

PEMBANGUNAN SISTEM PEMULIHAN PERGERAKAN KAKI BERASASKAN IOT UNTUK MANGSA STROK

GONISSHA A/P RAJENDRAN

PROF. DR. SITI NORUL HUDA BT. SHEIKH ABDULLAH

**Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
43600 Universiti Kebangsaan Malaysia**

Abstrak

Projek ini menumpukan kepada pembangunan sistem pemulihan mudah alih berasaskan IoT yang direka untuk menyokong pesakit strok dengan mobiliti anggota bawah yang sebahagian dalam melakukan latihan pemulihan di rumah. Inti sistem ini adalah peranti bantuan pedal pintar yang dilengkapi dengan dua sel beban HX711, unit pengukuran inersia (IMU) MPU6050, dan sensor langkah magnetik, semuanya disambungkan dengan mikrokontroler ESP32. Sensor-sensor ini menangkap metrik pemulihan penting seperti beban berat, sudut sendi anggota bawah (roll dan pitch), pecutan gait, dan bilangan langkah secara waktu nyata. Untuk membolehkan pemantauan pintar, sistem ini diintegrasikan dengan Firebase Realtime Database dan Firebase Firestore, menyediakan penyimpanan dan pengambilan data sensor yang berasaskan awan yang kukuh. Aplikasi mudah alih Android yang disertakan dibangunkan menggunakan Kotlin dan Jetpack Compose yang berfungsi sebagai antara muka pesakit, membolehkan pengguna melihat kemajuan mereka secara visual melalui graf masa nyata, ringkasan statistik, dan laporan kemajuan berasaskan PDF. Aplikasi ini juga merangkumi ciri-ciri seperti kawalan sesi (mula/henti), perkongsian laporan, dan direktori klinik fisioterapi yang boleh dicari berdasarkan negeri. Semua visualisasi data dipaparkan menggunakan MPAndroidChart, dan laporan PDF mengandungi imej carta, ringkasan kesihatan, dan profil pengguna yang dipersonalisasi untuk semakan oleh fisioterapis. Lingkaran maklum balas yang berterusan antara peranti, awan, dan aplikasi membolehkan profesional kesihatan menilai kemajuan pesakit dari jauh dan memberikan intervensi tepat pada masanya, mengurangkan frekuensi lawatan secara peribadi. Selain itu, analisis data masa nyata menyokong pesakit dalam mengesan prestasi dan motivasi mereka sendiri. Penilaian eksperimen menunjukkan ketepatan yang tinggi dalam menjejak metrik pemulihan. Sistem ini merekodkan beban berat dengan ralat ± 1 kg dalam julat 10–40 kg (Perempuan Sihat), 10–60 kg (Lelaki Sihat), dan 10–17 kg (Lelaki Tidak Sihat). Pengukuran sudut sendi mengekalkan ketepatan $\pm 1^\circ$, dengan individu yang sihat menunjukkan -10° hingga 10° , dan seorang Lelaki Tidak Sihat merekodkan sudut gulung dari -3.3° hingga -1.5° dan sudut tuil dari -6° hingga

9°. Data pecutan, yang ditangkap dengan ketepatan $\pm 0.2 \text{ m/s}^2$, berada dalam julat antara -3 hingga 3 m/s^2 (sihat) dan -1.5 hingga 1.5 m/s^2 (tidak sihat). Walaupun mempunyai kekuatan, beberapa batasan seperti had berat 100 kg, keperluan untuk menjaga postur senaman duduk atau berdiri, dan kebergantungan pada sambungan Wi-Fi telah dinyatakan. Walau bagaimanapun, sistem ini menunjukkan potensi yang ketara sebagai alat pemulihan yang berkesan dari segi kos, mudah alih, dan pintar. Ia menangani kekangan dunia sebenar dalam penjagaan strok dan mencerminkan aplikasi sains komputer dalam inovasi penjagaan kesihatan melalui sistem terbenam, integrasi awan, pembangunan aplikasi mudah alih, dan analisis data masa nyata.

Kata Kunci: Pemulihan IoT, pesakit strok, pedal pintar, ESP32, aplikasi Android, data masa nyata.

Abstract

This project focuses on the development of a portable, IoT-based rehabilitation system designed to support stroke patients with partial lower limb mobility in performing home-based rehabilitation exercises. The core of the system is a smart pedal-assisted device embedded with two HX711 load cells, an MPU6050 inertial measurement unit (IMU), and a magnetic step sensor, all interfaced with an ESP32 microcontroller. These sensors capture key rehabilitation metrics such as weight exertion, lower limb joint angles (roll and pitch), gait acceleration, and step counts in real time. To enable intelligent monitoring, the system is integrated with Firebase Realtime Database and Firebase Firestore, providing robust cloud-based storage and retrieval of sensor data. A companion Android mobile application—developed using Kotlin and Jetpack Compose—serves as the patient interface, allowing users to view their progress visually through real-time graphs, statistical summaries, and PDF-based progress reports. The app also includes features such as session control (start/stop), report sharing, and a searchable physiotherapy clinic directory based on state. All data visualizations are rendered using MPAndroidChart, and PDF reports incorporate chart images, health summaries, and personalized user profiles for review by physiotherapists. This continuous feedback loop between the device, cloud, and app allows healthcare professionals to remotely assess patient progress and provide timely interventions, reducing the frequency of in-person visits. Moreover, real-time data analytics supports patients in tracking their own performance and motivation. Experimental evaluation showed high accuracy in tracking rehabilitation metrics. The system recorded weight exertion with an error of $\pm 1 \text{ kg}$ in ranges from 10–40 kg (Healthy Female), 10–60 kg (Healthy Male), and 10–17 kg (Unhealthy Male). Joint angle measurements maintained an accuracy of $\pm 1^\circ$, with healthy individuals exhibiting

-10° to 10°, and an Unhealthy Male recording roll angles from -3.3° to -1.5° and pitch angles from -6° to 9°. Acceleration data, captured with $\pm 0.2 \text{ m/s}^2$ accuracy, ranged between -3 to 3 m/s^2 (healthy) and -1.5 to 1.5 m/s^2 (unhealthy). Despite its strengths, limitations such as a 100 kg weight cap, the need for seated or standing exercise posture, and dependence on Wi-Fi connectivity were noted. Nevertheless, the system demonstrates significant potential as a cost-effective, mobile, and intelligent rehabilitation tool. It addresses real-world constraints in stroke care and exemplifies the application of computer science in healthcare innovation through embedded systems, cloud integration, mobile app development, and real-time data analysis.

