentang bahu) dengan target standar 10 repetisi per sesi latihan. Absennya keterlibatan emosional dan ketiadaan instrumen pemantauan objektif untuk merekam urutan gerakan di rumah inilah yang menyebabkan lambatnya progres pemulihan, karena secara langsung mendisrupsi prinsip *neuroplasticity* berupa "*Repetition Matters*" [3].

Beberapa penelitian terdahulu telah berupaya mengatasi krisis motivasi ini melalui pemanfaatan *mobile-based games* dan *exergames* berbasis Android, yang secara empiris terbukti efektif dalam menjaga keterikatan emosional serta meningkatkan kepatuhan latihan mandiri pasien stroke di rumah. Namun, sebagian besar pendekatan interaktif tersebut masih sebatas menggunakan konsep gim umum dan belum menerapkan evaluasi desain perilaku psikologis manusia yang terstruktur. Oleh karena itu, guna mengatasi rendahnya motivasi tersebut secara lebih komprehensif, penelitian ini mengadopsi kerangka kerja Gamifikasi Octalysis yang terdiri dari 8 *Core Drives* (Dorongan Inti). Pendekatan ini memicu dorongan psikologis manusia seperti *Epic Meaning, Development & Accomplishment*, hingga *Social Influence*. Penerapan *Core Drives* ini selaras dengan prinsip "*Salience Matters*", yang mensyaratkan bahwa sebuah latihan harus memiliki relevansi emosional dan makna bagi pasien agar neuroplastisitas dapat terjadi secara efektif.

Sementara itu, guna mengatasi kendala rekam medis dan pemantauan jarak jauh, sistem ini mengintegrasikan teknologi *computer vision* mutakhir berbasis

model estimasi pose MoveNet [4]. Namun, analisis terhadap lanskap sistem telerehabilitasi berbasis *Human Pose Estimation* (HPE) saat ini menunjukkan adanya *research gap* klinis yang signifikan pada platform latihan rumah digital. Mayoritas kerangka pelacakan koordinat konvensional mengevaluasi performa pengguna menggunakan klasifikasi biner yang kaku ("*correct*" versus "*incorrect*"), tanpa mampu menilai apakah kesalahan postural tersebut mengancam keselamatan sendi dan integritas anatomi jangka panjang [5], [6], [7]. Selain itu, pemrosesan visual menggunakan kamera depan ponsel pintar memicu kendala inheren berupa efek *foreshortening* (distorsi perspektif visual akibat sudut kamera tunggal) yang mengaburkan akurasi jangkauan gerak aktual pasien [8].

Dari sisi infrastruktur komputasi gawai, penerapan model jaringan *Transformer* skala penuh (seperti ViTPose) secara natif di dalam sistem operasi Android kelas menengah memicu batasan teknis yang fatal seperti penundaan proses (*processing delays*), ukuran paket instalasi yang terlalu besar, serta penurunan *frame rate* (*stuttering*) akibat beban kerja memori yang tinggi [5], [9], [10], [11]. Karakteristik penyeimbangan beban performa arsitektur *attention* pada lingkungan komputasi terbatas ini dievaluasi secara mendalam pada penelitian sebelumnya [9]. Oleh karena itu, penggunaan *convolutional pipeline* yang ringkas seperti *MoveNet Thunder* menjadi pilihan yang jauh lebih rasional dan praktis karena menawarkan kecepatan inferensi *on-device* yang stabil secara *real-time* via TensorFlow Lite (TFLite) untuk menghindari risiko

gagap antarmuka demi menjamin keselamatan peragaan latihan fisik pasien secara mandiri [5], [10].

