

PEMBANGUNAN SISTEM ANALISIS KESEIMBANGAN GAIT DALAM PERGERAKAN FISIOTERAPI

INTAN NURLIYANA BINTI MOHD ARIFF

TS. DR. FADILLA 'ATYKA BINTI NOR RASHID

*Fakulti Teknologi & Sains Maklumat, Universiti Kebangsaan Malaysia, 43600 UKM Bangi,
Selangor Darul Ehsan, Malaysia*

ABSTRAK

Fisioterapi adalah satu bidang dalam ilmu kesihatan yang bertujuan untuk memulihkan fungsi fizikal tubuh melalui beberapa terapi dan teknik untuk membantu pesakit mengatasi kecederaan yang menyebabkan gangguan pergerakan. Fisioterapi seringkali digunakan untuk membantu pemulihan keseimbangan tubuh atau gerakan, terutamanya pada pesakit yang mengalami kecederaan, gangguan neurologi dan warga emas yang memerlukan rawatan seiring dengan usia mereka. Secara asasnya, keseimbangan ini merangkumi latihan postur dan penguatan otot serta sendi yang memberi sokongan pada tulang supaya pesakit boleh berdiri, berjalan, dan bergerak dengan lebih stabil. Kepesatan teknologi kecerdasan buatan (AI) melalui pembelajaran mesin didapati berupaya untuk meningkatkan keberkesanan analisis fisioterapi sebagai satu alat yang dapat membantu kemajuan pesakit semasa rawatan. Walau bagaimanapun, kebanyakan model analisis masih terdapat kekurangan dari sesetengah aspek yang memerlukan pengemaskinian, khususnya analisis pada pergerakan yang tidak konsisten. Model analisis pergerakan semasa sering kali kurang fleksibel untuk mengadaptasi perubahan dalam corak atau jenis pergerakan yang ditunjukkan oleh pesakit, khususnya pesakit yang lebih berusia kerana pergerakan mereka mungkin memerlukan tahap penilaian yang lebih terperinci dan sensitif. Kajian ini akan dibangunkan melalui fasa-fasa yang tersusun dalam CRISP-DM sebagai panduan dalam pembangunan sistem. Secara asasnya, objektif kajian ini adalah untuk membangunkan model pembelajaran mesin dalam menganalisis pergerakan fisioterapi pesakit melalui tangkapan gait dari peranti mudah alih supaya ciri keseimbangan pesakit dapat dikesan dan dinilai dengan tepat. Bagi memenuhi kehendak model analisis, sumber set data khusus gait daripada penyelidik, Fakulti Sains Sosial Kesihatan, UKM dikumpul dan seterusnya divalidasi. Kajian ini memberi pendekatan kepada Random Forest sebagai model utama untuk pengesanan pose dan klasifikasi model. Keberkesanan model analisis keseimbangan ini kemudiannya akan dinilai menggunakan metrik prestasi dan diukur menggunakan nilai ambang. Analisis dari pengesanan pose ini dikira dengan sejauh mana purata antara sudut antara titik ciri (*keypoints*) yang dikesan berbanding dengan sudut ideal dalam bentuk peratusan. Kestabilan pula dikira menggunakan sisihan piawai terhadap nilai purata yang ditangkap dalam pergerakan. Hasil daripada model analisis keseimbangan ini dipaparkan dalam bentuk yang mudah bagi setiap 5 set senaman yang dilakukan untuk memudahkan pemahaman pengguna melalui integrasi web

Streamlit yang direka menggunakan antara muka yang responsif dan PostgreSQL (Supabase) bagi penyimpanan dan penarikan data oleh pengguna. Peratusan ketepatan model ini telah mencapai minimum 93.62% dan maksimum 100% bagi setiap 5 senaman fisioterapi. Dengan pembangunan sistem analisis keseimbangan gait dalam pergerakan fisioterapi yang memenuhi semua keperluan yang ada, pengguna dapat memanfaatkan model analisis ini dengan ketepatan yang tinggi, selari dengan objektif utama kajian ini.

Kata kunci: AI, *keypoints*, Random Forest

PENGENALAN

Fisioterapi merupakan salah satu cabang dalam bidang kesihatan yang berfokus pada pemulihan fungsi fizikal tubuh melalui pelbagai terapi dan teknik, bertujuan membantu pesakit mengatasi kecederaan yang mengakibatkan masalah pergerakan. Bidang ini sering digunakan untuk memulihkan keseimbangan tubuh dan pergerakan, khususnya bagi pesakit yang mengalami kecederaan, gangguan neurologi, serta warga emas yang memerlukan rawatan seiring dengan peningkatan usia. Pada dasarnya, latihan keseimbangan melibatkan latihan postur dan penguatan otot serta sendi yang menyokong tulang, sehingga pesakit dapat berdiri, berjalan, dan bergerak dengan lebih stabil. Tujuan pergerakan pemulihan ini diperkenalkan dalam fisioterapi adalah untuk memulihkan semula fungsi tulang dan keseimbangan pesakit.

Umum mengetahui bahawa penggunaan teknologi kecerdasan buatan melalui pembelajaran mesin memberi manfaat dalam bidang kesihatan. Tidak dinafikan bahawa teknologi kecerdasan buatan (AI) berpotensi merevolusikan sistem penjagaan kesihatan dengan mencari kaedah terbaik rawatan kepada pesakit. Bagaimanapun, AI juga berisiko mewujudkan impak negatif terhadap kesihatan, demikian menurut pakar-pakar kesihatan dalam laporan diterbitkan oleh jurnal MJ Global Health (2023). Risiko yang dikemukakan termasuk potensi ralat sehingga memudaratkan pesakit, isu mengenai keselamatan data dan privasi serta penggunaan AI dalam cara yang memburukkan lagi ketidaksetaraan sosial dan kesihatan. Salah satu contoh risiko adalah penggunaan 3 oksimeter dipacu AI yang tersilap menganggar tahap (Kosmo 2023). Justeru itu, ia telah menjadi kebimbangan dan gangguan kepada masyarakat untuk menggunakan teknologi kecerdasan buatan, khususnya yang disediakan dalam bidang kesihatan. Begitu juga dalam konteks rawatan fisioterapi, pergerakan fisioterapi menggunakan pembelajaran mesin masih terdapat kekurangan dalam menilai keseimbangan dengan keberkesanan pergerakan pesakit yang menjalani fisioterapi.

Kebanyakan model analisis pergerakan sedia ada juga tidak dapat menyesuaikan penilaian dengan perubahan pergerakan yang lebih kompleks, seperti dalam situasi pergerakan yang berubah-ubah dalam satu domain masa. Model analisis pergerakan semasa sering kali kurang fleksibel untuk mengadaptasi perubahan dalam corak atau jenis pergerakan yang ditunjukkan oleh pesakit. Ketidakseimbangan penilaian ini menjadi semakin ketara dalam sesi fisioterapi yang melibatkan pesakit yang lebih berusia dan mereka yang mempunyai kecederaan kompleks, kerana pergerakan mereka mungkin memerlukan tahap penilaian yang lebih terperinci dan sensitif. Keadaan ini menjadi cabaran besar lebih-lebih

lagi pesakit yang bergantung kepada bantuan alat sokongan seperti penanda, wayar, atau alat mobiliti pergerakan lain. Penggunaan alat-alat ini bukan sahaja berisiko menyekat pergerakan pesakit tetapi juga sering kali menimbulkan ketidakselesaan fizikal serta tekanan mental yang boleh menghalang proses pemulihan mereka. Masalah ini menjadi lebih serius apabila alatan-alatan ini menjadi punca jatuh atau kecederaan yang lain akibat penyekatan yang menghadkan pesakit semasa rawatan berlaku. Hal ini bukan sahaja memberi kesan negatif terhadap kualiti hidup pesakit, tetapi juga menjejaskan hasil keseluruhan rawatan fisioterapi.

Satu kajian yang tertumpu kepada pembelajaran mesin yang dibangunkan berasaskan analisis dan data, iaitu Sistem Analisis Keseimbangan Gait dalam Pergerakan Fisioterapi dilihat berupaya membantu pesakit untuk mengembalikan fungsi keseimbangan mereka melalui rawatan teknologi digital. Kajian ini dilaksanakan adalah untuk menumpukan kepada keperluan dalam membangunkan model pembelajaran mesin untuk menganalisa ketepatan dan keseimbangan dalam pergerakan fisioterapi pesakit. Kedua adalah menilai keberkesanan model pembelajaran mesin dalam menganalisa ketepatan dan keseimbangan menggunakan metrik prestasi (*performance metrics*) dan penggunaan nilai ambang (*threshold value*). Melalui rawatan berasaskan teknologi digital yang cekap, fleksibel dan berkesan, pesakit akan mampu pulih dengan baik dan optimum. Menurut Shumway-Cook dan Woollacott (2012), penggunaan teknologi dalam fisioterapi telah menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan keberkesanan rawatan, terutamanya dalam penilaian keseimbangan dan pergerakan pesakit.

Sebagai penyelesaian kepada masalah yang dikesan, sistem ini akan berfungsi dengan menyediakan papan pemuka yang interaktif mesra pengguna, serta menawarkan pengguna dalam menganalisis gerakan dalam rawatan fisioterapi melalui pendekatan pembelajaran mesin. Sistem ini berupaya mengenal pasti dan menganalisis ketepatan pergerakan pesakit dalam senaman fisioterapi yang menepati ciri keseimbangan melalui model analisis pembelajaran mesin menggunakan algoritma yang telah dioptimumkan keberkesanannya. Sistem ini juga berupaya memberikan keputusan analisis yang dikumpul dan dipapar secara masa nyata dalam bentuk yang mudah difahami setelah analisis selesai. Ia juga berupaya untuk menyimpan rekod hasil analisis lepas bagi kegunaan pesakit mahupun penjaga. Sistem ini hanya menggunakan kamera peranti mudah alih sebagai tangkapan gerakan pesakit serta paparan hasil analisis dengan antara muka yang mesra pengguna serta tidak memerlukan alatan tambahan lain. Ianya lebih fleksibel berbanding kaedah manual kerana pengguna boleh menggunakan sistem ini di pelbagai masa dan lokasi, sekaligus mempercepatkan proses pemulihan. Dengan rekaan antara muka yang mesra pengguna dan model analisis yang cekap, sistem ini mampu menjadi satu platform yang berguna bagi masyarakat, khususnya pesakit yang memerlukan rawatan fisioterapi.

Oleh itu, kajian ini dijalankan untuk mengisi jurang yang ada dengan membangunkan Sistem Analisis Keseimbangan Gait dalam Pergerakan Fisioterapi yang lebih berkesan menggunakan pendekatan pembelajaran mesin yang efektif. Menurut kajian oleh Holden et al. (2020), integrasi teknologi digital dan pembelajaran mesin dalam fisioterapi bukan sahaja meningkatkan ketepatan penilaian, tetapi juga memberikan fleksibiliti yang lebih besar

kepada pesakit dalam menjalani rawatan, seterusnya mempercepat proses pemulihan.

METODOLOGI KAJIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembangunan projek ini ialah *CRoss Industry Standard Process for Data Mining* (CRISP-DM) kerana ia adalah satu pendekatan berstruktur untuk pembangunan sistem berasaskan data. Dalam projek ini, keperluan mungkin berubah atau diperjelaskan sepanjang masa dan model CRISP-DM membenarkan adaptasi kepada perubahan ini. Ia membolehkan proses pembangunan diulang secara iteratif dan adaptif kepada perubahan keperluan atau penemuan baru semasa projek berlangsung.

Fasa Pemahaman Perniagaan

Fasa ini memberi penerangan kepada pemahaman perniagaan, objektif projek dan keperluan-keperluan asas sistem. Dalam fasa ini, keperluan fungsian dan bukan fungsian ditentukan daripada pihak berkepentingan projek ini. Segala reka bentuk yang terlibat dianalisis, dilakar dan difahami sebelum ke peringkat seterusnya. Fasa ini juga melibatkan penentuan sumber, anggaran masa, dan jadual pelaksanaan agar setiap item *backlog* dapat diselesaikan dalam satu atau lebih kitaran pembangunan. Sorotan susastera juga dijalankan kepada sistem yang sedia ada untuk meningkatkan pemahaman yang dapat membantu pembangunan sistem ini.