Keywords: IoT rehabilitation, stroke recovery, smart pedal device, ESP32, Firebase, Android app, real-time monitoring

1.0 PENGENALAN

Strok kekal menjadi salah satu penyebab utama kecacatan di seluruh dunia dan memberi kesan kepada jutaan orang setiap tahun. Pemulihan anggota bawah pesakit strok sangat penting bagi membantu mereka mendapatkan semula mobiliti, kekuatan otot dan keseimbangan untuk menjalani kehidupan seharian. Namun, kaedah pemulihan tradisional memerlukan pesakit hadir ke pusat terapi secara berjadual, melibatkan kos perjalanan dan masa, serta menghadkan kebolehcapaian terutama bagi mereka yang tinggal di kawasan terpencil.

Seiring perkembangan teknologi, Internet of Things (IoT) muncul sebagai penyelesaian inovatif yang dapat meningkatkan keberkesanan pemulihan melalui pemantauan masa nyata, pengumpulan data automatik, serta kawalan dan analisis jarak jauh. Projek ini membangunkan satu sistem pemulihan pergerakan kaki berasaskan IoT yang direka untuk membantu pesakit strok menjalani latihan di rumah dengan pemantauan profesional secara maya. Sistem ini menggunakan peranti pedal pintar berasaskan sensor beban HX711, sensor IMU MPU6050 dan sensor langkah magnetik yang disambungkan ke mikropengawal ESP32. Data sensor dihantar ke pangkalan data Firebase secara masa nyata dan divisualkan melalui aplikasi mudah alih Android.

Matlamat projek ini adalah untuk membangunkan sistem pemulihan IoT yang

mampu memantau dan merekod data pesakit secara berterusan, menyediakan visualisasi data melalui graf, dan menjana laporan kemajuan dalam bentuk PDF untuk rujukan ahli fisioterapi. Skop projek ini terhad kepada pesakit strok yang masih boleh berdiri atau duduk untuk menjalani latihan asas di rumah, manakala had beban peranti adalah maksimum 100 kg dan memerlukan sambungan Wi-Fi yang stabil.

Projek ini dilaksanakan menggunakan model pembangunan secara berperingkat (“Incremental Development”) yang melibatkan fasa analisis keperluan, reka bentuk sistem, pembangunan perkakasan, pembangunan perisian, integrasi, pengujian dan dokumentasi. Pendekatan ini membolehkan setiap modul diuji secara berasingan sebelum digabungkan, seterusnya meminimumkan risiko ralat dan meningkatkan kebolehgunaan sistem. Diharapkan sistem ini dapat membantu meningkatkan keupayaan pesakit untuk menjalani latihan pemulihan secara sendiri dengan lebih efektif, mudah diakses dan kos efektif.

2.0 KAJIAN LITERATUR

Pemulihan strok, terutamanya untuk anggota bawah, secara tradisinya bergantung pada peralatan besar dan lawatan hospital yang kerap, yang selalunya intensif sumber dan sukar bagi pesakit di kawasan terpencil. Teknologi baru muncul seperti exoskeleton, jurulatih gaya berjalan robotik dan peranti boleh pakai telah meningkatkan pemulihan dengan ketara dengan menawarkan penjejakan gerakan yang tepat dan latihan pemulihan yang diperibadikan. Penyepaduan IoT dalam sistem ini membolehkan pemantauan jauh dan analisis data masa nyata, yang meningkatkan keberkesanan terapi dan menyediakan pelan pemulihan yang lebih diperibadikan.

Peranti yang didayakan IoT, seperti insole pintar dan penjejak gerakan, sentiasa memantau metrik pemulihan penting seperti gaya berjalan, sudut sendi dan pengaktifan otot. Peranti ini memberikan maklum balas masa nyata kepada pesakit, memastikan senaman dilakukan dengan betul dan mengurangkan risiko kecederaan. Platform awan membolehkan penyedia penjagaan kesihatan memantau pesakit dari jauh, membuat pelarasan pada pelan terapi dan mengurangkan keperluan untuk lawatan bersemuka, meningkatkan kebolehcapaian untuk pesakit di kawasan luar bandar atau kurang mendapat perkhidmatan. Beberapa sistem pemulihan berasaskan IoT wujud, masing-masing mempunyai kekuatan dan hadnya. Di bawah ialah

perbandingan tiga sistem:

Sistem	Kelebihan	Kekurangan	Kes Penggunaan Ideal
EksoGT (Exoskeleton)	Ketepatan tinggi, berkesan untuk kes-kes yang teruk	Mahal, besar, memerlukan pengawasan klinikal	Kes teruk dalam persekitaran klinikal
BioStamp nPoint (Boleh Pakai)	Pemantauan ringan, mudah alih, masa nyata	Kurang berkesan untuk kecacatan yang teruk, bergantung kepada bateri	Pemulihan di rumah
Lokomat (Jurulatih Robotik)	Data biomekanikal ketepatan tinggi, boleh disesuaikan, terperinci	Mahal, tidak bergerak, memerlukan pengendali khusus	Latihan gaya berjalan dalam klinik lanjutan

Jadual 1: Sistem pemulihan di pasaran.

Daripada Jadual 1. Exoskeleton EksoGT menawarkan ketepatan tinggi dalam membantu berjalan tetapi mahal dan memerlukan pengawasan klinikal, menjadikannya sesuai terutamanya untuk pemulihan dalam klinik bagi kes yang teruk. BioStamp nPoint, peranti boleh pakai mudah alih, menyediakan pemantauan masa nyata dan sesuai untuk pemulihan berasaskan rumah. Walau bagaimanapun, kebergantungan bateri dan keberkesannya yang terhad untuk kecacatan yang teruk boleh mengurangkan kegunaan keseluruhannya. Jurulatih robotik Lokomat cemerlang dalam latihan gaya berjalan dengan ketepatan tinggi dan data yang komprehensif tetapi besar dan mahal, menghadkan penggunaannya kepada persekitaran klinikal.