Menjawab dualitas tantangan berupa rendahnya motivasi lansia serta keterbatasan akses pemantauan oleh terapis, penelitian ini merancang sebuah solusi komprehensif bertajuk "Platform Fisioterapi Digital Berbasis *White Hat Gamification Octalysis* Dan Estimasi Pose *Movenet* Untuk Rehabilitasi Ekstremitas Atas Pasien *Stroke*". Sistem yang diberi nama GEMA (*Gerak Mandiri*) ini dirancang sebagai ekosistem digital terintegrasi multi-platform yang mencakup aplikasi mobile Android untuk pasien dan fisioterapis, serta portal web management untuk administrator. Melalui penerapan arsitektur *dual-metric feature extraction* (gabungan kinematika sudut dan jarak Euclidean ternormalisasi), platform ini mampu menyelesaikan ilusi visual distorsi kamera sekaligus memvalidasi kebenaran sudut gerakan ekstremitas atas pasien secara presisi. Data klinis tersebut ditransmisikan langsung ke dasbor pemantauan terapis secara *real-time*, disandingkan dengan modul manajemen kepatuhan terapi holistik berupa pengingat obat mandiri terlokalisasi, serta modul ekspor rekam medis formal format PDF untuk optimalisasi tertib administrasi rumah sakit.

1.2 Perumusan Masalah

Berdasarkan uraian latar belakang di atas, maka perumusan masalah dalam penelitian tugas akhir ini adalah sebagai berikut:

1. Bagaimana merancang dan membangun ekosistem platform fisioterapi digital GEMA multi-platform yang mengintegrasikan kerangka kerja gamifikasi Octalysis untuk mengatasi kejenuhan latihan mandiri pasien pasca-stroke di rumah?
2. Bagaimana mengimplementasikan model kecerdasan buatan *MoveNet SinglePose Thunder* secara *on-device* menggunakan *TensorFlow Lite* untuk melacak koordinat sendi dan menghitung sudut *Range of Motion* (ROM) ekstremitas atas secara *real-time*?
3. Bagaimana membangun sistem sinkronisasi database berbasis *NoSQL Cloud Firestore* agar riwayat kepatuhan klinis pasien dari rumah dapat dipantau oleh fisioterapis secara jarak jauh (*remote monitoring*)?

1.3 Batasan Masalah

Agar ruang lingkup pengembangan sistem tetap terarah dan fokus, penelitian ini menetapkan batasan masalah sebagai berikut:

1. Aplikasi GEMA berfokus pada panduan dan evaluasi latihan rentang gerak (*Range of Motion/ROM*) ekstremitas atas (bahu, siku, dan pergelangan tangan) bagi pasien pasca-stroke tingkat ringan hingga sedang yang sedang menjalani fase rawat jalan (*Home Program*).
2. Sistem pemantauan gerakan mengandalkan teknologi estimasi pose berbasis model *MoveNet Thunder* (*TensorFlow Lite*), dengan input visual yang bersumber murni dari kamera depan perangkat ponsel pintar (*smartphone*) berbasis Android.

3. Kerangka pendorong motivasi dibatasi pada penerapan elemen-elemen desain perilaku dari metodologi Gamifikasi Octalysis (seperti *points*, *badges*, *leaderboards*, dan *daily streaks*).
4. Aplikasi ini diposisikan sebagai alat bantu pelengkap (*complementary tool*) fisioterapi mandiri untuk mendukung monitoring, dan bukan sebagai alat diagnostik medis maupun pengganti konsultasi gawat darurat dengan tenaga medis profesional.
5. Akses pemantauan oleh fisioterapis dibatasi pada perangkat mobile berbasis Android yang terhubung dengan akun pasien melalui mekanisme *Pairing Code/QR Code*.
6. Sistem manajemen data user, pembuatan (*generate*) token akses terapis, dan publikasi artikel edukasi dibatasi pengelolaannya melalui platform portal web (*Web Management Admin*)
7. Modul manajemen obat (*medication*) dibatasi pada fitur input daftar obat mandiri oleh pasien serta pemicuan notifikasi alarm pengingat secara lokal pada perangkat smartphone pasien, tidak mencakup sistem e-resep otomatis maupun integrasi dengan pihak apotek/instalasi farmasi.
8. Modul pembuatan laporan digital dikembangkan menggunakan pustaka penyusun dokumen PDF formal untuk memfasilitasi kebutuhan cetak rekam medis fisik oleh fisioterapis berdasarkan log aktivitas harian pasien.

