

SISTEM PENGESANAN KESEIMBANGAN GAIT MANUSIA UNTUK RAWATAN FISIOTERAPI

SYAZWAN BIN SYAMRUL

FADILLA 'ATYKA NOR RASHID

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

ABSTRAK

Fisioterapi merupakan bidang yang memfokuskan kepada pemulihan fungsi tubuh melalui terapi fizikal seperti senaman, urutan, dan penggunaan alat bantu. Kecederaan akibat aktiviti lasak atau sukan boleh menyebabkan gangguan pergerakan seperti gait yang abnormal, iaitu perubahan corak berjalan yang menjejaskan fungsi pergerakan. Bagi menangani isu ini, projek ini mencadangkan pembangunan aplikasi laman sesawang *PhysiTrack* yang berupaya mengesan pergerakan anggota badan manusia dan mengenal pasti masalah pergerakan menggunakan teknologi pembelajaran mesin. Projek ini menggunakan rangka kerja CRISP-DM yang melibatkan enam fasa: pemahaman perniagaan, pemahaman data, penyediaan data, pemodelan, penilaian, dan pelaksanaan. Data pergerakan akan dikumpul dan diproses sebelum dibina model klasifikasi yang mampu mengenal pasti corak pergerakan tidak normal. Model yang dihasilkan akan dinilai menggunakan metrik prestasi seperti ketepatan dan nilai ralat. Akhirnya, model yang berjaya akan diintegrasikan ke dalam aplikasi sebenar untuk digunakan dalam pemantauan fisioterapi. Secara keseluruhannya, *PhysiTrack* dijangka dapat membantu dalam pengesanan awal masalah pergerakan dan seterusnya menyokong rawatan fisioterapi yang lebih berkesan.

Kata kunci: Fisioterapi, pengesanan pergerakan, pembelajaran mesin.

PENGENALAN

Fisioterapi merupakan satu bidang rawatan yang berfokus kepada pemulihan dan peningkatan fungsi tubuh melalui pelbagai teknik terapi fizikal seperti senaman, urutan, terapi manual serta penggunaan alat bantu perubatan. Rawatan fisioterapi berperanan penting dalam membantu individu yang mengalami kecederaan, penyakit atau gangguan fizikal untuk memulihkan mobiliti, meningkatkan kekuatan otot, fleksibiliti sendi, dan mengekalkan kestabilan tubuh. Salah satu aspek penting dalam fisioterapi ialah analisis *gait* atau corak berjalan, yang merujuk kepada pergerakan berirama anggota bawah semasa berjalan. Gangguan pada gait boleh berlaku disebabkan kecederaan, masalah neurologi atau keadaan ortopedik, dan jika tidak dirawat, boleh menjejaskan fungsi postur serta pergerakan tubuh secara keseluruhan.

Namun begitu, masih wujud beberapa kekangan dalam proses rawatan gait yang berkesan, terutamanya bagi pesakit warga emas atau individu yang mengalami kesukaran untuk hadir ke hospital. Faktor seperti jarak perjalanan, kos rawatan, dan keperluan tenaga yang tinggi sering menjadi beban kepada pesakit. Selain itu, penggunaan peralatan berwayar dan penanda fizikal pada badan semasa sesi fisioterapi boleh menyebabkan ketidakselesaan dan menghadkan pergerakan, khususnya bagi pesakit yang mempunyai kulit sensitif atau mobiliti terhad. Tambahan pula, pesakit sering mengambil ringan terhadap gejala awal masalah gait dan tidak mendapatkan rawatan lebih awal, yang akhirnya mengakibatkan keadaan semakin serius. Justeru, timbul keperluan terhadap satu kaedah pemantauan pergerakan yang lebih fleksibel, mudah diakses dan selesa digunakan secara sendiri di rumah.

Sebagai penyelesaian terhadap isu-isu yang dikenal pasti, projek ini mencadangkan pembangunan satu sistem pengesanan pergerakan berasaskan laman sesawang yang dinamakan *PhysiTrack*. Sistem ini dibangunkan dengan matlamat untuk mengesan pergerakan anggota badan manusia secara masa nyata menggunakan kamera biasa tanpa sebarang alat berwayar atau penanda badan. Melalui *PhysiTrack*, pengguna boleh memantau corak pergerakan sendiri, mengenal pasti ketidakseimbangan gait, serta mendapatkan maklum balas secara terus berkaitan status pergerakan mereka. Sistem ini direka dengan antara muka yang mesra pengguna, membolehkan pesakit menggunakannya dengan mudah tanpa bimbingan pakar secara langsung. Di samping itu, ia turut menawarkan senarai program senaman rehabilitasi secara digital untuk membantu proses pemulihan fizikal secara sendiri.

Secara khusus, objektif kajian ini adalah untuk membangunkan satu aplikasi berasaskan web bagi pengesanan pergerakan dan keseimbangan gait manusia. Tiga objektif utama dirumuskan iaitu mengenal pasti teknik pengesanan keseimbangan yang sesuai dalam konteks aplikasi fisioterapi, membangunkan laman sesawang *PhysiTrack* sebagai sistem pemantauan gait secara sendiri, dan menilai keberkesanan model pembelajaran mesin yang digunakan dalam mengenal pasti ketidakseimbangan pergerakan berdasarkan data visual. Dengan pelaksanaan projek ini, diharapkan pengguna dapat menjalani proses rehabilitasi dengan lebih mudah, efektif dan fleksibel tanpa perlu bergantung sepenuhnya kepada rawatan fizikal di pusat kesihatan.