Sistem sedia ada ini telah membuat kemajuan yang ketara dalam pemulihan strok, tetapi masing-masing mempunyai hadnya, terutamanya mengenai kebolehcapaian, kos dan kebolehgunaan di luar tetapan klinikal. Memandangkan teknologi IoT terus berkembang, terdapat peluang yang jelas untuk meningkatkan mudah alih, kemampuan dan keberkesanan penyelesaian pemulihan anggota bawah.

3.0 METODOLOGI

Projek ini menggunakan pendekatan pembangunan secara berperingkat (“Incremental Development”) yang membolehkan setiap modul dibangunkan, diuji dan disepadukan secara berfasa. Fasa metodologi utama termasuk analisis keperluan, reka bentuk

sistem, pembangunan, integrasi, pengujian dan dokumentasi. Berikut adalah pecahan metodologi yang digunakan:

3.1 Analisis Keperluan

Analisis keperluan dijalankan untuk mengenal pasti fungsi utama sistem pemulihan anggota bawah pesakit strok. Keperluan ini diperoleh melalui:

- Kajian terhadap teknologi sedia ada seperti EksoGT, BioStamp nPoint dan Lokomat.
- Perbincangan bersama bakal pengguna sistem (pesakit strok dan ahli keluarga).
- Pemerhatian terhadap cabaran utama pesakit dalam latihan pemulihan sendiri.

Keperluan Fungsian Sistem	Objektif	Hasil Dijangka
Mengumpul data pemulihan masa nyata dari peranti sensor (HX711, MPU6050, sensor magnet)	Mengesan berat bebanan, sudut pergerakan dan langkah semasa sesi latihan	Data mentah diperoleh dari sensor dan dihantar ke Firebase secara langsung
Memaparkan data secara visual dalam aplikasi mudah alih	Membolehkan pengguna melihat carta pemulihan dan statistik dengan jelas	Carta berat, sudut pitch/roll, dan pecutan X/Y/Z dipaparkan dalam bentuk graf interaktif
Memberi maklum balas serta-merta jika pergerakan tidak normal	Membantu pesakit membetulkan postur/pergerakan dengan segera	Notifikasi atau paparan status “tidak seimbang” ditunjukkan dalam aplikasi
Menyokong pemantauan jarak jauh oleh fisioterapis	Membolehkan fisioterapis melihat perkembangan pesakit secara dalam talian	Fisioterapis boleh mengakses dan membaca data pengguna serta mengeluarkan laporan pemulihan.
Menyesuaikan latihan berdasarkan keperluan pesakit	Memberi fleksibiliti kepada fisioterapis untuk menukar rejimen latihan mengikut	Pelan latihan boleh dikemas kini secara dinamik berdasarkan bacaan sensor dan kadar kemajuan

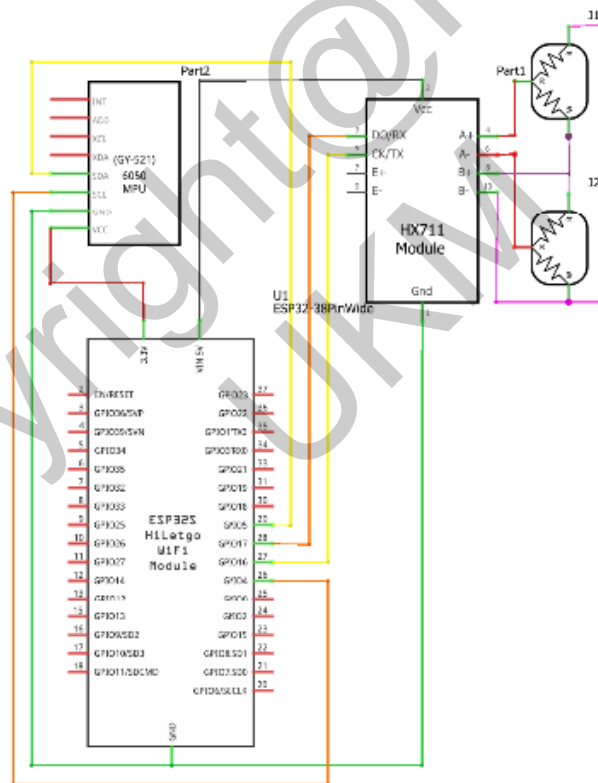
	prestasi	
Menyimpan data dengan selamat dalam platform Firebase	Memastikan data pesakit tidak hilang dan boleh diakses hanya oleh pihak yang dibenarkan	Data disimpan di Firebase dengan struktur "users / sensor_data / history"
Menjana laporan kemajuan secara automatik dalam bentuk PDF	Memudahkan perkongsian hasil pemulihan kepada fisioterapis secara profesional dan berformat	Sistem menghasilkan laporan PDF dengan carta, statistik dan info peribadi pesakit setiap sesi