Fasa Pemahaman Data

Fasa Pemahaman Data memfokus kepada mengenal pasti dan memahami data yang diperlukan untuk mencapai objektif analisis sistem ini. Data yang digunakan dalam projek ini diperoleh daripada set data daripada kolaborasi bersama penyelidik dari Sains Sosial & Kesihatan, UKM. Set data ini diperoleh menggunakan tangkapan senaman dari kamera telefon pintar dengan resolusi 12 MP. Proses pengumpulan data ini dilakukan di Fakulti Sains Sosial & Kesihatan bersama 2 orang pelajar fisioterapi. Set data yang dikumpulkan adalah julat 50 hingga 150 gambar bagi setiap langkah dalam setiap jenis senaman, dalam Jadual 1.

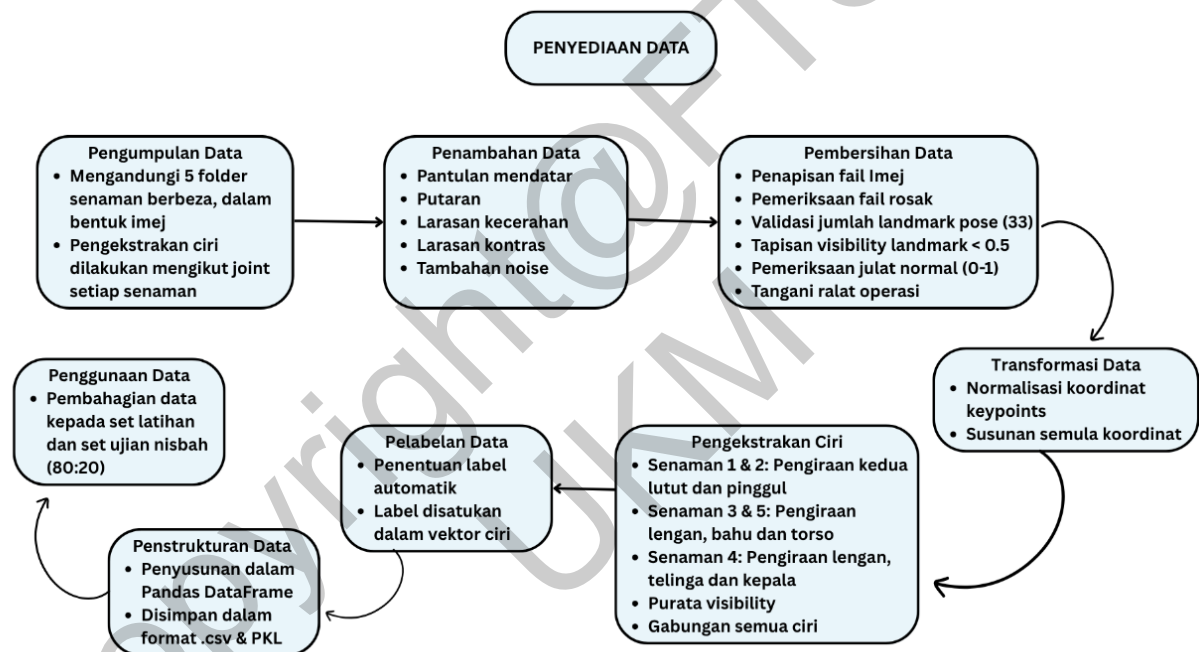
Jadual 1 Set Data

Senaman	Langkah 1 (s1)	Langkah 2 (s2)	Langkah 3 (s3)
Stand & Squat	Berdiri	Squat	-
One Leg Raise	Berdiri	Angkat satu kaki kanan atau kiri	-
Arm & Overhead Raise	Berdiri	Mendepa kedua-dua tangan	Mengangkat kedua-dua tangan ke atas
Arm Raise & Head Tilt	Berdiri dan angkat ibu jari kiri ke hadapan	Pusing kepala ke kanan	Pusing kepala ke kiri
Stretch Back & Forth	Berdiri	Regangkan badan ke belakang	Regangkan badan ke hadapan

Fasa Penyediaan Data

Fasa Penyediaan Data merupakan proses penting dalam pembangunan sistem analisis kerana ia menentukan kualiti input kepada model pembelajaran mesin. Dalam kajian ini, data

diperoleh daripada lima folder imej; senaman 1 hingga senaman 5. Dalam setiap folder imej, terdapat folder bagi setiap langkah yang terlibat. Setiap imej dianalisis menggunakan MediaPipe untuk mendapatkan 33 titik pose utama sebelum melalui proses penambahan data seperti putaran, pantulan, larasan kecerahan, kontras, dan hingar. Data seterusnya dibersihkan melalui penapisan imej tidak sah, *landmark* tidak lengkap, *visibility* rendah, dan julat koordinat tidak normal. Koordinat pose kemudian dinormalisasi dan sudut-sudut sendi yang berkaitan dikira mengikut jenis senaman. Semua ciri ini digabungkan bersama label, disusun dalam bentuk DataFrame, dan disimpan dalam format .csv dan .pkl. Akhir sekali, dataset dibahagikan kepada set latihan dan set ujian bagi tujuan pembinaan serta penilaian model. Rajah 1 menunjukkan proses penyediaan data, manakala Jadual 2 menunjukkan landmark dan geometri tambahan yang diekstrak untuk kegunaan pemodelan seterusnya.



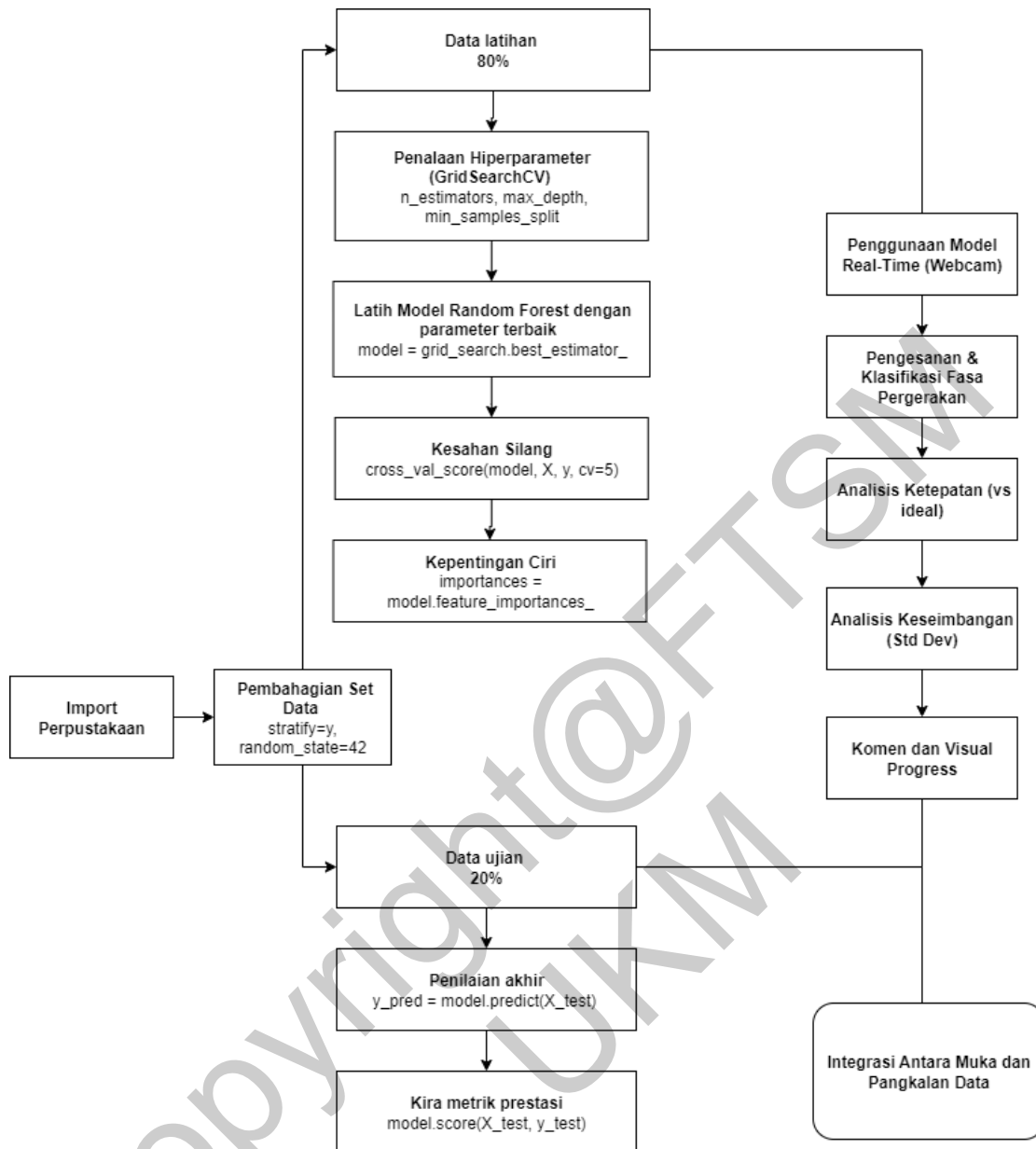
Rajah 1 Proses Penyediaan Data

Jadual 2 Landmark dan Ciri Tambahan Senaman

No Senaman (33 keypoints)	Ciri geometri tambahan	Landmark	Jumlah ciri per baris	Sampel
1	["knee_angle_left", "hip_angle_left", "knee_angle_right", "hip_angle_right", "avg_visibility", "label"]	[11, 12, 23, 24, 25, 26, 27, 28]	72	456
2	["knee_angle", "hip_angle", "knee_high_rel", "avg_visibility", "label"]	[11, 12, 23, 24, 25, 26, 27, 28]	71	598
3	["arm_angle_left", "arm_angle_right", "shoulder_flexion_left", "shoulder_flexion_right", "torso_angle", "avg_visibility", "label"]	[11,12,13,14,15,16,23,24]	73	450
4	["head_tilt", "ear_diff", "left_arm_angle", "shoulder_tilt", "shoulder_flexion", "torso_angle", "avg_visibility", "label"]	[0, 7, 8, 11, 12, 13, 15]	74	468
5	["arm_ext", "arm_flex", "torso", "avg_visibility", "label"]	[11,12,13,14,15,16,23,24]	71	358

Fasa Pemodelan

Fasa ini melibatkan proses pembinaan model klasifikasi berdasarkan algoritma Random Forest bagi mengesan dan mengesahkan fasa pergerakan fisioterapi pesakit. Model ini bertindak sebagai komponen penting sebelum analisis keseimbangan dilakukan kerana ia menentukan sama ada pergerakan tersebut dikesan dan diklasifikasikan ke dalam fasa yang betul. Proses pembangunan model ini meliputi beberapa langkah penting, termasuk penyediaan set data, pembahagian data, palarasan hiperparameter, latihan model, penilaian prestasi, serta penyimpanan model terlatih untuk digunakan dalam sistem analisis sebenar. Berikut merupakan perincian setiap langkah dalam pembangunan model dalam Rajah 2.



Rajah 2 Proses Pemodelan

Set data yang digunakan telah dipra-proses secara optimum dan dinyatakan dalam bentuk vektor ciri yang sesuai, sebelum dibahagikan secara *stratified* kepada set latihan dan set ujian dalam nisbah 80:20 untuk mengekalkan keseimbangan kelas. Proses penalaan model dilakukan secara sistematik menggunakan teknik Grid Search bagi memilih kombinasi hiperparameter terbaik seperti bilangan pokok (*n_estimators*), kedalaman maksimum pokok (*max_depth*), dan saiz minimum pecahan (*min_samples_split*). Langkah ini sangat penting kerana pemilihan nilai hiperparameter yang tidak sesuai boleh menyebabkan model menjadi terlalu kompleks (*overfitting*) atau terlalu mudah (*underfitting*), seterusnya menjejaskan keupayaan generalisasi model terhadap data baharu. Dengan menggunakan kaedah ini, setiap kombinasi parameter yang mungkin akan diuji secara menyeluruh melalui proses kesahan silang, lalu membolehkan sistem memilih konfigurasi yang menghasilkan prestasi paling optimum secara objektif.

Selain itu, pendekatan ini mengelakkan penalaan (*tuning*) secara rawak atau berdasarkan andaian semata-mata, yang mungkin menyebabkan ketidakstabilan prestasi model. Dalam konteks sistem ini, kestabilan dan ketepatan model amat penting agar analisis yang dihasilkan adalah konsisten, boleh dipercayai, dan sesuai digunakan dalam sesi fisioterapi sebenar. Maka, Grid Search membantu memastikan bahawa model Random Forest yang digunakan bukan sahaja berfungsi dengan baik terhadap data latihan, tetapi juga dapat mengekalkan prestasi yang tinggi apabila berdepan dengan input baharu.