1.4 Tujuan dan Manfaat

1.4.1 Tujuan Penelitian

Penelitian ini dilakukan untuk menghasilkan sebuah Platform Fisioterapi Digital Berbasis *White Hat Gamification Octalysis* Dan Estimasi Pose *Movenet* Untuk Rehabilitasi Ekstremitas Atas Pasien *Stroke* (GEMA). Berikut adalah beberapa tujuan spesifik dari penelitian ini:

- a. Mengembangkan ekosistem multi-platform GEMA yang terdiri dari aplikasi mobile Android (untuk Pasien dan Fisioterapis) serta portal web (untuk Admin) sebagai platform rehabilitasi pasca-stroke yang terintegrasi.
- b. Mengimplementasikan model kecerdasan buatan MoveNet untuk mendeteksi koordinat sendi tubuh, menghitung sudut gerakan, dan mengevaluasi validitas repetisi latihan secara presisi dan *real-time*.
- c. Menerapkan desain interaksi berbasis Gamifikasi Octalysis untuk memecahkan krisis kebosanan serta menstimulasi kepatuhan (adherence) pasien dalam menjalankan rutinitas latihannya.
- d. Menyediakan modul perekaman jejak (*History & Tracking*) otomatis guna memfasilitasi evaluasi medis yang objektif bagi fisioterapis.
- e. Mengintegrasikan modul manajemen obat berbasis *push-notification* lokal guna mendukung kepatuhan terapi medikamentosa pasien, serta modul ekspor rekam medis berbasis PDF untuk optimalisasi administrasi klinis terapis.

1.4.2 Manfaat Penelitian

Penelitian dan pengembangan sistem aplikasi ini diharapkan dapat memberikan manfaat, antara lain sebagai berikut:

1. Memberikan alternatif solusi rehabilitasi mandiri pasca-stroke di rumah yang interaktif, praktis, dan lebih ekonomis.
2. Meningkatkan motivasi dan kepatuhan pengguna dalam menjalani rutinitas terapi fisik melalui penerapan elemen gamifikasi (seperti sistem poin, level, dan pencapaian).
3. Meminimalkan risiko kesalahan gerakan saat latihan mandiri dengan adanya sistem koreksi visual secara langsung (*real-time*) berbasis teknologi kecerdasan buatan (*Computer Vision*).
4. Menyediakan sistem pemantauan jarak jauh yang memungkinkan evaluasi perkembangan serta tingkat kepatuhan pengguna secara objektif berbasis rekam data, sehingga meningkatkan efisiensi layanan kesehatan.
5. Membantu memudahkan penyesuaian program latihan rehabilitasi yang lebih spesifik dan personal berdasarkan data performa pengguna yang tercatat di dalam aplikasi.
6. Menjadi referensi implementasi nyata mengenai penggabungan teknologi kecerdasan buatan dan psikologi desain perilaku (*Octalysis*) dalam pengembangan perangkat lunak di ranah informatika medis (*Digital Health*).

7. Menghasilkan luaran karya inovatif teknologi terapan yang dapat memberikan kontribusi akademis sekaligus berdampak langsung bagi sektor kesehatan masyarakat luas.

1.5 Tinjauan Pustaka

Penelitian ini dibangun di atas fondasi penelitian sebelumnya di bidang informatika, rekayasa perangkat lunak, dan kecerdasan buatan (*computer vision*) yang diterapkan pada rehabilitasi medis. Lima penelitian berikut, yang seluruhnya berfokus pada ranah teknis dan diterbitkan dalam lima tahun terakhir, menjadi acuan utama pengembangan sistem.

Penelitian pertama [12] berfokus pada penilaian otomatis fungsi ekstremitas atas untuk rehabilitasi mandiri. Latar belakang masalahnya adalah sifat subjektif dari metode penilaian klinis manual saat ini. Tujuan penelitian mereka adalah mengembangkan model asesmen yang akurat berbasis *smartphone*. Metode yang digunakan memanfaatkan data video RGB dan *optical flow* dengan arsitektur *Transformers* untuk menangkap korelasi data. Hasilnya, model mereka menunjukkan akurasi yang melampaui metode konvensional, dan prototipe aplikasinya menerima skor kualitas MARS yang baik. Namun, penggunaan *Transformers* membuat komputasinya sangat berat, sehingga menjadi celah yang ditutupi oleh penelitian ini dengan menggunakan algoritma yang lebih ringan pada platform GEMA.