Jadual 2: Keperluan Fungsian Sistem

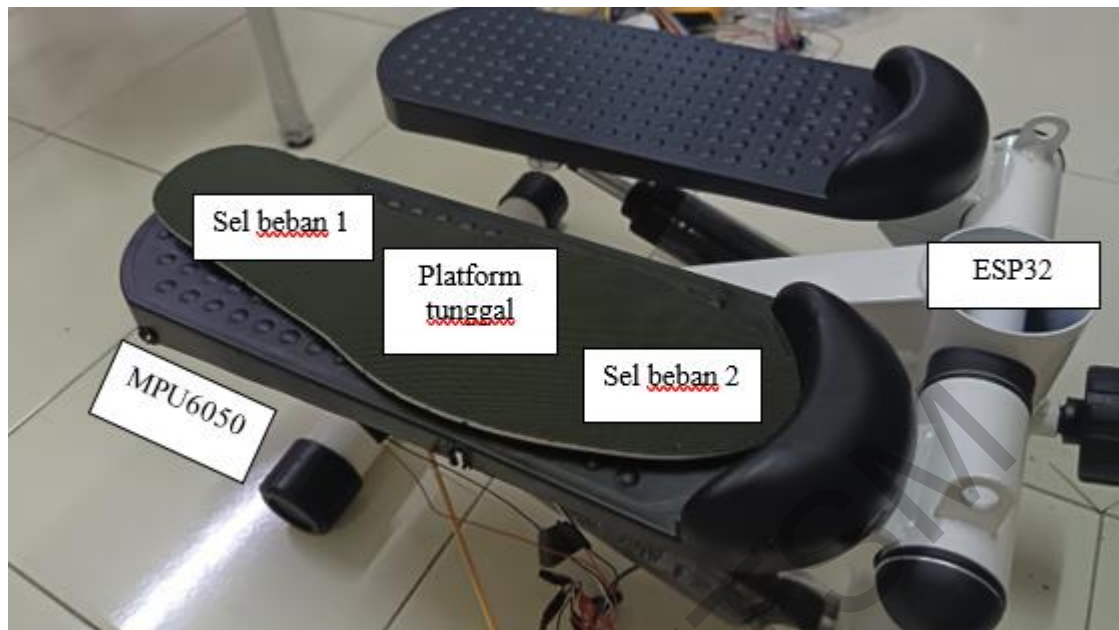
Keperluan Kualiti	Keperluan Bukan Fungsian
Kebolehskalaan – Sistem perlu menyokong pertambahan bilangan pengguna dan data tanpa gangguan	Sistem direka dengan struktur modular agar mudah ditingkatkan kapasiti apabila diperlukan
Ketersediaan – Sistem boleh dicapai dan digunakan 24/7 tanpa gangguan besar	Aplikasi mudah alih dan pangkalan data Firebase sentiasa aktif tanpa perlu diselenggara kerap
Keselamatan – Maklumat pesakit perlu dilindungi dari capaian tanpa kebenaran	Penggunaan Firebase Authentication, enkripsi data dan kawalan akses berasaskan akaun
Kebolehgunaan – Antaramuka sistem mesra pengguna dan mudah difahami	Reka bentuk aplikasi menggunakan prinsip UI/UX untuk semua golongan pengguna termasuk warga emas
Prestasi – Maklum balas perlu dipaparkan dalam masa nyata tanpa lengah	Pemprosesan data sensor dan paparan carta berlaku kurang daripada 1 saat setiap sesi
Kebolehpeliharaan – Sistem	Kod ditulis secara modular dan

3.2 Reka Bentuk Sistem dan Perkakasan

HX711 disambungkan kepada penderia sel beban digunakan untuk mengukur senaman berat, dengan pin datanya disambungkan ke GPIO ESP32 untuk komunikasi. MPU6050 menjejaki sudut sendi (gulungan dan padang) dan menyambung ke ESP32 melalui I2C (pin SDA dan SCL).



Rajah 1. menunjukkan gambar rajah litar yang menyambungkan mikropengawal ESP32, penguat HX711, penderia sel beban dan MPU6050 untuk pemantauan pemulihan strok. Elektronik daripada dilampirkan pada mesin senaman.



Rajah 2: Susunan perkakasan peranti.

Rajah.2 menunjukkan susun atur susunan pada mesin. Elektronik terletak secara strategik untuk mengukur data yang diperlukan dengan tepat.

3.3 Reka Bentuk Perisian dan Aplikasi

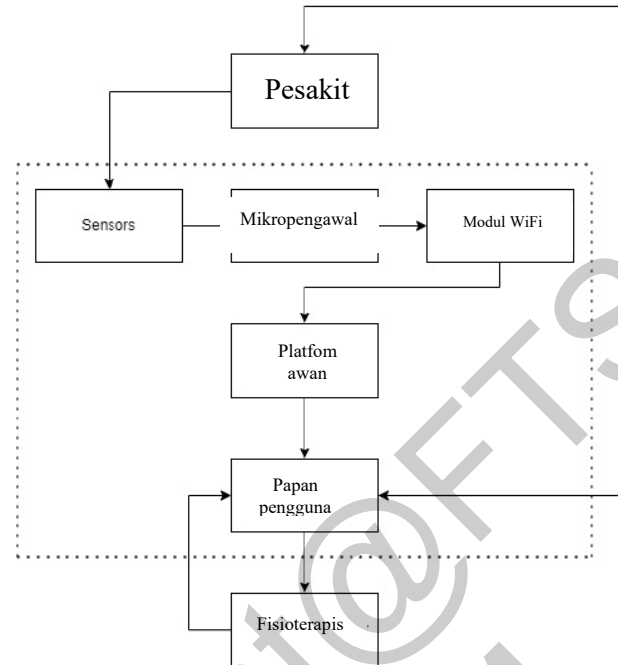
3.3.1 Perisian Digunakan

- 1) Thonny IDE. Ia digunakan untuk memprogramkan ESP32 kepada penderia untuk mengekstrak, mengira dan menghantar nilai penderia ke lapisan Awan untuk dipaparkan.
- 2) Platform awan Firebase. Ia digunakan untuk menyusun data dan dihantar ke aplikasi android.
- 3) Perisian Android Studio. Ia digunakan untuk membaca data yang dihantar daripada platform awan, mengira dan memaparkan maklumat kepada pengguna.

3.4 Reka Bentuk Pangkalan Data dan Integrasi Awan

Sistem ini menggunakan dua jenis pangkalan data Firebase iaitu Firebase Realtime Database untuk menyimpan data penderia dan Firebase Firestore untuk menyimpan data pengguna dan metadata laporan. Struktur pangkalan data direka dengan mengambil kira keperluan untuk capaian masa nyata dan kecekapan storan. Data mentah daripada penderia dihantar ke mikropengawal, yang memproses dan memformat isyarat input. Mikropengawal menggunakan penentuan, penapisan dan

algoritma pengiraan untuk menukar data mentah kepada metrik yang bermakna. Data yang diproses ini kemudiannya dihantar secara wayarles ke platform awan menggunakan modul Wi-Fi, memastikan pemindahan data masa nyata dan selamat.



Rajah 3: Carta alir penyepaduan awan kepada pengguna.