Model yang telah dilatih kemudiannya diuji menggunakan teknik kesahan silang 5-lipatan (*5-fold cross-validation*) bagi menilai kebolehan generalisasi model ke atas data baharu. Purata ketepatan daripada proses ini digunakan sebagai metrik utama kestabilan model, dan mampu menunjukkan sama ada prestasi model kekal konsisten dalam pelbagai subset data. Kaedah ini juga membantu mengurangkan risiko bergantung kepada satu set data ujian tertentu yang mungkin berat sebelah, serta memberi gambaran lebih adil tentang keupayaan sebenar model dalam situasi dunia nyata.

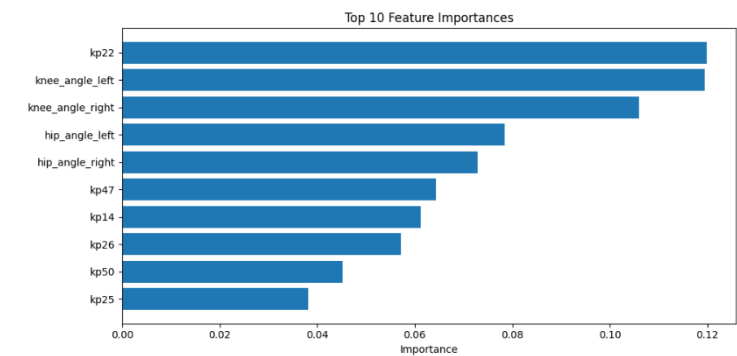
Jadual 3 menunjukkan parameter terbaik untuk setiap senaman, jadual 4 menunjukkan Keputusan Lipatan Kesahan, rajah 4 hingga 7 menunjukkan kepentingan ciri untuk senaman 1 hingga 5.

Jadual 3 Parameter Terbaik

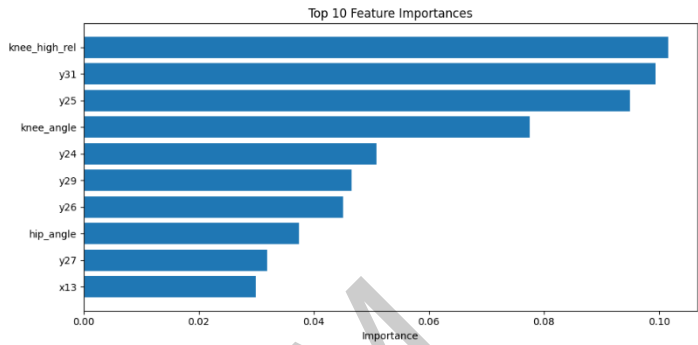
No Senaman	Parameter Terbaik
Senaman 1	{'max_depth': None, 'min_samples_split': 2, 'n_estimators': 100}
Senaman 2	{'max_depth': None, 'min_samples_split': 2, 'n_estimators': 100}
Senaman 3	{'max_depth': None, 'min_samples_split': 2, 'n_estimators': 100}
Senaman 4	{'max_depth': None, 'min_samples_split': 2, 'n_estimators': 100}
Senaman 5	{'max_depth': None, 'min_samples_split': 2, 'n_estimators': 100}

Jadual 4 Keputusan Lipatan Kesahan

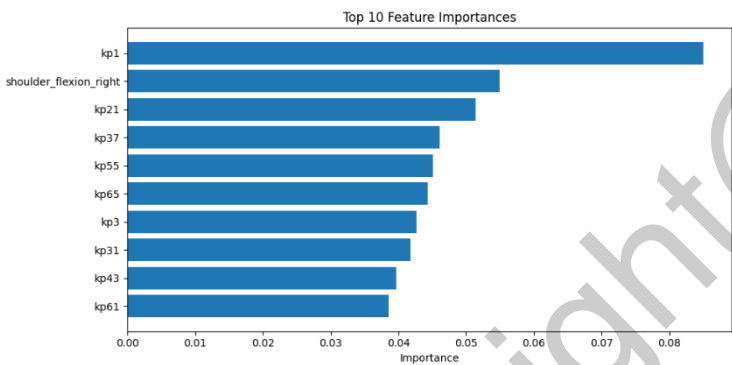
No Senaman	Lipatan 1	Lipatan 2	Lipatan 3	Lipatan 4	Lipatan 5
Senaman 1	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Senaman 2	0.9917	1.0000	0.9000	1.0000	0.8992
Senaman 3	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000	1.0000
Senaman 4	0.7766	0.9787	1.0000	0.9570	0.5591
Senaman 5	0.9722	0.9861	1.0000	1.0000	0.9014



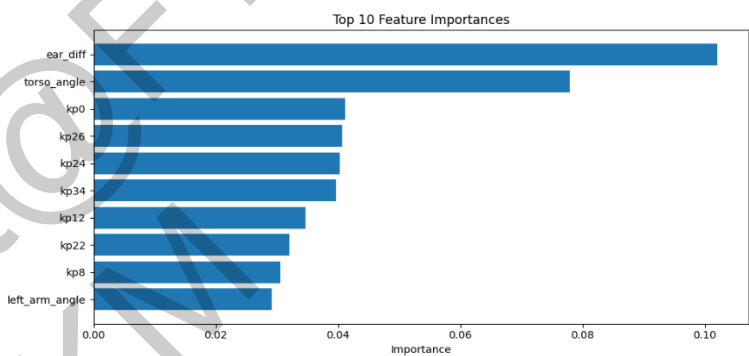
Rajah 3 Stand & Squat



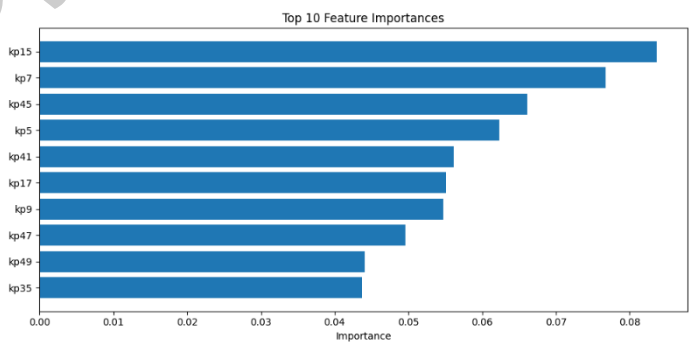
Rajah 3 One Leg Raise



Rajah 4 Arm & Overhead Raise



Rajah 6 Arm Raise & Head Tilt



Rajah 5 Stretch Back & Forth

Fasa Penilaian

Fasa ini melibatkan proses kiraan analisis keseimbangan, iaitu kiraan ketepatan dan kestabilan. Dalam fasa ini, sistem memberi tumpuan kepada pengesanan postur tubuh secara masa nyata dan menilai ketepatan pergerakan pengguna berdasarkan sudut-sudut badan yang diperoleh melalui analisis biomekanikal. Dengan menggunakan kamera peranti mudah alih, setiap bingkai video dianalisis melalui modul Mediapipe bagi mengenal pasti kedudukan 33 titik penting tubuh. Semua koordinat ini dinormalisasikan sebelum sudut utama seperti lutut dan pinggul dikira menggunakan konsep vektor geometri. Nilai sudut ini digabungkan bersama maklumat lain untuk membentuk satu set ciri, yang kemudian dihantar kepada model klasifikasi Random Forest bagi mengenal pasti fasa pergerakan yang sedang dilakukan.

Sistem akan membandingkan hasil klasifikasi ini dengan fasa sebenar yang sepatutnya berlaku. Sekiranya ramalan dan realiti sepadan, pergerakan disahkan betul. Jika tidak, sistem memaparkan fasa sebenar dan hasil klasifikasi yang salah secara visual bersama nilai sudut pada badan pengguna bagi membantu pemahaman.

1) Analisis Ketepatan

Sepanjang proses ramalan fasa, sistem turut merekod sudut setiap fasa dalam senarai penampunan (buffer), membolehkan analisis berdasarkan purata dan kestabilan pergerakan, bukan sekadar satu bacaan. Purata sudut yang direkod akan dibandingkan dengan nilai sudut ideal yang telah ditetapkan untuk setiap fasa pergerakan. Dari perbandingan ini, sistem mengira ketepatan dalam bentuk peratusan menggunakan formula:

$$\text{Ketepatan (\%)} = 100 - (\text{sudut ideal} + 1e-5 |\text{sudut sebenar} - \text{sudut ideal}| \times 100)$$

Bagi mengelakkan pembahagian dengan sifar, nilai kecil $1e-5$ ditambah dalam penyebut. Nilai ketepatan yang dikira kemudiannya ditapis menggunakan fungsi pelarasan, di mana ketepatan yang sangat rendah akan diset kepada 0% untuk memberikan maklum balas yang lebih tegas terhadap kesalahan pergerakan.

Sistem turut menetapkan nilai ambang untuk menilai tahap ketepatan seperti berikut:

- $\geq 70\%$ → *Pergerakan Sempurna*
- $40\% - 69.99\%$ → *Pergerakan Kurang Sempurna*
- $< 40\%$ → *Pergerakan Tidak Dapat Dikesan*

Maklum balas dalam bentuk komen juga diberikan kepada pengguna berdasarkan kategori ini, bagi membantu mereka mengenal pasti bahagian tubuh yang perlu diperbaiki dalam senaman seterusnya. Pendekatan ini memastikan penilaian yang menyeluruh dan bersifat mendidik. Jadual 5 hingga 9 menunjukkan sudut ideal yang telah ditetapkan.

Jadual 5 Sudut Ideal Senaman 1

Langkah	Lutut	Pinggul
Berdiri (s1)	180	180
Squat (s2)	100	100

Jadual 6 Sudut Ideal Senaman 2

Langkah	Lutut	Pinggul
Berdiri (s1)	180	180
One Leg Raise (s2)	90	90

Jadual 7 Sudut Ideal Senaman 3

Langkah	Lengan	Fleksi Bahu	Torso (s3)
Bediri (s1)	180	10	60
Depa tangan (s2)	180	90	60
Angkat kedua tangan ke atas (s3)	180	180	60

Jadual 8 Sudut Ideal Senaman 4

Langkah	Pusingan kepala	Telinga	Lengan
Angkat lengan ke hadapan (s1)	60	-0.10	160
Pusing kepala ke kanan (s2)	50	-0.05	160
Pusing kepala ke kiri (s3)	50	-0.05	160

Jadual 9 Sudut Ideal Senaman 5

Langkah	Lengan	Fleksi Bahu	Torso
Berdiri (s1)	180	5	90
Regang badan ke belakang (s2)	170	25	100
Regang badan ke hadapan (s3)	180	90	80

2) Analisis Kestabilan

Analisis keseimbangan seterusnya dilaksanakan dengan mengukur tahap kestabilan pergerakan pengguna semasa melakukan senaman, menggunakan konsep sisihan piawai (*standard deviation*). Kaedah ini bertujuan untuk menilai sejauh mana perubahan sudut sendi berlaku dari satu bingkai ke bingkai seterusnya dalam setiap fasa pergerakan. Nilai sisihan piawai yang rendah menandakan pergerakan adalah konsisten dan stabil, manakala nilai yang tinggi menunjukkan adanya ketidaktentuan atau ketidakstabilan dalam postur. Pendekatan ini membolehkan penilaian kestabilan dilakukan secara kuantitatif dan objektif.

Semasa sesi senaman berlangsung, setiap sudut utama badan yang berkaitan akan direkodkan untuk setiap bingkai. Nilai-nilai ini kemudiannya disimpan dalam senarai dan digunakan untuk mengira sisihan piawai bagi setiap fasa pergerakan. Sistem akan mengira nilai sisihan piawai untuk setiap senarai sudut, dan kemudian mengambil purata bagi memberikan gambaran keseluruhan terhadap kestabilan gerakan. Formula pengiraan yang digunakan adalah seperti berikut:

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

Di mana:

- σ adalah sisihan piawai
- x_i ialah setiap nilai sudut yang direkodkan
- μ ialah purata (mean) bagi nilai sudut
- N ialah bilangan sampel

Nilai sisihan piawai yang telah dikira akan dibandingkan dengan ambang kestabilan yang telah ditetapkan. Sistem menggunakan fungsi logik untuk mengelaskan tahap kestabilan berdasarkan ambang berikut:

- **< 25 darjah** → *Stabil*
- **≥ 25 darjah** → *Tidak stabil*

Hasil daripada analisis ini akan digunakan untuk menjana komen automatik yang memberikan maklum balas kepada pengguna. Sekiranya nilai sisihan piawai terlalu tinggi, sistem akan memberi amaran atau teguran tentang ketidakstabilan yang dikesan. Ini membantu pengguna atau pakar terapi dalam membuat penilaian terhadap keperluan penambahbaikan atau penyesuaian dalam senaman fisioterapi yang dijalankan.