Sebuah tinjauan sistematis [13] mengkaji penerapan gim berbasis seluler dalam rehabilitasi penyintas stroke. Latar belakang penelitian ini adalah

keterbatasan fasilitas untuk rehabilitasi dini. Melalui pencarian literatur di berbagai *database* (*PubMed, Scopus, Embase*), mereka mengonfirmasi bahwa teknologi seluler, khususnya gim, menawarkan pendekatan inovatif, berbiaya rendah, dan efektif menjaga motivasi pasien di rumah. Karena studi ini hanya berupa tinjauan konseptual, penelitian ini hadir untuk mengimplementasikan gagasan tersebut ke dalam bentuk produk nyata berupa ekosistem platform.

Dari ranah nasional, penelitian terdahulu [4] berfokus pada pengembangan aplikasi deteksi pose jarak jauh. Latar belakang yang diangkat sangat relevan, yaitu solusi *telemedicine* terdahulu yang menggunakan sensor Kinect terbukti tidak praktis dan mahal. Mereka berhasil mengembangkan aplikasi pelapor hasil asesmen menggunakan *library* MediaPipe. Hasil pengujian menunjukkan aplikasi efektif mengenali gerakan, namun secara eksplisit mereka mencatat adanya kendala berupa *delay* (latensi) pada beberapa perangkat. Masalah *delay* inilah yang diatasi dalam penelitian ini melalui optimasi performa komputasi pada platform GEMA.

Penelitian nasional kedua [14] menyajikan tinjauan literatur tentang penerapan *exergames* berbasis Android. Berlatar belakang tingginya angka kecacatan stroke, tujuan mereka adalah memberikan gambaran potensi *exergames* dari 10 jurnal pilihan. Hasilnya menyimpulkan bahwa *exergames* sangat fleksibel dan efektif untuk neurorehabilitasi. Penelitian ini melangkah lebih jauh dari sekadar tinjauan literatur tersebut dengan membangun langsung ekosistem platform fisio digitalnya.

Secara teknis, penelitian terdahulu [15] mengatasi masalah spesifik dalam penilaian latihan dinamis menggunakan estimasi pose (*Human Pose Estimation* / HPE). Mereka menyoroti bahwa HPE tradisional sering gagal menilai latihan yang melibatkan kecepatan. Dengan menggabungkan data HPE dan metode *relative phase* pada model *Deep Learning* 1D, mereka berhasil membedakan gerakan ahli dan pemula dengan akurasi di atas 95% pada latihan *squat*. Mengingat fokus mereka masih pada ekstremitas bawah (kaki), penelitian ini menggeser fokus deteksi pada ekstremitas atas (lengan dan bahu) yang krusial bagi pasien stroke.

Tabel 1.1 berikut merangkum penelitian sebelumnya dan menyoroti celah penelitian serta kebaruan (*novelty*) dari platform GEMA.

Tabel 1.1 Gap Penelitian Terdahulu

No.	Penelitian Terdahulu (Metode & Celah Riset)	Kebaruan / Kontribusi Platform GEMA
1	Penelitian ini menggunakan arsitektur Vision Transformers (ViT) dan <i>optical flow</i> untuk pemetaan video RGB jangkauan gerak ekstremitas atas. Namun, beban komputasi model terlalu berat (<i>high overhead</i>), memicu <i>stuttering</i> dan penurunan <i>frame rate</i> pada gawai berspesifikasi standar [12].	Mengimplementasikan <i>convolutional pipeline</i> MoveNet Thunder via TensorFlow Lite (TFLite) secara <i>on-device</i> yang super ringan, dipadukan dengan Gamifikasi Octalysis.