Rajah 3 menunjukkan proses penyepaduan awan kepada pengguna dalam sistem berasaskan IoT, memfokuskan pada aliran data daripada penderia pada pesakit kepada pembekal penjagaan kesihatan dan kembali melalui platform awan. Proses ini bermula dengan pesakit, yang berinteraksi dengan sistem dengan melakukan aktiviti fizikal atau latihan pemulihan. Aktiviti ini menjana data yang boleh diukur, yang dikumpul oleh penderia sistem, seperti perintang pengesan daya (FSR), giroskop atau pecutan. Penderia ini menangkap parameter kritikal seperti pengagihan tekanan, gerakan sudut dan pecutan, mewakili metrik pemulihan pesakit. Data mentah daripada penderia dihantar ke mikropengawal, yang memproses dan memformat isyarat input. Mikropengawal menggunakan algoritma penentuan, penapisan dan pengiraan untuk menukar data mentah kepada metrik yang bermakna. Data yang diproses ini kemudiannya dihantar secara wayarles ke platform awan menggunakan modul Wi-Fi, memastikan pemindahan data masa nyata dan selamat. Sebaik sahaja data sampai ke platform awan, ia disimpan, disusun dan dianalisis. Platform awan membolehkan pemprosesan lanjutan untuk menjana arah aliran, cerapan dan visualisasi yang kemudiannya disediakan pada papan muka pengguna. Papan muka pengguna ialah antara muka utama yang membentangkan data yang diproses dalam format yang

boleh diakses, termasuk visualisasi seperti graf, peta haba dan penunjuk kemajuan. Kedua-dua pesakit dan penyedia penjagaan kesihatan boleh mengakses papan pemuka ini untuk memantau kemajuan pemulihan.

Pembekal penjagaan kesihatan menggunakan papan pemuka untuk menyemak prestasi pesakit dari jauh dan memberikan maklum balas atau cadangan. Sistem ini mewujudkan gelung maklum balas, di mana cerapan penyedia penjagaan kesihatan disampaikan kembali kepada pesakit melalui papan pemuka atau antara muka lain. Pesakit kemudiannya boleh menggunakan maklum balas ini untuk membuat pelarasan pada latihan pemulihan mereka, memulakan semula proses pengumpulan dan analisis data. Sistem bersepadu ini memastikan pemantauan berterusan, maklum balas yang diperibadikan dan komunikasi yang lancar antara pesakit, awan dan penyedia penjagaan kesihatan.

3.5 Penentukuran Sensor

3.5.1 Penentukuran Sel Beban

Ketepatan penderia adalah penting untuk pengumpulan data yang boleh dipercayai dalam sistem pemulihan berasaskan IoT. Untuk penderia sel beban, ketepatan diuji dengan menggunakan pemberat yang diketahui dan membandingkan daya yang diukur dengan nilai jangkaan yang dikira menggunakan persamaan $F=mg$ di mana m ialah jisim dalam kilogram dan g ialah pecutan akibat graviti (9.8 m/s^2). Ralat dikira sebagai $\text{Ralat}(\%) = \frac{|\text{Nilai Diukur} - \text{Nilai Benar}|}{\text{Nilai Benar}} \times 100$. Sebagai contoh, jika berat 1 kg menghasilkan daya jangkaan 9.8 N, dan sel beban mengeluarkan 10 N, ralat akan menjadi kira-kira 2%. Penentukuran biasa memastikan penderia kekal tepat, terutamanya dalam keadaan persekitaran yang berbeza-beza.

3.5.2 Penentukuran Penderia MEMS

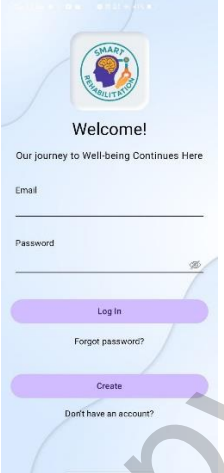
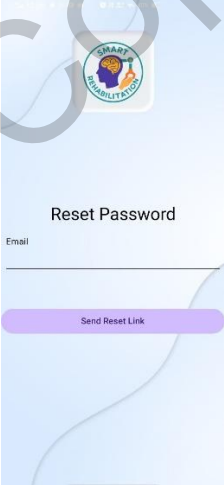
Pecutan dan giroskop MEMS diuji dalam keadaan statik dan dinamik untuk menilai ketepatannya. Pecutan diletakkan pada permukaan rata, dengan jangkaan output 0g pada paksi X dan Y dan 1g pada paksi-Z disebabkan oleh graviti. Apabila condong kepada 45° atau 90° , nilai jangkaan ialah $0.707g$, $0.707g$ dan $1g$ pada paksi X, Y dan Z masing-masing. Peratusan ralat dikira dengan membandingkan nilai yang diukur dengan nilai teori ini. Giroskop diuji dengan memutarnya pada meja putar pada halaju sudut yang diketahui, seperti $30^\circ/\text{s}$ atau $60^\circ/\text{s}$. Output penderia dibandingkan dengan kelajuan

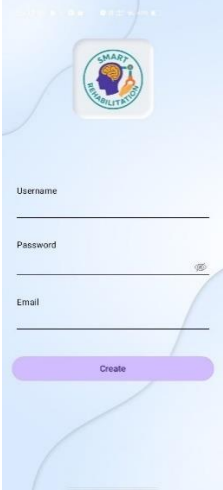
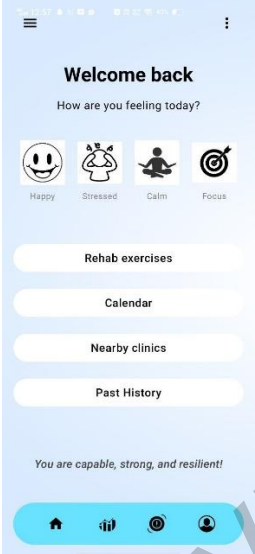
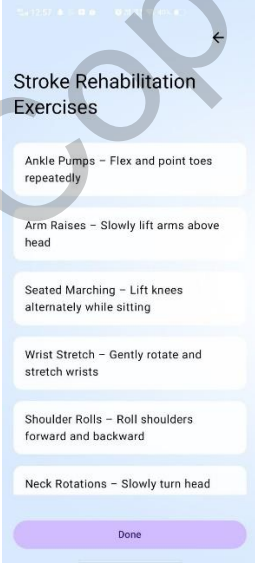
meja putar untuk mengesahkan ketepatan. Ralat untuk kedua-dua sensor dikira dengan cara yang sama, memastikan prestasi yang konsisten dan boleh dipercayai.