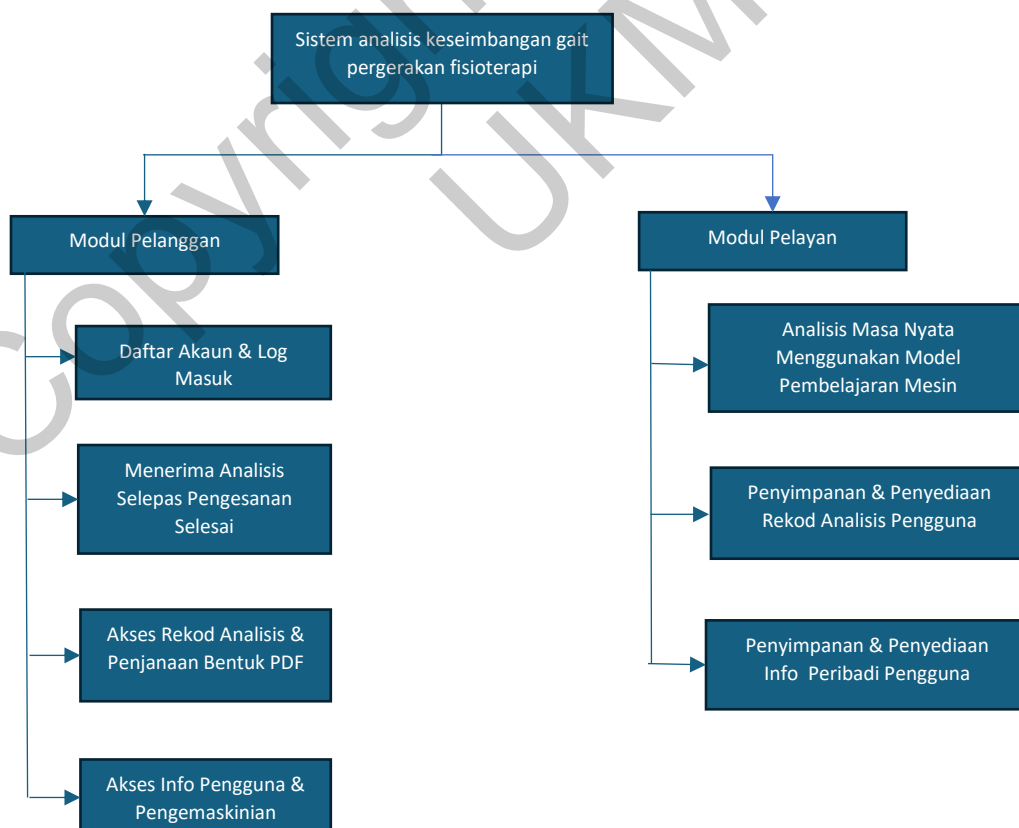
3) Visual Progres dan Rumusan Analisis

Sistem seterusnya menjana visualisasi dalam bentuk graf yang memaparkan sudut sebenar berbanding sudut ideal untuk setiap fasa pergerakan sebagai progres latihan, memberikan gambaran jelas kepada pengguna tentang ketepatan postur dan perkembangan dari semasa ke semasa.

Akhirnya, sistem merumuskan analisis keseimbangan dengan mengambil kira prestasi keseluruhan melalui ketepatan dan kestabilan purata bagi setiap langkah dalam senaman. Sekiranya mana-mana fasa gagal dikesan dengan ketepatan kurang daripada 40%, sistem akan menandakan ketepatan sebagai 0.0 dalam rumusan dan mencadangkan agar latihan diulang semula.

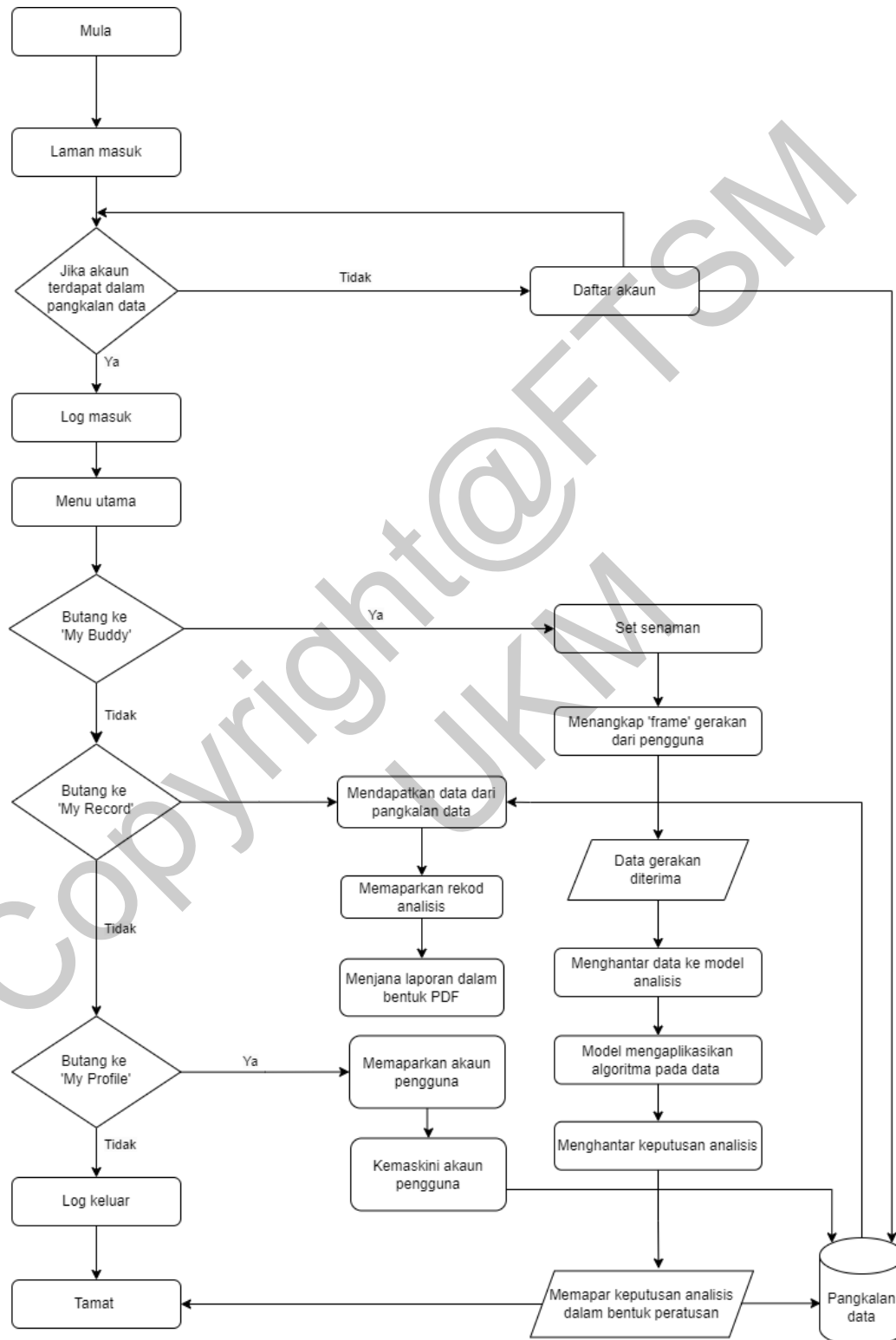
Fasa Pembangunan

Fasa ini melibatkan proses pembangunan sistem analisis ke dalam web Streamlit bersama integrasi pangkalan data. Sistem ini menggunakan seni bina pelayan-pelanggan. Rajah 8 menunjukkan modul Pelanggan, iaitu pengguna yang membolehkan akses kepada sub-modul pelanggan, dan modul pelayan yang menyediakan perkhidmatan kepada permintaan pelanggan.



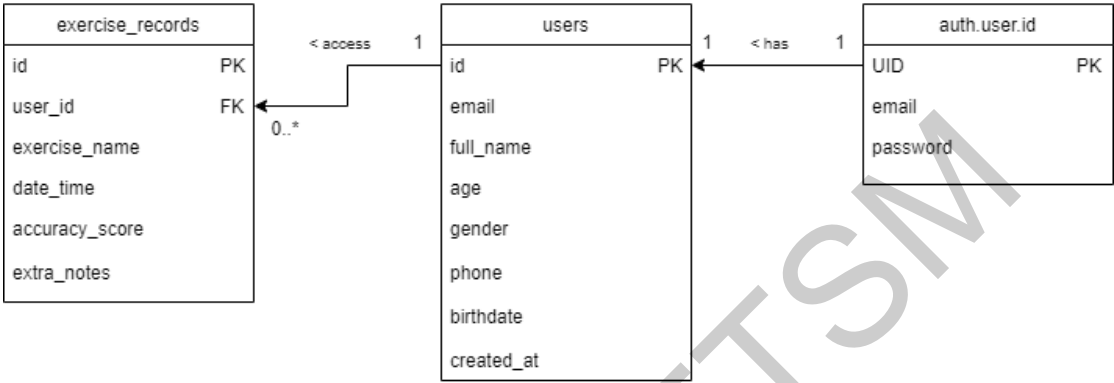
Rajah 6 Seni Bina Pelayan-Pelanggan

Rajah 9 menunjukkan Rajah Aktiviti Sistem bagi sistem ini. Ia meliputi aktiviti pelanggan yang disediakan oleh sistem, bermula dengan daftar akaun dan log masuk, diakhiri dengan log keluar.



Rajah 7 Rajah Aktiviti Sistem

Rajah 10 menunjukkan Rajah Hubungan Entiti yang terlibat dalam sistem ini, khusus untuk rekod pengguna dan rekod analisis pengguna. Terdapat tiga entiti utama dalam rajah ini, iaitu *auth.user.id*, *users*, dan *exercise_records*, yang masing-masing saling berhubung untuk penyimpanan dan penarikan rekod secara menyeluruh.



Rajah 8 Rajah Hubungan Entiti (ERD)

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

1) Pengesahan Model (*Model Validation*)

Pengesahan model adalah proses penting dalam memastikan prestasi sistem pengelasan yang dibangunkan dapat berfungsi dengan berkesan dan boleh dipercayai. Laporan klasifikasi digunakan untuk menilai keberkesanan model dalam mengklasifikasikan setiap fasa pergerakan senaman ke dalam kelas yang betul. Beberapa metrik utama digunakan iaitu Ketepatan (*Accuracy*), Kejituan (*Precision*), Ingat Semula (*Recall*), dan Skor F1 (*F1-Score*). Metrik-metrik ini memberikan gambaran menyeluruh tentang prestasi model, mengenal pasti kekuatan dan kelemahan model bagi setiap kelas, serta menilai konsistensi prestasi model terhadap pelbagai variasi data. Dalam konteks projek ini, penilaian terhadap kelima-lima model yang dibangunkan bagi lima jenis senaman membantu dalam mengesahkan keberkesanan kaedah Random Forest yang digunakan.

Ketepatan

Ketepatan merujuk kepada peratusan jumlah klasifikasi yang dilakukan dengan betul oleh model. Ia adalah ukuran asas sejauh mana sistem dapat membuat ramalan yang betul terhadap input yang diberi. Jadual 10 menunjukkan ketepatan yang dicapai setiap senaman.

Jadual 10 Ketepatan

No Senaman	Ketepatan (%)
Senaman 1	100
Senaman 2	99.17
Senaman 3	100

Senaman 4	93.62
Senaman 5	98.61

Kejituan

Kejituan menunjukkan sejauh mana ramalan positif yang dibuat oleh model adalah benar. Ia penting terutamanya apabila kesalahan klasifikasi boleh membawa kepada implikasi tertentu dalam aplikasi seperti latihan fisioterapi. Jadual 11 menunjukkan kejituan yang dicapai oleh setiap langkah dalam setiap senaman.

Jadual 11 Kejituan

No Senaman	S1	S2	S3
Senaman 1	1.00	1.00	-
Senaman 2	1.00	0.98	-
Senaman 3	1.00	1.00	1.00
Senaman 4	0.96	0.90	0.95
Senaman 5	0.96	1.00	1.00

Ingat Semula

Ingat semula (Recall) mengukur sejauh mana model berjaya mengenal pasti semua contoh sebenar bagi setiap kelas. Nilai recall yang tinggi menunjukkan model tidak terlepas banyak kes yang sepatutnya dikesan. Jadual 12 menunjukkan kejituan yang dicapai oleh setiap langkah dalam setiap senaman.