No.	Penelitian Terdahulu (Metode & Celah Riset)	Kebaruan / Kontribusi Platform GEMA
2	Studi tinjauan sistematis (<i>systematic review</i>) komparasi efektivitas interaksi gim seluler untuk stimulasi pasien stroke. Namun, masih bersifat kajian literatur konseptual murni dan belum mengarah pada perancangan maupun implementasi produk nyata [13].	Merealisasikan konsep tersebut ke dalam bentuk ekosistem platform nyata dengan implementasi 8 <i>Core Drives</i> Octalysis sebagai mesin pendorong kepatuhan latihan pasien.
3	Deteksi koordinat pose tubuh jarak jauh memanfaatkan <i>open-source library</i> MediaPipe berbasis Android. Namun, menghasilkan latensi pemrosesan (<i>delay</i>) umpan balik visual yang tinggi pada beberapa tipe prosesor ponsel pintar [4].	Mengoptimalkan <i>latency boundaries</i> menggunakan MoveNet Thunder yang dikombinasikan dengan perhitungan Jarak Euclidean Ternormalisasi untuk memangkas <i>delay</i> .
4	Meta-analisis literatur potensi <i>exergames</i> Android sebagai instrumen pendukung metode neurorehabilitasi. Namun, terbatas pada pemetaan teori sekunder dan belum menyediakan kerangka arsitektur sistem yang utuh [14].	Membangun sebuah ekosistem multi-platform yang utuh dan terintegrasi (Android Pasien, Android Terapis, dan Web Admin) berbasis Flutter dan Firebase.
5	Evaluasi pergerakan dinamis waktu nyata (<i>real-time</i>) menggabungkan data estimasi pose (HPE) dan metode <i>relative phase</i> 1D. Namun, fokus pengujian dan validasi algoritma hanya dialokasikan untuk ekstremitas bawah (<i>squat exercise</i>) [15].	Mengalihkan fokus deteksi secara spesifik pada ekstremitas atas (lengan dan sendi bahu) yang disesuaikan dengan SOP tahapan rehabilitasi pasca-stroke.

Berdasarkan penelitian terdahulu, teknologi *Computer Vision* dan pendekatan *Games* terbukti efektif untuk membantu rehabilitasi mandiri. Namun, sebagian besar penelitian masih memiliki kendala teknis seperti beban komputasi yang berat (seperti pada penggunaan *Transformer*), masalah *delay* pada perangkat menengah, atau hanya sebatas kajian literatur yang belum diwujudkan dalam bentuk produk aplikasi utuh. Oleh karena itu, penelitian ini tidak hanya membandingkan performa model untuk mencari yang tercepat, tetapi juga mengimplementasikannya ke dalam sebuah ekosistem sistem yang lengkap (Aplikasi *Mobile* dan portal *Web Monitoring*). Sistem ini dirancang khusus dengan integrasi *MoveNet Thunder* untuk kecepatan deteksi dan *Octalysis Gamification* untuk menjaga motivasi psikologis pasien. Dengan demikian, sistem yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi solusi rehabilitasi yang praktis, menyenangkan, dan efektif untuk mempercepat pemulihan pasien stroke di rumah.

1.6 Data Penelitian

Penelitian ini tidak hanya bergantung pada studi literatur, melainkan menggunakan data empiris dari lapangan sebagai fondasi utama dalam merancang fitur aplikasi GEMA. Data ini mencakup Standar Operasional Prosedur (SOP) fisioterapi, penentuan rentang gerak (*Range of Motion/ROM*) yang aman untuk lansia, serta integrasi gamifikasi *Octalysis*. Seluruh data yang digunakan bersumber dari observasi langsung dan validasi ahli fisioterapi di rumah sakit.

1.6.1 Jenis dan Sumber Data

Penelitian ini menggunakan tiga jenis data utama:

1) Data Klinis (Parameter Rehabilitasi)

Data ini merupakan acuan medis nyata yang digunakan untuk membangun sistem pakar di dalam aplikasi yang diadaptasi dari metode *Fugl-Meyer Assessment* (FMA) untuk menentukan fase pemulihan dan sisi tubuh yang terdampak. Datanya berisi aturan urutan gerakan terapi (mulai dari ujung jari hingga pangkal lengan), dosis latihan harian (target repetisi), dan batas toleransi sudut sendi bagi pasien stroke. Sumber utama data ini diperoleh dari Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Kardinah.