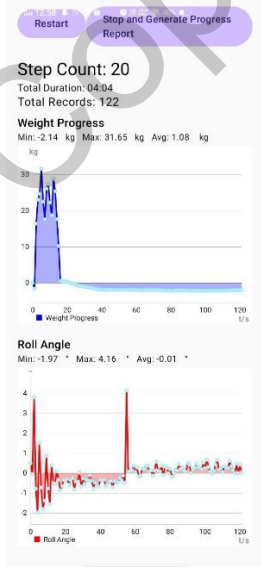
4.0 HASIL

4.1 Pembangunan Aplikasi

Aplikasi mudah alih dibina menggunakan *Android Studio* dengan sokongan *Jetpack Compose* bagi antaramuka pengguna.. Fokus utama adalah pada kesederhanaan penggunaan oleh pesakit strok dan kebolehaksesan maklumat yang cepat. Aplikasi ini mempunyai beberapa skrin utama:

Antara Muka	Penjelasan
 Rajah 4: Halaman log masuk	Rajah 4 memaparkan halaman untuk pengguna memasukkan emel dan kata laluan untuk mengakses akaun, dengan pilihan "Lupa kata laluan?" atau "Cipta Akaun" bagi pengguna baharu.
 Rajah 5: Halaman Tetapan Semula Kata Laluan	Rajah 5 menunjukkan halaman untuk pengguna memasukkan emel untuk menerima pautan reset kata laluan melalui butang "Hantar Pautan Tetapan Semula" bagi memulihkan akses akaun.

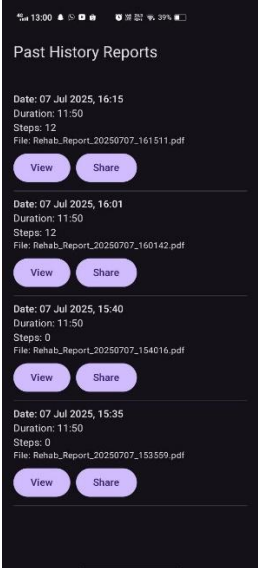
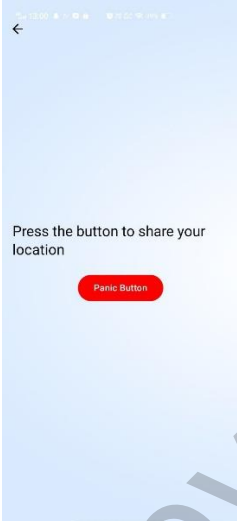
 Rajah 6: Halaman Cipta Akaun	Rajah 6 Pengguna baharu mengisi maklumat asas seperti nama pengguna, kata laluan dan emel sebelum menekan butang "Cipta" untuk mendaftar akaun baharu.
 Rajah 7: Antara muka Utama	Rajah 7 mengadungi elemen selepas log masuk, pengguna memilih status emosi (Gembira/Stres/Tenang/Fokus) dan mengakses ciri utama seperti senaman pemulihan, kalendar, klinik berhampiran dan sejarah
 Rajah 8: Senarai Senaman Pemulihan	Rajah 8 menunjukkan panduan langkah demi langkah untuk latihan fizikal pasca-strok seperti "Pam Buku Lali" dan "Angkat Lengan" dengan butang "Selesai" sebagai pengesahan.

	Rajah 9 menunjukkan paparan kalendar dengan kebolehan menambah acara atau event penting pada sesuatu tarikh.
	Rajah 10 menunjukkan direktori klinik fisioterapi mengikut negeri (contoh: Selangor) yang menyenaraikan alamat, nombor telefon dan pautan "Buka dalam Google Maps".
	Rajah 11 mempunyai paparan data prestasi pemulihan termasuk jumlah langkah, perkembangan berat badan dan sudut putaran badan dalam bentuk carta dan metrik numerik

Rajah 9: Kalendar / Nota

Rajah 10: Pencarian klinik

Rajah 11: Statistik laporan dalam masa nyata

 Rajah 12: Laporan sejarah pesakit	Rajah 12 mengadungi rekod aktiviti pemulihan lepas yang menunjukkan tarikh, tempoh sesi, jumlah langkah dan fail PDF laporan dengan pilihan "Lihat/Kongsi".
 Rajah 13: Papan Butang Kecemasan	Rajah 13: Ciri keselamatan untuk menghantar lokasi segera apabila pengguna menekan "Butang Panik" dalam situasi kecemasan perubatan.
 Rajah 14: Profil	Rajah 14: Halaman kemas kini maklumat peribadi termasuk nama, emel, umur, jantina, berat/tinggi badan dan negeri kediaman dengan butang "Kemas Kini Profil".

Jadual 4: Antara muka utama aplikasi dan penjelasan

4.2 Penilaian Aplikasi

Penilaian terhadap aplikasi ini dilaksanakan melalui dua pendekatan utama, iaitu Ujian Fungsian dan Pengujian Kebolehgunaan. Tujuan penilaian ini adalah untuk memastikan setiap fungsi utama aplikasi berjalan lancar dan reka bentuk antara muka memenuhi keperluan pengguna. Penilaian ini melibatkan pelbagai kategori pengguna termasuk pesakit strok, fisioterapis, dan ahli keluarga penjaga yang memberikan maklum balas berdasarkan pengalaman penggunaan aplikasi.

i. Pengujian Fungsian

Ujian fungsian bertujuan untuk memastikan fungsi utama aplikasi beroperasi dengan baik dan memenuhi keperluan pengguna dari segi kemasukan data, pemantauan, dan tindak balas sistem. Setiap fungsi diuji secara langsung oleh pengguna melalui versi sebenar aplikasi.

Fasa	Fungsi yang Diuji	Keputusan
1	Log masuk ke aplikasi	Lulus
2	Paparan carta pemulihan (graf berat, sudut, pecutan)	Lulus
3	Penjanaan laporan PDF	Lulus
4	Kemaskini maklumat profil	Lulus
5	Rekod data senaman setiap sesi	Lulus
6	Fungsi butang kecemasan (Panic Button)	Lulus

Jadual 5: Ujian Fungsian Aplikasi

Jadual ini menunjukkan keputusan ujian ke atas fungsi utama aplikasi. Setiap fungsi yang disenaraikan diuji oleh pengguna untuk memastikan ia berfungsi seperti yang dirancang. Semua fungsi dilaporkan berfungsi dengan baik, termasuk fungsi kritikal seperti rekod data masa nyata dan penjanaan laporan. Tiada masalah teknikal dilaporkan, menandakan bahawa aplikasi telah mencapai kestabilan dari segi fungsian.

ii. Pengujian Kebolehgunaan

Pengujian kebolehgunaan dijalankan untuk menilai tahap kefahaman, kemudahan penggunaan, serta kejelasan paparan maklumat dalam aplikasi. Penilaian ini dilaksanakan melalui borang soal selidik dalam talian menggunakan skala jawapan “Sangat Sukar” hingga “Sangat Mudah”, di mana pengguna menyatakan persepsi mereka terhadap antara muka dan fungsi aplikasi.