Jadual 12 Ingat Semula

No Senaman	S1	S2	S3
Senaman 1	1.00	1.00	-
Senaman 2	0.99	1.00	-
Senaman 3	1.00	1.00	1.00
Senaman 4	0.91	1.00	0.90
Senaman 5	1.00	0.96	1.00

Skor F1

Skor F1 adalah purata harmonik antara kejituan dan ingat semula, dan ia memberikan ukuran keseimbangan antara keduanya. Ia sangat berguna apabila terdapat ketidakseimbangan antara kelas dalam data. Jadual 13 menunjukkan kejituan yang dicapai oleh setiap langkah dalam setiap senaman.

Jadual 13 Skor F1

No Senaman	S1	S2	S3
Senaman 1	1.00	1.00	-

Senaman 2	0.99	0.99	-
Senaman 3	1.00	1.00	1.00
Senaman 4	0.93	0.95	0.92
Senaman 5	0.98	0.98	1.00

2) Tahap Kelancaran Sistem (*Performance Testing*)

Tahap Kelancaran Sistem diuji bagi memastikan sistem dapat berfungsi secara masa nyata tanpa gangguan atau sebarang ralat yang boleh menjejaskan ketepatan analisis pergerakan fisioterapi. Pengujian dilakukan terhadap kelancaran pengesanan pergerakan dan analisis menggunakan kamera webcam, di mana sistem berjaya mengekalkan kadar bingkai (FPS) sekitar 25 hingga 30 FPS semasa sesi analisis. Selain itu, sistem mampu memberikan maklum balas serta-merta terhadap pergerakan pesakit dengan kurang daripada 0.3 saat. Ujian turut dijalankan untuk menilai penggunaan sumber sistem seperti CPU dan memori, dan hasilnya menunjukkan sistem beroperasi secara efisien dengan penggunaan CPU purata bawah 40% dan penggunaan memori tidak melebihi 1GB.

Sistem ini turut diuji melalui pelaksanaan beberapa senaman fisioterapi yang terlibat bagi memerhati sama ada prestasi sistem kekal stabil tanpa sebarang kejatuhan prestasi, gangguan visual, atau isu berkaitan penggunaan memori. Ujian juga dilaksanakan bersama pengguna sebenar tetapi bukan pesakit yang melakukan pelbagai pergerakan, termasuk senaman yang tersenarai dan yang tidak tersenarai, bagi menilai keupayaan sistem dalam menganalisis pergerakan serta menentukan tahap kestabilan pengguna. Beberapa pendekatan telah diuji dalam konteks ini, antaranya pergerakan yang sempurna, kurang sempurna, dan tidak sempurna bagi menguji ketepatan pergerakan, manakala stabil atau tidak stabil dalam ujian kestabilan pergerakan.

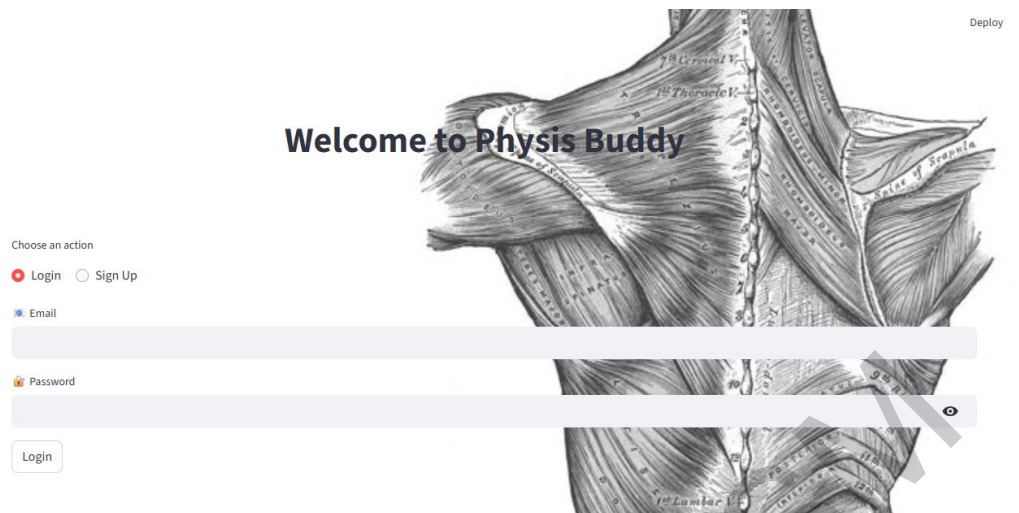


The screenshot shows a registration form with the following fields and values:

- Email: [Redacted]
- Password: [Redacted]
- Full Name: [Redacted]
- Age: 1
- Gender: Male
- Phone Number: [Redacted]
- Birthdate: 2025/07/03
- Register button

A 'Deploy' button is visible in the top right corner. The background of the form features a detailed anatomical illustration of human muscles.

Rajah 11 Antara Muka Daftar Akaun



Rajah 12 Antara Muka Log Masuk

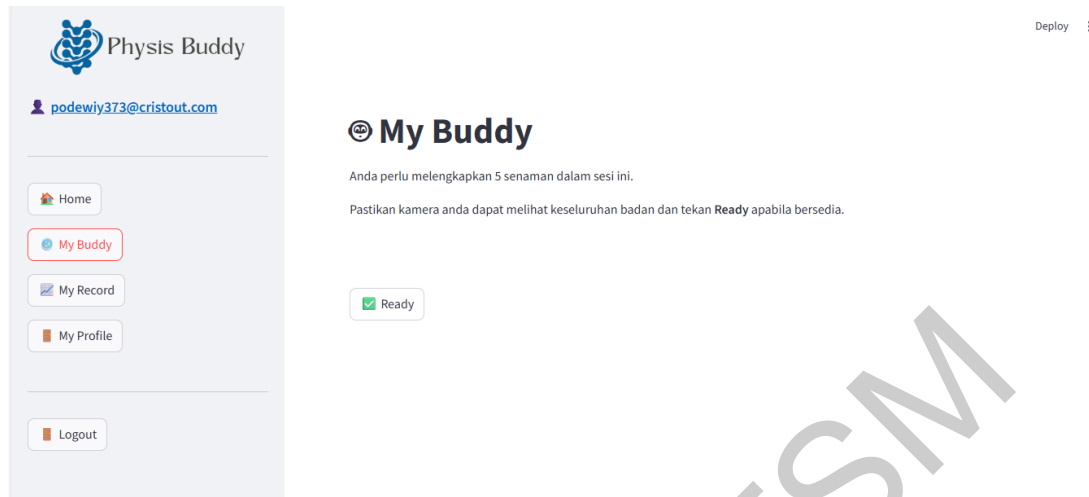
Rajah 11 dan 12 menunjukkan antara muka untuk log masuk dan mendaftar akaun baharu untuk Sistem Analisis Keseimbangan Gait dalam Pergerakan Fisioterapi. Antara muka ini penting untuk menjejaki pengguna bagi proses penyimpanan data dalam pangkalan data. Ia juga penting bagi menjejaki atau menarik dan mengakses rekod analisis pengguna daripada pangkalan data dengan mudah.

Rajah 11, jika pengguna belum mempunyai akaun, pengguna boleh mendaftar akaun dengan mengisi butiran pengguna, yang akan dipaparkan di Profil Pengguna. Rajah 12, jika pengguna sudah mendaftar akaun, pengguna boleh menggunakan e-mel pengguna dan kata laluan untuk memasuki laman utama.



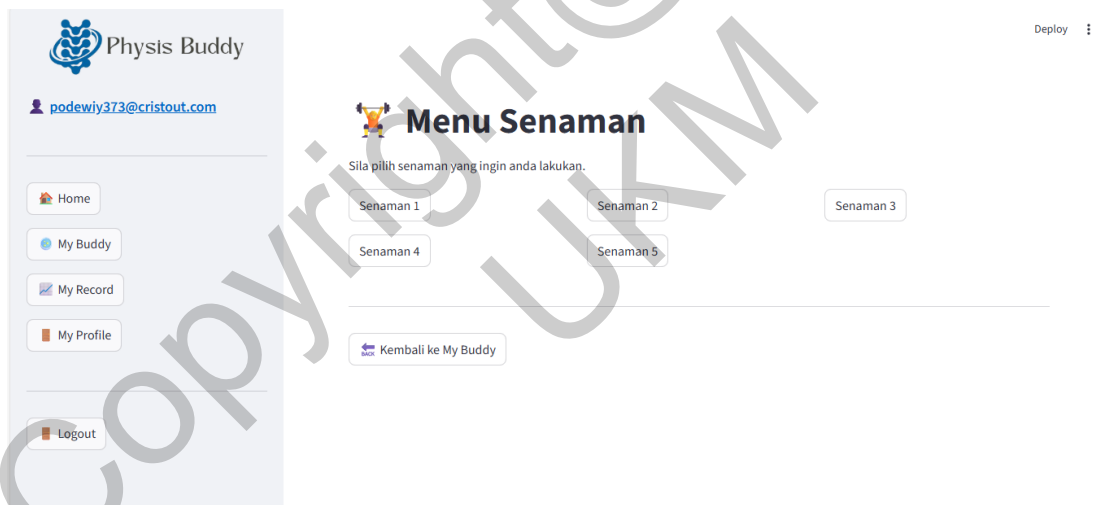
Rajah 13 Antara Muka Laman Utama

Rajah 13 menunjukkan halaman utama, di mana ia menunjukkan fungsi-fungsi yang tersedia. Antaranya ialah melakukan gerakan pada kamera telefon pintar untuk analisis keseimbangan (My Buddy), mengakses rekod analisis lepas (My Record) dan mengurus maklumat akaun pengguna (My Profile). Pengguna perlu 'Log Out' jika tidak perlu lagi menggunakan sistem analisis.



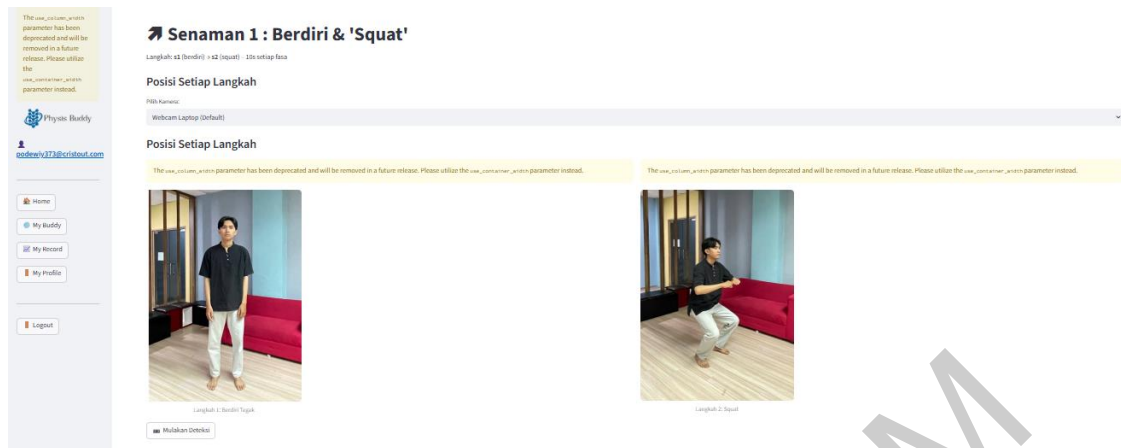
Rajah 14 Antara Muka Navigasi Halaman Senaman

Rajah 14 menunjukkan antara muka bagi analisis keseimbangan yang memaparkan kepada pengguna yang bakal melakukan analisis melalui tangkapan kamera. Pengguna perlu klik butang 'Ready' untuk ke navigasi halaman senaman untuk dipilih. Proses ini penting untuk memastikan pengguna bersedia untuk memulakan pergerakan dengan posisi yang betul.



Rajah 15 Antara Muka Menu Senaman

Kemudian, pengguna akan dinavigasi ke Menu Senaman untuk memilih jenis senaman yang ingin dibuat, seperti yang tertera di rajah 15. Seterusnya, rajah 16 hingga rajah 20 menunjukkan antara muka 5 set senaman yang perlu dijalankan. Pengguna perlu memilih peranti kamera yang ingin digunakan, sama ada Kamera Iriun (*Iriun Webcam*) atau Kamera Web (*Default Webcam*).