Gambar 1. 1 Proses Pengumpulan Data Klinis dan Observasi Lapangan di Poli Rehabilitasi Medik RSUD Kardinah

2) Data Desain Perilaku (Gamifikasi)

Data ini merupakan hasil pemetaan antara kendala psikologis pasien (seperti rasa bosan dan malas berlatih di rumah) dengan 8 *Core Drives* dari kerangka kerja *Octalysis*. Data ini menjadi dasar untuk menentukan jumlah perolehan *Experience Points* (XP), syarat kenaikan level, dan pemberian *reward* visual di dalam aplikasi.

3) Data Algoritma Deteksi Visual

Sistem ini menggunakan model *pre-trained* MoveNet dari TensorFlow. Oleh karena itu, data yang dibutuhkan bukanlah gambar untuk melatih ulang AI, melainkan data titik koordinat sendi (seperti bahu, siku, dan pergelangan tangan) yang diekstrak oleh MoveNet untuk dihitung sudut geometrisnya menggunakan rumus trigonometri.

4) Data Manajemen Kepatuhan Obat (*Medication Data*)

Data ini merupakan data sekunder berupa daftar nama obat, dosis, serta frekuensi waktu minum obat rutin pasien stroke rawat jalan yang bersumber dari input mandiri pengguna berdasarkan resep resmi dokter, yang kemudian ditransformasikan sistem menjadi parameter pemicu alarm pengingat.

1.6.2 Proses Pengumpulan Data

Proses pengumpulan basis aturan klinis dan perancangan sistem didapatkan melalui:

1) Observasi Lapangan dan Wawancara Ahli

Pengumpulan data dilakukan secara langsung di Instalasi Rehabilitasi Medik RSUD Kardinah dengan mengamati proses terapi pasien pasca-stroke (Ibu Kasmah) yang dipandu oleh terapis. Dari observasi tersebut, didapatkan SOP latihan yang selalu dimulai dari bagian *distal* (buka-tutup jari dan putar pergelangan), kemudian dilanjutkan ke bagian *proksimal* (tekuk siku dan angkat bahu). Selain itu, diketahui bahwa target standar latihan mandiri di rumah adalah 10 repetisi.

2) Validasi Pakar (*Expert Judgement*)

Untuk memastikan sistem yang dibangun aman dan sesuai standar medis, dilakukan validasi pakar bersama tenaga fisioterapis RSUD Kardinah, yaitu Ibu Melina Suci Ayuningtyas, A.Md.Ftr. Beliau memvalidasi kelayakan parameter ROM, keamanan pendekatan aplikasi, dan kegunaan fitur pelaporan digital. (*Bukti dokumentasi foto dan lembar validasi terlampir pada Lampiran*).

3) Studi Literatur Medis

Mengkaji jurnal rehabilitasi medik untuk mencocokkan hasil observasi lapangan dengan teori medis terkini, terutama mengenai toleransi sudut gerakan ekstremitas atas bagi penyintas stroke.

1.6.3 Pengolahan dan Transformasi Data

Data mentah dari lapangan kemudian diolah dan diubah menjadi logika pemrograman (*coding*) di dalam aplikasi:

1) Transformasi Data Klinis ke Logika Sistem (*Hybrid & Leveling*)

Hasil observasi diubah menjadi algoritma sistem. Karena sendi jari terlalu kecil untuk dideteksi kamera *smartphone* secara akurat, data diolah menjadi pendekatan *Hybrid*: bagian jari dipandu dengan animasi visual-audio, sedangkan siku dan bahu dilacak menggunakan kamera AI. Sistem juga mengolah data kondisi pasien menjadi algoritma *Leveling* (misal: Program *Neuroplasticity Booster* untuk pasien yang masih dalam *golden period*, dan *Flexibility Flow* untuk pasien kaku). Nilai toleransi sudut ROM juga disesuaikan; misalnya gerakan tekuk siku pada pasien stroke dianggap

sudah "sukses" jika mencapai sudut 70 derajat, tidak perlu dipaksa lurus sempurna.