Skor Min	Interpretasi
1.00–2.32	Rendah
2.33–3.65	Sederhana
3.66–5.00	Tinggi

Jadual 6: Skala Interpretasi Min (Jamil, 2002)

Skala ini digunakan untuk mentafsir tahap kemudahan berdasarkan skor purata daripada jawapan responden. Skor 1 merujuk kepada “Sangat Sukar” manakala skor 5 merujuk kepada “Sangat Mudah”. Ini memberi gambaran kuantitatif tentang tahap kebolehgunaan sistem dari perspektif pengguna sebenar.

Item Penilaian	Skor Min
Antara muka aplikasi mudah difahami	4.78
Maklumat dan carta mudah dibaca	5.00
Aplikasi boleh digunakan tanpa bantuan orang lain	5.00
Aplikasi membantu memantau kemajuan pemulihan dengan lebih baik	4.95

Jadual 7: Skor Min Pengujian Kebolehgunaan Aplikasi

Keputusan menunjukkan bahawa kesemua item penilaian memperoleh skor purata yang tinggi, iaitu antara 4.78 hingga 5.00. Ini membuktikan bahawa pengguna berasa aplikasi sangat mudah digunakan, carta dapat dibaca dengan jelas, dan keseluruhan fungsi boleh digunakan secara sendiri. Penggunaan istilah seperti “Sangat Mudah” dan “Mudah” oleh majoriti responden menunjukkan tahap kepuasan yang tinggi terhadap reka bentuk antara muka dan pengalaman pengguna secara keseluruhan. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa cadangan penambahbaikan yang diberikan oleh pengguna bagi mempertingkatkan pengalaman penggunaan. Antaranya termasuk:

Sila nyatakan cadangan penambahbaikan untuk aplikasi ini:

9 responses

Tiada

Sediakan pilihan untuk tukar bahasa dalam aplikasi.

Tambah fungsi 'Dark Mode' supaya lebih selesa digunakan waktu malam.

Ada label di bahagian bawah

Perlu ada tutorial video ringkas cara guna alat dan aplikasi.

Boleh tambah bahagian untuk rekod bacaan tekanan darah atau denyut nadi

Perlu ada penjelasan cara penggunaan

Tambahkan fungsi pemberitahuan (notification) untuk mengingatkan waktu senaman.

Rajah 15: Cadangan penambahbaikan

5.0 KESIMPULAN

Projek ini telah berjaya membangunkan satu sistem pemulihan anggota bawah berasaskan IoT yang memberi tumpuan kepada pesakit strok yang mempunyai mobiliti separa. Sistem ini direka bentuk untuk menyediakan satu alternatif rawatan pemulihan yang mudah diakses, kos efektif dan boleh digunakan di rumah tanpa keperluan pengawasan klinikal secara berterusan. Melalui integrasi pelbagai sensor seperti HX711 untuk mengukur beban, MPU6050 untuk sudut pergerakan dan

pecutan, serta penerima langkah magnetik, sistem ini membolehkan pemantauan menyeluruh ke atas aktiviti pemulihan pesakit secara masa nyata. Semua data dihantar ke platform Firebase dan dipaparkan dalam aplikasi Android khas yang dibina dengan antara muka mesra pengguna. Aplikasi ini juga mampu menjana laporan kemajuan dalam format PDF, yang boleh dikongsi kepada pakar fisioterapi bagi tujuan pemantauan dan penyesuaian pelan rawatan.

Dalam mencapai objektif pertama, iaitu penyepaduan data penerima ke dalam platform awan Firebase secara masa nyata, pembangunan berjaya dilaksanakan dengan menggunakan mikropengawal ESP32 yang menghantar data secara wayarles melalui sambungan Wi-Fi. Aplikasi Android yang dibangunkan mampu menerima data ini dan memaparkannya dalam bentuk carta interaktif dan statistik. Objektif kedua pula, yang memfokuskan kepada penilaian perubahan parameter rehabilitasi, dilaksanakan melalui ujian ke atas tiga sampel yang terdiri daripada individu sihat dan pesakit strok. Bacaan data seperti berat bebanan, sudut pergerakan dan pecutan menunjukkan perbezaan yang ketara antara pesakit dan individu sihat, membuktikan keupayaan sistem dalam membezakan tahap kekuatan dan prestasi pergerakan. Objektif ketiga berkaitan visualisasi maklumat dan pemberian maklum balas turut dicapai melalui penggunaan carta masa nyata dan laporan kemajuan, yang membantu meningkatkan kesedaran pesakit terhadap pencapaian mereka dan seterusnya memberi motivasi untuk meneruskan sesi latihan.

Penilaian sistem turut menunjukkan tahap kebolegunaan yang tinggi berdasarkan maklum balas daripada pengguna yang terdiri daripada pesakit, ahli keluarga dan fisioterapis. Berdasarkan hasil soal selidik, kesemua item seperti kemudahan penggunaan, kefahaman antara muka, kejelasan maklumat dan keberkesanan pemantauan menerima skor purata yang sangat tinggi, menunjukkan bahawa sistem ini diterima baik oleh pelbagai kategori pengguna. Ujian fungsian juga membuktikan semua fungsi yang dibangunkan berjaya beroperasi tanpa sebarang masalah teknikal. Komen responden turut menunjukkan kepuasan yang tinggi, dengan cadangan bernas diberikan untuk penambahbaikan masa hadapan.

Namun begitu, beberapa kekangan telah dikenal pasti semasa pelaksanaan sistem ini. Antara yang utama ialah kebergantungan terhadap sambungan Wi-Fi yang stabil untuk penghantaran data ke Firebase secara masa nyata. Di kawasan yang mempunyai liputan internet lemah, fungsi pemantauan mungkin terjejas. Selain itu, sistem ini hanya menyokong beban sehingga 100 kg, menjadikannya tidak sesuai untuk pesakit yang mempunyai berat badan yang lebih tinggi. Sistem juga masih tertumpu kepada pesakit strok dengan tahap mobiliti sederhana, manakala pesakit yang mengalami kecacatan motorik yang lebih serius masih memerlukan pendekatan yang lebih tersusun dan sokongan fizikal tambahan. Reka bentuk peranti dan antara muka aplikasi juga boleh diperbaiki lagi agar lebih inklusif dan mudah digunakan oleh warga emas yang mungkin mempunyai keterbatasan dalam menggunakan teknologi moden.