Rajah 16 Antara Muka Senaman 1



Rajah 17 Antara Muka Senaman 2



Rajah 18 Antara Muka Senaman 3



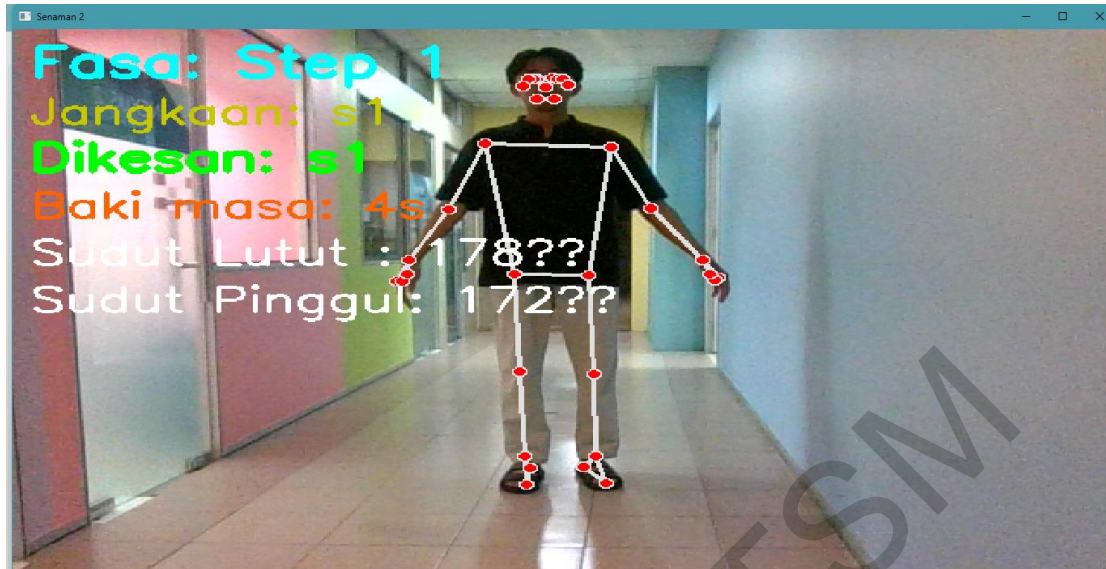
Rajah 19 Antara Muka Senaman 4



Rajah 20 Antara Muka Senaman 5

Pergerakan Sempurna dan Pergerakan Stabil

Berikut merupakan ujian sistem oleh pengguna yang menjalankan pengesanan pose dan analisis keseimbangan bagi senaman 2. Ujian dijalankan dengan membuat pergerakan sempurna untuk melihat tahap ketepatan ke atas analisis yang dilakukan oleh sistem. Pergerakan Sempurna adalah pergerakan yang menepati peratusan ketepatan sebanyak 70% ke atas dan kestabilan nilai sisihan piawai di bawah 25 darjah. Rajah 21 dan 22 masing-masing menunjukkan langkah 1 dan 2 yang terdapat di senaman 2.

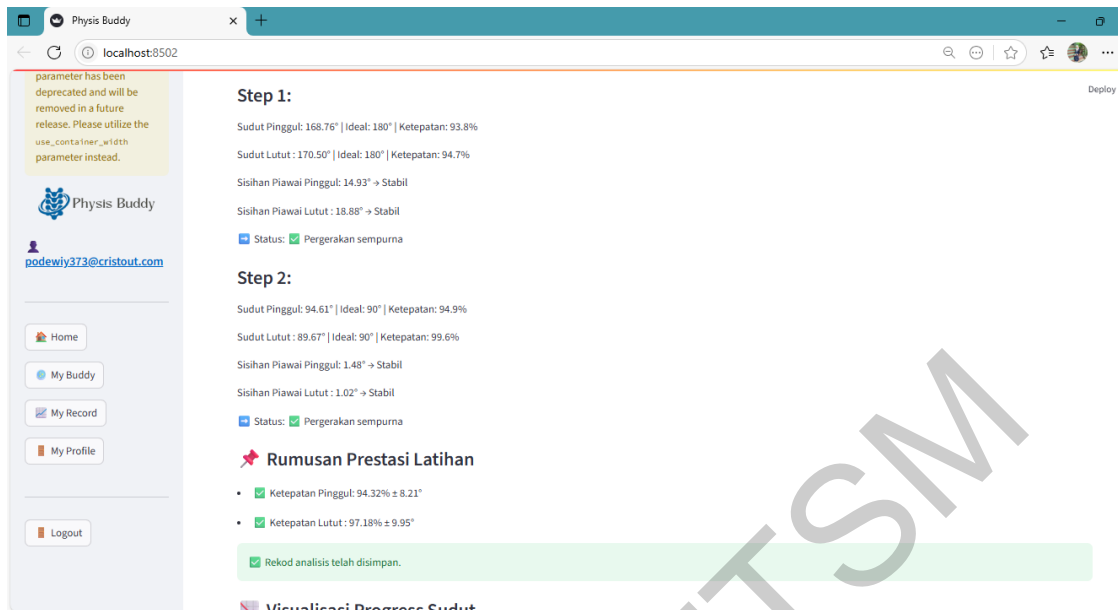


Rajah 21 Antara Muka Pengesanan Senaman 2 (Langkah 1)

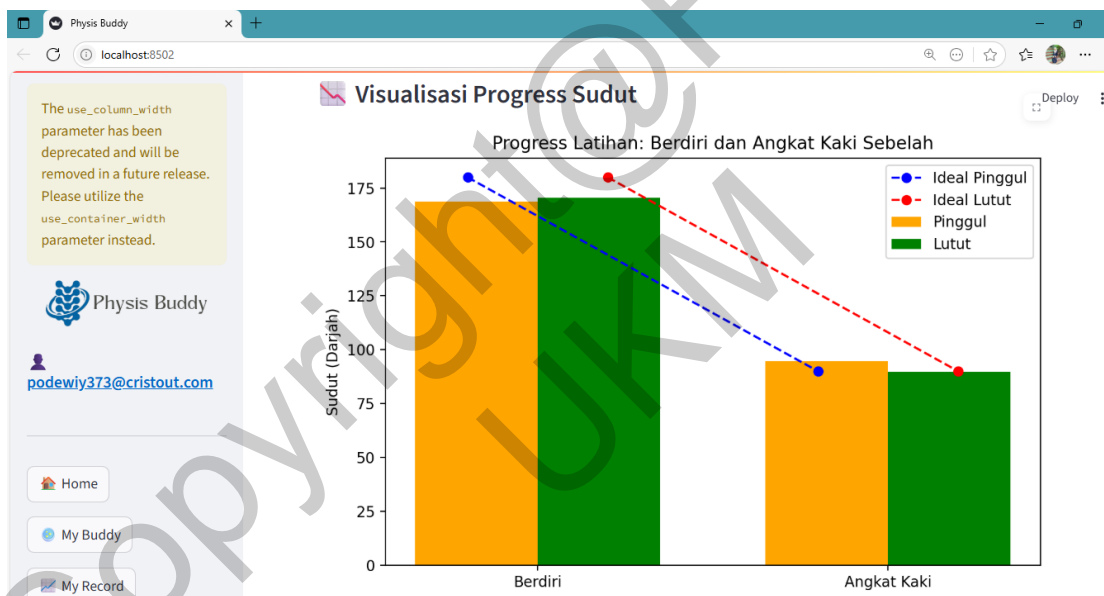


Rajah 22 Antara Muka Pengesanan Senaman 2 (Langkah 2)

Rajah 23 dan rajah 24 menunjukkan pengguna menjalankan senaman 2 dengan sempurna. Pengguna melepasi ambang pergerakan sempurna kerana melepasi nilai ambang bagi ketepatan dan kestabilan di langkah 1 (s1) dan langkah 2 (s2). Sebagai rumusan, pengguna mencapai ketepatan purata pinggul sebanyak 94.32%, kestabilan sebanyak $8.21 < 25$ darjah dan ketepatan purata lutut sebanyak 97.18%, kestabilan sebanyak $9.95 < 25$ darjah. Ini menunjukkan pengguna mencapai ketepatan sempurna dan pergerakan yang stabil semasa melakukan senaman 2.



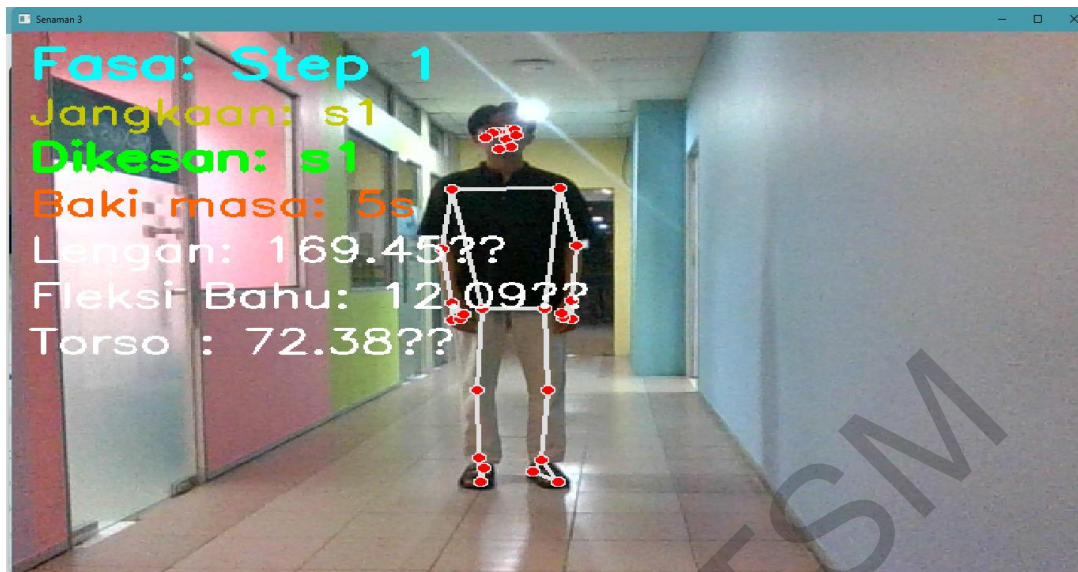
Rajah 23 Antara Muka Analisis Senaman 2



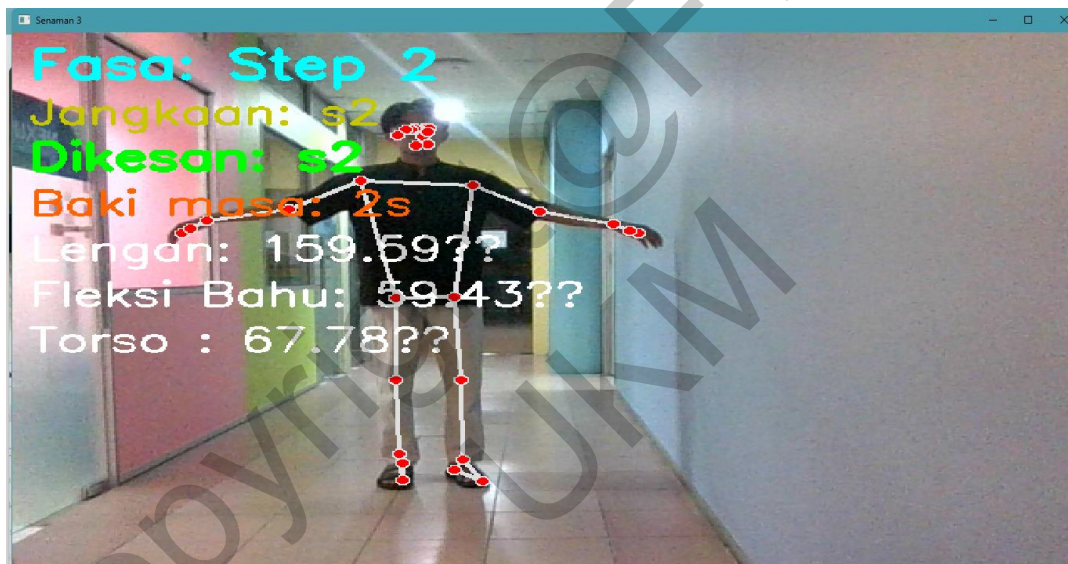
Rajah 24 Antara Muka Visual Progres Senaman 2

Pergerakan Kurang Sempurna & Pergerakan Tidak Stabil

Berikut merupakan ujian sistem oleh pengguna yang menjalankan pengesanan pose dan analisis keseimbangan bagi senaman 3. Ujian dijalankan dengan membuat pergerakan kurang sempurna dan pergerakan tidak stabil untuk melihat tahap ketepatan ke atas analisis yang dilakukan oleh sistem. Pergerakan Kurang Sempurna merujuk kepada ketepatan pergerakan di julat 40% hingga 70% dan pergerakan tidak stabil merujuk kepada nilai sisihan piawai adalah 25 darjah ke atas. Rajah 25, 26 dan 27 menunjukkan masing masing langkah 1, 2 dan 3 dalam senaman 3.