2) Perhitungan Sudut Sendi (MoveNet)

Model MoveNet mendeteksi 17 titik (*keypoints*) pada tubuh manusia secara *real-time*. Sistem GEMA mengekstrak titik spesifik lengan pasien berdasarkan sisi yang terdampak stroke, yaitu titik 5, 7, 9 untuk sisi kiri, atau titik 6, 8, 10 untuk sisi kanan (bahu, siku, pergelangan tangan). Posisi (x, y) dari ketiga titik ini kemudian dihitung menggunakan rumus Hukum Cosinus untuk mendapatkan nilai sudut sendi pasien secara aktual.

1.6.4 Integrasi Data ke Dalam Sistem

Data yang telah diproses kemudian dirangkai menjadi satu ekosistem aplikasi yang utuh melalui alur berikut:

1) Integrasi Pelacakan Gerak dan Aba-Aba Terapis

Kamera *smartphone* membaca gerakan pasien. Jika sudut ROM pasien masuk ke dalam batas toleransi medis yang telah disetel, sistem menganggapnya sebagai 1 repetisi yang valid. Bersamaan dengan itu, sistem akan mengeluarkan umpan balik berupa teks dan audio yang meniru gaya bahasa terapis sungguhan (misalnya: "*Bagus, tahan maksimal!*" atau "*Ayo, sedikit lagi ke atas*").

2) Integrasi Gamifikasi Berbasis Hasil Latihan

Setiap repetisi yang diselesaikan pasien akan langsung dikonversi menjadi *Experience Points* (XP). Total XP ini digunakan sebagai acuan absolut untuk menaikkan level pasien dan mempertahankan rekor latihan

harian (*Daily Streak*), sehingga pasien merasa seperti sedang bermain *game* yang terus memberikan penghargaan.

3) Integrasi Rekam Medis Digital (Laporan PDF)

Seluruh data riwayat latihan mulai dari jenis program, jumlah repetisi riil, tingkat akurasi gerakan, hingga pencapaian sudut ROM terbaik disimpan secara otomatis ke dalam database cloud (Firebase). Data ini kemudian diintegrasikan langsung ke aplikasi mobile Fisioterapis via server cloud, sehingga terapis dapat mengevaluasi perkembangan motorik, persentase Range of Motion (ROM), dan grafik kepatuhan pasien secara jarak jauh (*remote monitoring*) kapan saja tanpa harus menunggu kunjungan kontrol fisik.

4) Integrasi Pengingat Jadwal Obat Berbasis Notifikasi Lokal

Daftar obat dan waktu minum yang telah dimasukkan oleh pasien akan diproses oleh background service aplikasi mobile pasien. Sistem akan mengintegrasikan data tersebut dengan sistem jam internal smartphone untuk memicu kemunculan push notification dan alarm peringatan secara tepat waktu, memastikan pasien tidak melewatkan jadwal konsumsi obat harian.

1.7 Alat Penelitian

Dalam membangun dan mengembangkan ekosistem aplikasi GEMA (*Gerak Mandiri*), penelitian ini memanfaatkan serangkaian perangkat keras dan perangkat lunak. Pemilihan alat-alat ini disesuaikan dengan kebutuhan

pengembangan sistem mulai dari perancangan antarmuka yang ramah lansia, integrasi model kecerdasan buatan (*computer vision*), hingga pengelolaan *database* rekam medis di *cloud*. Kebutuhan alat bantu tersebut dibagi menjadi dua kategori utama, yaitu perangkat keras dan perangkat lunak.

1.7.1 Perangkat Keras

Perangkat keras (*hardware*) yang digunakan dalam penelitian ini meliputi:

a) Laptop / PC (Komputer Pengembang)

Digunakan sebagai *workstation* utama untuk menulis kode (*coding*), merancang antarmuka (UI/UX), dan menjalankan simulasi aplikasi. Spesifikasi yang digunakan cukup standar, yang sekaligus membuktikan bahwa pengembangan sistem AI ini cukup ringan dan efisien:

- Prosesor: Intel Core i3 (Generasi ke-8)
- RAM: 4 GB
- Penyimpanan: SSD 512 GB

b) Smartphone Android (Perangkat Uji Coba)

Digunakan untuk proses instalasi dan pengujian aplikasi (*running/debugging*) secara langsung di lingkungan nyata. Perangkat ini dipilih untuk menyimulasikan kondisi *smartphone* standar yang umumnya dimiliki oleh pasien lansia atau keluarganya di rumah.