Cadangan penambahbaikan termasuk menaik taraf kapasiti sensor kepada beban yang lebih tinggi, menyepadukan fungsi storan luar talian supaya data masih boleh direkod walaupun tanpa sambungan internet, serta menambah tutorial penggunaan bagi memudahkan pengguna kali pertama. Fungsi seperti notifikasi peringatan harian juga boleh meningkatkan kadar pematuhan terhadap jadual latihan. Selain itu, menambah komponen fizikal tambahan seperti pendakap atau alat bantu sokongan juga dapat memperluas penggunaan sistem kepada pesakit strok yang lebih teruk. Dengan penambahbaikan ini, sistem ini dapat memenuhi keperluan yang lebih menyeluruh,

bukan sahaja dari sudut teknologi tetapi juga dari sudut kebolehcapaian, kebergunaan dan keberkesanan jangka panjang.

Secara keseluruhannya, projek ini membuktikan potensi penggunaan teknologi IoT dalam bidang pemulihan fizikal yang lebih pintar dan sistematik. Sistem yang dibangunkan ini mampu menjadi pelengkap kepada rawatan fisioterapi konvensional, sekaligus memberi peluang kepada pesakit untuk menjalani proses pemulihan dengan lebih fleksibel dan berasaskan data. Dengan pelaksanaan penambahbaikan yang dicadangkan, sistem ini berpotensi untuk diperluaskan penggunaannya dalam pelbagai latar klinikal dan komuniti, sekaligus menyumbang kepada kualiti hidup pesakit strok secara lebih menyeluruh.

6.0 PENGHARGAAN

Saya ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan kepada semua pihak yang telah memberikan sokongan dan dorongan sepanjang tempoh pelaksanaan projek ini. Ucapan terima kasih yang tidak terhingga ditujukan kepada penyelia projek saya, Prof. Dr. Siti Norul Huda Sheikh Abdullah, atas tunjuk ajar, nasihat, dan bimbingan yang telah diberikan. Panduan dan maklum balas beliau amat berharga dalam memastikan kelancaran dan kejayaan kajian ini. Saya juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pensyarah di Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat (FTSM) atas ilmu dan panduan yang telah diberikan sepanjang pengajian saya. Tidak dilupakan juga kepada rakan-rakan seperjuangan yang sentiasa memberikan kerjasama, galakan dan pertukaran idea sepanjang proses penyediaan projek ini. Akhir sekali, ucapan terima kasih yang tak terhingga juga kepada keluarga dan saudara seperjuangan yang tidak putus memberikan bantuan dan semangat di sepanjang proses penghasilan bagi tesis kajian projek akhir ini.

7.0 RUJUKAN

World Stroke Organization. (2025). *Impact of stroke*. [Dalam talian]. Dicapai pada 19 Januari 2025 daripada <https://www.worldstroke.org/world-stroke-day-campaign/about-stroke/impact-of-stroke#menu>

Wang, L. T., et al. (2021). *A rapid and highly predictive in vitro screening platform for osteogenic natural compounds using human Runx2 transcriptional activity in mesenchymal stem cells*. *Frontiers in Cell and Developmental Biology*, 8. <https://doi.org/10.3389/fcell.2020.607383>

Parihar, J., Prajapati, B. G., Trambadiya, B., Thakkar, A. & Engineer, P. (2024). *Role of IoT in healthcare: Applications, security & privacy concerns*. KeAi Publishing Communications Ltd. <https://doi.org/10.1016/j.ipha.2024.01.003>

National Institute for Health and Care Excellence. (2017). *Ekso exoskeleton for rehabilitation in people with neurological weakness or paralysis: Medtech innovation briefing*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.nice.org.uk/guidance/mib93>

Sen-Gupta, E., et al. (2019). *A pivotal study to validate the performance of a novel wearable sensor and system for biometric monitoring in clinical and remote environments*. *Digital*

Biomarkers, 3(1), 1–13. <https://doi.org/10.1159/000493642>

Patel, S., Park, H., Bonato, P., Chan, L. & Rodgers, M. (2021). *A review of wearable sensors and systems with application in rehabilitation*. <https://doi.org/10.1186/1743-0003-9-21>

Interlink Electronics. (2021). *FSR 402 Data Sheet: Force Curve – FSR 400 Series Round Force Sensing Resistor*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.interlinkelectronics.com>

Espressif Systems. (2023). *ESP32 Series Datasheet Version 4.8: Wi-Fi + Bluetooth LE SoC*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.espressif.com>

Analog Devices. (2022). *Low Noise, Wide Bandwidth, MEMS Accelerometer*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.analog.com>

Endevco. (2020). *Piezoelectric accelerometer Model 2225*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.endevco.com>

Baysensortec. (2023). *Capacitive Accelerometer BST 58K1 Uniaxial*. [Dalam talian]. Dicapai daripada <https://www.baysensortec.com>

Dellea, S., Giacci, F., Longoni, A. F. & Langfelder, G. (2015). *In-Plane and Out-of-Plane MEMS Gyroscopes Based on Piezoresistive NEMS Detection*. *Journal of Microelectromechanical Systems*, 24(6), 1817–1826. <https://doi.org/10.1109/JMEMS.2015.2441142>

Kersey, D., Dandridge, A. & Burns, W. K. (2020). *Fiber optic gyroscope technology*. *Optics News*, 15(11), 12. <https://doi.org/10.1364/on.15.11.000012>

Shrestha, S. & Shakya, S. (2021). *Technical Analysis of ZigBee Wireless Communication*. *Journal of Trends in Computer Science and Smart Technology*, 2(4), 197–203. <https://doi.org/10.36548/jtcsst.2020.4.004>

GONISSHA A/P RAJENDRAN (A200091)

PROF. DR. SITI NORUL HUDA BT. SHEIKH ABDULLAH

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat

Universiti Kebangsaan Malaysia.