Rajah 25 Antara Muka Pengesanan Senaman 3 (Langkah 1)

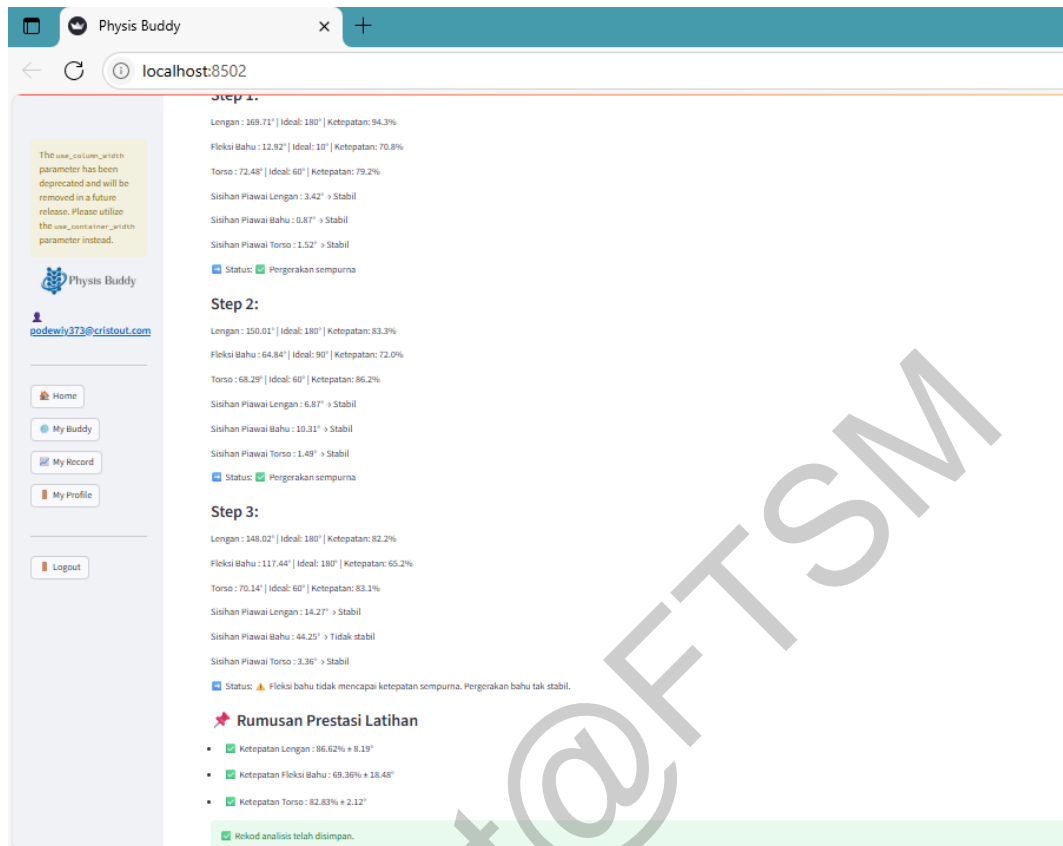


Rajah 26 Antara Muka Pengesanan Senaman 3 (Langkah 2)

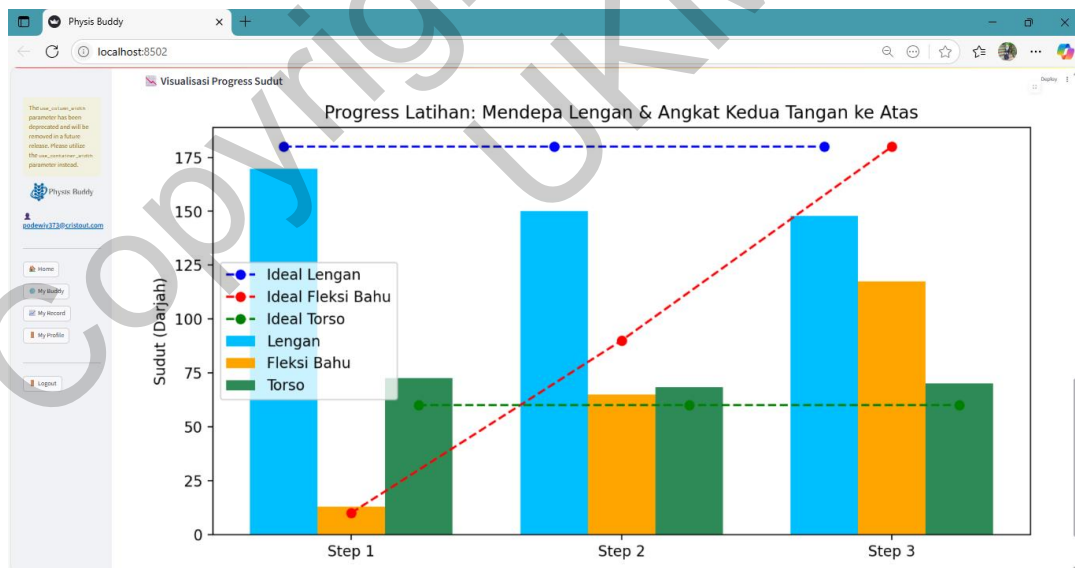


Rajah 27 Antara Muka Pengesanan Senaman 3 (Langkah 3)

Rajah 28 hingga 29 menunjukkan pengguna mencapai pergerakan kurang sempurna di 'step 3', kedua tangan ke atas, di mana fleksi bahu tidak melepasi sudut ideal secara sempurna (65.2%). Selain itu, pergerakan pengguna tidak stabil kerana sisihan piawai bagi fleksi bahu yang dicapai oleh pengguna adalah sebanyak $44.25 > 25$ darjah menunjukkan pergerakan pengguna kerap berubah-ubah semasa melakukan senaman dan tidak konsisten, menyebabkan pengiraan sisihan piawai semakin besar. Hasil analisis ini dipaparkan di rajah 28 dan 29.



Rajah 28 Antara Muka Analisis Senaman 3



Rajah 29 Antara Muka Visual Progres Senaman 3

Pergerakan Tidak Dikesan

Pergerakan Tidak Dikesan merujuk kepada pergerakan yang mencapai ketepatan di bawah 40%, serta diberi nilai 0.0%. Ujian dijalankan dengan membuat pergerakan salah untuk melihat tahap ketepatan ke atas analisis yang dilakukan oleh sistem. Walaupun pergerakan stabil,

ketepatan 0.0% menunjukkan tiada pergerakan betul berlaku. Pengguna perlu buat semula latihan. Rajah 30 dan 31 menunjukkan masing masing langkah 1 dan 2 dalam senaman 1.

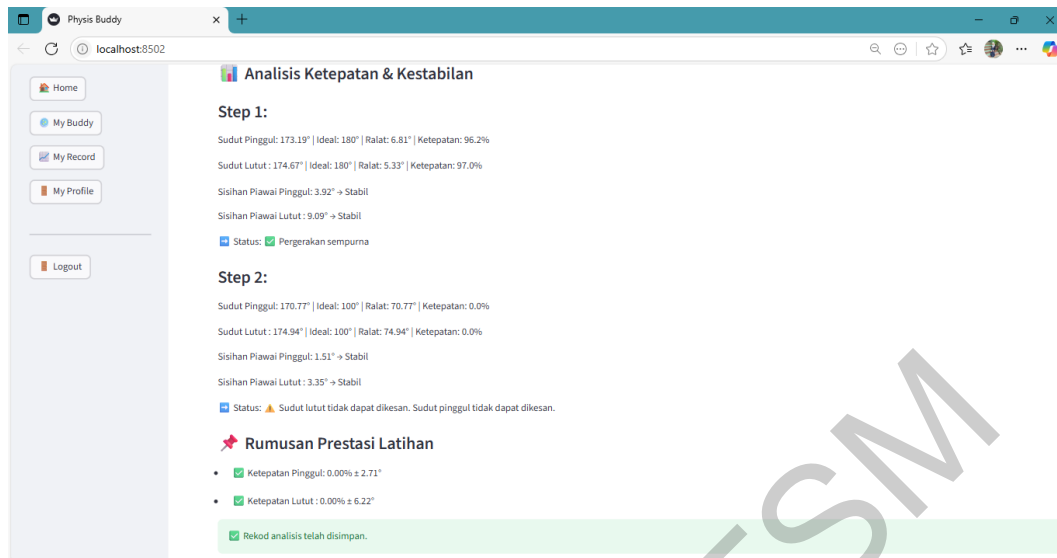


Rajah 30 Antara Muka Pengesanan Senaman 1 (Langkah 1)

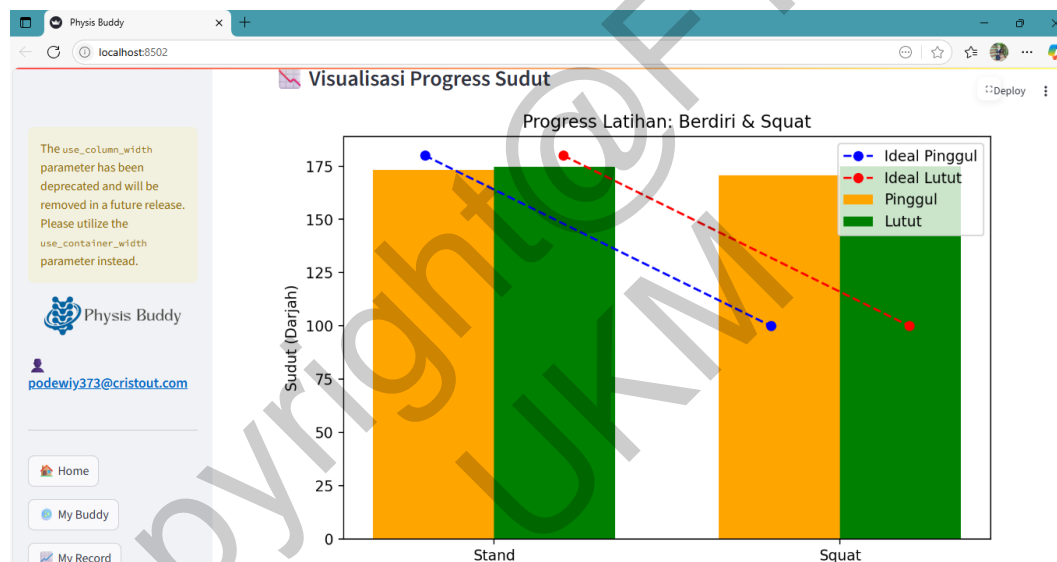


Rajah 31 Antara Muka Pengesanan Senaman 1 (Langkah 2)

Rajah 32 dan 33 menunjukkan pengguna tidak mencapai sebarang ketepatan semasa melakukan senaman 1 (berdiri dan squat). Ini disebabkan oleh pengguna pada rajah 31 (step 2) tidak melakukan pergerakan yang betul untuk senaman 1, iaitu 'squat', menyebabkan ketepatan 0.0%. Walaupun pengguna berjaya melepasi pergerakan sempurna di rajah 30 (step 1) dan melakukan pergerakan yang konsisten, sistem akan tetap klasifikasikan ketepatan sebagai 0 semasa rumusan dihasilkan, menegaskan bahawa mana-mana langkah yang tidak mencapai mana-mana nilai ambang ketepatan akan dikategorikan sebagai tiada pengesanan berlaku.