- Sistem Operasi: Android 13 atau yang lebih baru.
- Fitur Utama: Kamera depan/belakang dengan resolusi minimal 720p untuk memastikan model AI dapat mendeteksi sendi dengan jelas, serta layar sentuh yang responsif.

- Alat Bantu: Tripod atau sandaran ponsel. Digunakan untuk menjaga ponsel tetap stabil dan statis saat memantau pergerakan pasien, sesuai dengan anjuran keamanan latihan mandiri.

1.7.2 Perangkat Lunak

Perangkat lunak (*software*) yang digunakan untuk membangun arsitektur, antarmuka, model kecerdasan buatan, dan *backend* sistem diuraikan pada Tabel

1.2 berikut:

Tabel 1.2 Kebutuhan Perangkat Lunak

No	Perangkat Lunak	Fungsi Utama dalam Sistem
1.	Windows 10 / macOS	Sistem operasi utama yang digunakan pada perangkat pengembang untuk seluruh proses perancangan dan pembuatan aplikasi.
2.	Flutter & Dart	<i>Framework</i> dan bahasa pemrograman utama yang digunakan untuk membangun antarmuka (<i>frontend</i>) aplikasi <i>mobile</i> (Pasien & Fisioterapis) serta portal Web (Admin).
3.	TensorFlow Lite (TFLite)	<i>Library</i> pendukung untuk menjalankan model <i>Machine Learning</i> secara <i>offline</i> di perangkat seluler (<i>on-device inference</i>).
4.	MoveNet (Thunder)	Model <i>pre-trained pose estimation</i> dari Google yang diintegrasikan ke dalam sistem untuk mendeteksi 17 titik sendi tubuh pengguna secara <i>real-time</i> .
5.	Visual Studio Code / Android Studio	<i>Integrated Development Environment</i> (IDE) atau <i>code editor</i> utama yang digunakan untuk menulis sintaks dan mengompilasi program aplikasi.
6.	Firebase Authentication	Layanan <i>Backend-as-a-Service</i> (BaaS) untuk mengelola sistem keamanan login, registrasi, dan sesi pengguna (Pasien, Fisioterapis, Admin).
7.	Cloud Firestore (Firebase)	<i>Database NoSQL</i> berbasis <i>cloud</i> untuk menyimpan data pengguna secara <i>real-time</i> , termasuk riwayat latihan, perolehan XP (Gamifikasi), dan rekam medis.
8.	Firebase Cloud Storage	Layanan penyimpanan <i>cloud</i> untuk mengelola aset statis seperti foto profil pengguna atau aset gambar panduan gerakan.

No	Perangkat Lunak	Fungsi Utama dalam Sistem
9.	Figma	Perangkat lunak perancangan <i>User Interface</i> (UI) dan <i>User Experience</i> (UX) untuk membuat <i>mockup</i> antarmuka GEMA sebelum proses <i>coding</i> .
10.	Draw.io / StarUML	Alat pemodelan visual yang digunakan untuk merancang arsitektur sistem seperti <i>Use Case Diagram</i> , <i>Activity Diagram</i> , dan <i>Class Diagram</i> (UML).
11.	Git & GitHub	Sistem <i>Version Control</i> untuk memantau perubahan kode sumber (<i>source code</i>) dan menyimpan cadangan basis kode (<i>repository</i>) aplikasi secara daring.
12.	Web Browser (Google Chrome / Mozilla Firefox)	Perangkat lunak utama untuk menjalankan dan menguji antarmuka portal Web Management Admin, serta melakukan manajemen konfigurasi pada dasbor Firebase Console.
13.	Vercel Platform / Vercel CLI	Platform layanan <i>cloud hosting</i> dan <i>deployment</i> otomatis yang digunakan untuk meng-hos (<i>hosting</i>) portal Web Management Admin GEMA agar dapat diakses secara daring melalui URL publik.
14.	Mendeley Reference Manager	Perangkat lunak pengelolaan sitasi ilmiah untuk menyusun bibliografi laporan tugas akhir agar sesuai dengan standar format IEEE.