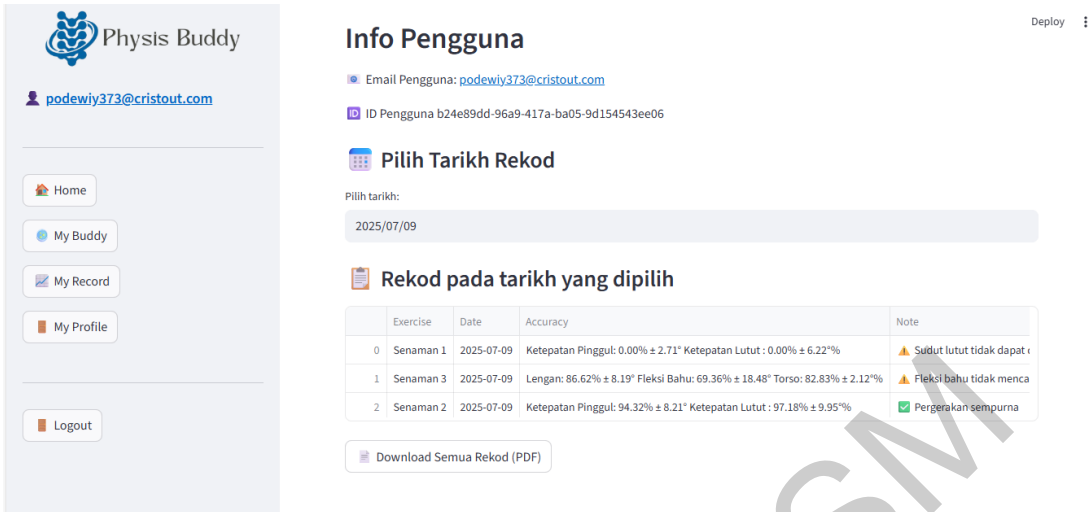


Rajah 32 Antara Muka Analisis Senaman 1



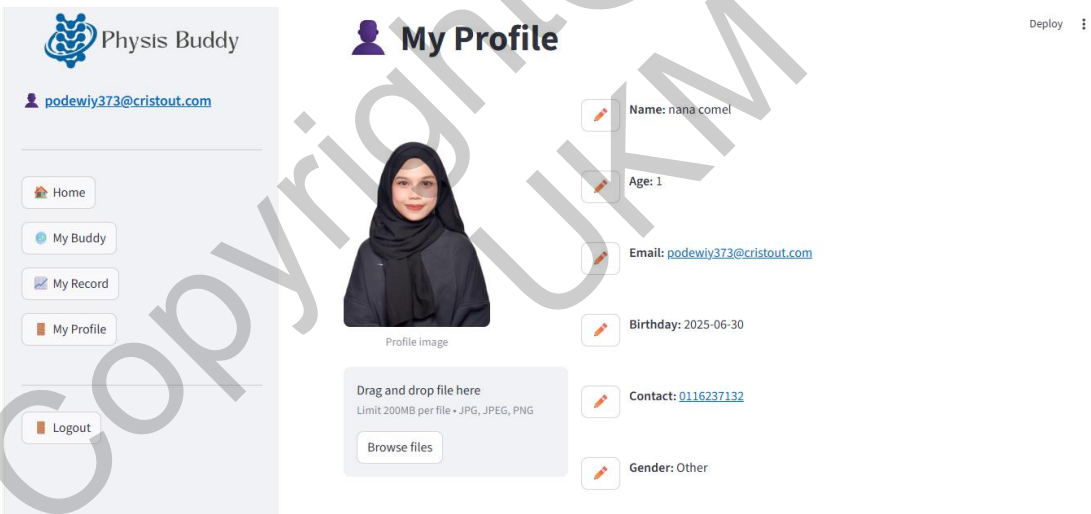
Rajah 33 Antara Muka Visual Progres Senaman 1

Rajah 34 menunjukkan rekod analisis yang berjaya dimasukkan berdasarkan pengujian bagi senaman yang dilakukan sebelum ini, membuktikan pengujian tahap integrasi antara sistem analisis dan pangkalan data. Ujian muat turun dalam bentuk PDF dijalankan dan berjaya.



Rajah 34 Rekod Analisis Pengguna

Rajah 35 menunjukkan antaramuka akaun pengguna bagi setiap pengguna yang mendaftar akaun. Ia mempunyai maklumat asas pengguna dan beberapa suntingan yang boleh dilakukan. Ujian dilakukan ke atas beberapa suntingan yang berjaya dikemaskini ke dalam pangkalan data.



Rajah 35 Profil Pengguna

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, Sistem Analisis Keseimbangan Gait dalam Pergerakan Fisioterapi ini berjaya dibangunkan. Objektif kajian dan keperluan yang telah ditetapkan sebelum ini telah berjaya dicapai. Walaupun terdapat beberapa kekuatan sistem, sistem ini juga tidak lari daripada kekangan yang telah dinilai untuk penambahbaikan pada masa hadapan. Diharapkan sistem ini dijadikan titik kajian untuk kajian lain pada masa hadapan.

Kekuatan Sistem

Sistem ini membolehkan pengesanan pergerakan secara masa nyata menggunakan kamera peranti sedia ada tanpa memerlukan peralatan tambahan, menjadikannya mudah diakses di pelbagai lokasi. Dengan sokongan MediaPipe, titik-titik tubuh dapat dikesan secara konsisten dalam pelbagai keadaan persekitaran, manakala model Random Forest yang telah melalui proses latihan dan penalaan parameter menunjukkan ketepatan yang tinggi dalam klasifikasi senaman. Penilaian berdasarkan sudut anggota badan membolehkan sistem memberi maklum balas terhadap ketepatan dan kestabilan pergerakan pengguna secara masa nyata. Antara muka visual yang disediakan turut membantu pengguna memahami prestasi semasa melalui paparan sudut, label pergerakan dan status kesalahan. Sistem ini disambungkan ke pangkalan data bagi menyimpan maklumat pengguna dan sejarah senaman secara automatik, serta menyediakan laporan prestasi ringkas sejurus selepas sesi tamat. Reka bentuk yang modular membolehkan senaman baharu ditambah dengan mudah, dan penggunaan teknologi ringan memastikan sistem dapat dijalankan pada komputer biasa tanpa keperluan GPU. Dengan pendekatan yang praktikal dan kos efektif, sistem ini sesuai digunakan dalam pelbagai konteks termasuk latihan sendiri dan pemulihan fizikal.

Kelemahan Sistem

Kebergantungan terhadap sudut dan kualiti rakaman kamera boleh menjejaskan keupayaan sistem dalam mengesan titik badan dan mengira sudut dengan tepat. Ketiadaan maklumat kedalaman akibat penggunaan data 2D turut mengehadkan kebolehan sistem untuk mentafsir pergerakan yang kompleks atau melibatkan putaran. Model Random Forest yang digunakan, meskipun berprestasi baik dalam ujian, cenderung menghasilkan klasifikasi tidak tepat sekiranya data latihan tidak mencerminkan kepelbagaian sebenar, selain berisiko mengalami *overfitting* yang mengurangkan kebolehan generalisasi. Prestasi sistem juga boleh terjejas apabila dijalankan pada peranti berspesifikasi rendah kerana beban pemprosesan masa nyata. Di samping itu, sistem masih belum menyokong pembelajaran berterusan secara automatik dan memerlukan latihan semula secara manual. Analisis yang ditawarkan juga terhad kepada sudut dan kestabilan pergerakan sahaja, tanpa meliputi aspek penting lain seperti tempo, kekuatan otot, dan biomekanik.

Cadangan Masa Hadapan

Cadangan masa hadapan amat penting untuk memastikan Sistem Analisis Keseimbangan Gait dalam Pergerakan Fisioterapi ini kekal relevan, berkesan dan selari dengan teknologi semasa. Antara penambahbaikan yang dicadangkan termasuklah memperluas liputan kepada senaman lain seperti latihan tangan, leher, dan tulang belakang, serta penggunaan teknologi

pengecaman postur automatik menggunakan algoritma pembelajaran mendalam seperti CNN dan LSTM. Ciri tambahan seperti maklum balas suara, paparan analisis kemajuan, pengiraan repetisi automatik, serta antara muka mesra pengguna dan pelbagai bahasa akan meningkatkan pengalaman pengguna. Penerapan pembelajaran berterusan (*continuous learning*) juga dicadangkan bagi menyesuaikan sistem dengan variasi pengguna. Akhir sekali, kerjasama dengan institusi kesihatan dan pakar fisioterapi akan memperkukuh kredibiliti dan membuka peluang integrasi dalam rawatan klinikal digital.

PENGHARGAAN

Penulis kajian ini ingin ucapkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada penyelia Ts. Dr. Fadilla 'Atyka binti Nor Rashid, atas bimbingan, tunjuk ajar, dan sokongan yang mantap sepanjang pelaksanaan projek ini.

Penulis kajian ini juga ingin mengucapkan terima kasih kepada semua pihak yang membantu secara langsung mahupun tidak langsung dalam menyempurnakan projek ini. Segala jasa baik, kerjasama dan sokongan yang dihulurkan amat dihargai dan semoga Allah membalas segala kebaikan kalian.

RUJUKAN

- Ali, M., Ullah, S. I., Ullah, K., Almutairi, S., Amin, M., & Syed, I. 2024. Classification of physiotherapy exercise of stroke patients using deep transfer learning and fuzzy logic: A novel approach. *Ain Shams Engineering Journal*, 15(10), 102940.
- Arrowsmith, C., Burns, D., Mak, T., Hardisty, M., & Whyne, C. 2022. Physiotherapy exercise classification with single-camera pose detection and machine learning. *Sensors*, 23(1), 363.
- Arya, V., & Maji, S. 2024. Enhancing Human Pose Estimation: A Data-Driven Approach with MediaPipe BlazePose and Feature Engineering Analysing. *IEEE*.
- Badura, A., Masłowska, A., Myśliwiec, A., & Piętka, E. 2021. Multimodal signal analysis for pain recognition in physiotherapy using Wavelet Scattering Transform. *Sensors*.
- Bao, T., Klatt, B. N., Whitney, S. L., Sienko, K. H., & Wiens, J. 2019. Automatically evaluating balance: A machine learning approach. *IEEE Transactions on Neural Systems and Rehabilitation Engineering*, 27(2), 179–186.
- Colucci, L. 2023. Development of Human Pose Estimation and Machine Learning-based algorithms for assessing physical exercise proficiency (Doctoral dissertation, Politecnico di Torino).
- Durve, I., Ghuge, S., Patil, S., & Kalbande, D. 2019. Machine learning approach for physiotherapy assessment. *IEEE*.

- He, K., Zhang, X., Ren, S., & Sun, J. 2016. Deep Residual Learning for Image Recognition. ML.
- Hsueh, I., Wu, Y., & Zhishuai, C. 2021. Condition monitor system for rotation machine by CNN with recurrence plot. ResearchGate.
- Miron, A., Sadawi, N., Ismail, W., Hussain, H., & Grosan, C. 2021. IntelliRehabDS (IRDS)—A dataset of physical rehabilitation movements. Data, 6(5), 46.
- Raza, A., Qadri, A. M., Akhtar, I., Samee, N. A., & Alabdulhafith, M. 2023. LogRF: An approach to human pose estimation using skeleton landmarks for physiotherapy fitness exercise correction. IEEE Access, 11, 107930-107939.
- Romaniszyn-Kania, P., Pollak, A., Bugdol, M. D., Bugdol, M. N., Kania, D., Mańka, A., & Mitas, A. W. 2021. Affective state during physiotherapy and its analysis using machine learning methods. Sensors, 21(14), 4853.
- Singh, A. K., Kumbhare, V. A., & Arthi, K. 2021. Real-time human pose detection and recognition using mediapipe. Singapore: Springer Nature Singapore.
- Supanich, W., Kulkarineetham, S., Sukphokha, P., & Wisarnsart, P. 2023. Machine learning-based exercise posture recognition system using mediapipe pose estimation framework. IEEE.
- Tluli, R., & Al-Maadeed, S. 2024. Pose Estimation of Physiotherapy Exercises using ML Techniques. IEEE.
- Totlani, K., Dhavala, S. S., Vijayarao, S. S. K., Challagundla, Y., Roy, B., & Zhuo, E. R. 2024. Real-Time Human Pose Estimation Using Media-Pipe an Artificial Intelligence Applications in Health and Fitness. IEEE.
- Vijaya, J., Singh, A., Singh, K., & Kumar, A. 2024. AI-Enabled Real-Time Exercise Monitoring with MediaPipe and OpenCV. IEEE.
- Zainuddin, A. A., Mohd Dhuzuki, N. H., Puzi, A. A., Johar, M. N., & Yazid, M. 2024. Calibrating Hand Gesture Recognition for Stroke Rehabilitation Internet-of-Things (RIOT) Using MediaPipe in Smart Healthcare Systems. International Journal of Advanced Computer Science & Applications, 15(7).
- Zhou, Y., Rashid, F. ' N., Daud, M. M., Hasan, M. K., & Chen, W. 2024. Machine Learning-Based Computer Vision for Depth Camera-Based Physiotherapy Movement Assessment: A Systematic Review. ML.

Intan Nurliyana binti Mohd Ariff (A196791)

Ts. Dr. Fadilla 'Atyka binti Nor Rashid

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat

Universiti Kebangsaan Malaysia