METODOLOGI KAJIAN

Projek ini menggunakan pendekatan **CRISP-DM (Cross Industry Standard Process for Data Mining)** sebagai kerangka metodologi utama. Pendekatan ini terdiri daripada enam fasa berstruktur yang merangkumi keseluruhan proses pembangunan sistem berasaskan data, bermula daripada pemahaman keperluan perniagaan sehinggalah kepada pelaksanaan akhir sistem. Setiap fasa adalah penting untuk memastikan pembangunan sistem *PhysiTrack* berjalan secara sistematik, berfokus, dan mampu menghasilkan model yang berkesan dalam mengesan ketidakseimbangan gait manusia.

Fasa Pemahaman Perniagaan

Fasa pertama dalam CRISP-DM ialah pemahaman perniagaan. Dalam konteks projek ini, pemahaman perniagaan merujuk kepada pengenalpastian objektif utama sistem *PhysiTrack*, iaitu membangunkan satu platform pengesanan pergerakan tubuh yang dapat membantu dalam proses rawatan fisioterapi. Kajian ini meneliti keperluan pesakit yang mengalami kesukaran untuk hadir ke pusat rawatan secara fizikal dan memerlukan penyelesaian yang fleksibel serta boleh diakses dari rumah. Justeru, sistem yang dibina haruslah memenuhi keperluan tersebut dengan menyediakan antara muka yang mesra pengguna, pengesanan masa nyata, dan laporan automatik yang boleh digunakan oleh pesakit mahupun pakar fisioterapi.

Fasa Pemahaman Data

Fasa kedua ialah pemahaman data, di mana data pergerakan manusia dikumpul dan dianalisis secara awal bagi mendapatkan gambaran umum mengenai struktur dan pola yang wujud. Dalam projek ini, data diperoleh daripada rakaman video pergerakan anggota badan yang diambil menggunakan kamera masa nyata. Analisis awal dilakukan untuk mengenal pasti elemen penting seperti koordinat titik sendi badan, julat pergerakan, serta variasi antara pengguna. Melalui analisis ini, potensi masalah seperti data hilang, noise, atau anomali dapat dikenal pasti sebelum diteruskan ke fasa seterusnya.

Fasa Penyediaan Data

Fasa ketiga adalah penyediaan data, di mana data mentah yang telah dikumpulkan akan diproses dan dibersihkan agar sesuai digunakan dalam pemodelan. Proses ini melibatkan penyingkiran data yang tidak relevan, pengisian nilai hilang, normalisasi, dan penstrukturan semula dataset. Dalam projek *PhysiTrack*, ciri-ciri utama seperti koordinat x, y, z, serta nilai visibility daripada titik sendi yang dikesan oleh MediaPipe akan diekstrak dan disusun dalam format yang boleh digunakan untuk melatih model pembelajaran mesin. Kualiti penyediaan data sangat mempengaruhi ketepatan model yang akan dibangunkan, maka fasa ini dilaksanakan dengan teliti.

Fasa Permodelan

Fasa seterusnya ialah pemodelan, di mana algoritma pembelajaran mesin dipilih dan dibangunkan berdasarkan dataset yang telah disediakan. Bagi projek ini, model Random Forest telah digunakan kerana ia terkenal dengan keupayaannya dalam membuat klasifikasi yang stabil, mengatasi isu overfitting, dan berfungsi dengan baik pada dataset yang bersaiz kecil hingga sederhana. Data latihan digunakan untuk melatih model mengenal pasti pergerakan normal dan abnormal, manakala data ujian digunakan untuk menguji keberkesanan klasifikasi. Beberapa parameter model disesuaikan bagi memastikan prestasi yang optimum.

Fasa Penilaian

Dalam fasa penilaian, model yang telah dibangunkan akan diuji untuk mengukur prestasinya berdasarkan pelbagai metrik seperti ketepatan (accuracy), sensitiviti, dan nilai ralat (error rate). Model Random Forest yang digunakan dalam sistem ini menunjukkan tahap ketepatan yang memuaskan dalam mengklasifikasikan corak pergerakan pengguna. Selain itu, prestasi

model turut dibandingkan dengan hasil jangkaan pakar fisioterapi untuk memastikan bahawa output yang dihasilkan adalah boleh dipercayai. Sekiranya prestasi tidak menepati jangkaan, model akan ditala semula (fine-tuned) sebelum disepadukan ke dalam sistem.

Fasa Pembangunan Dan Penyebaran

Fasa terakhir ialah pembangunan dan penyebaran, iaitu integrasi model ke dalam sistem sebenar. Dalam projek ini, sistem *PhysiTrack* dibangunkan menggunakan rangka kerja **Streamlit** bagi membolehkan capaian melalui laman sesawang. Sementara itu, teknologi **MediaPipe** digunakan untuk mengekstrak titik-titik sendi tubuh manusia secara masa nyata menggunakan kamera biasa. Model Random Forest yang telah dilatih akan digunakan untuk menjalankan inferens secara langsung terhadap data input. Selepas sistem dilancarkan, pemantauan akan dijalankan bagi memastikan prestasi kekal stabil dan penambahbaikan akan dilakukan dari semasa ke semasa berdasarkan maklum balas pengguna.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Bahagian ini menerangkan proses pelaksanaan sistem *PhysiTrack* yang merangkumi latihan model pembelajaran mesin, pembangunan antara muka pengguna, dan integrasi pengesanan pergerakan secara masa nyata. Sistem dibina menggunakan MediaPipe untuk mengesan titik-titik utama badan, manakala model Random Forest digunakan untuk mengklasifikasikan jenis senaman berdasarkan pergerakan tersebut. Antara muka sistem dibangunkan menggunakan Streamlit dan dihubungkan dengan Supabase bagi menyimpan data pengguna serta rekod senaman. Pelaksanaan ini bertujuan menghasilkan sistem pemantauan senaman yang interaktif, tepat dan mudah diakses oleh pengguna.

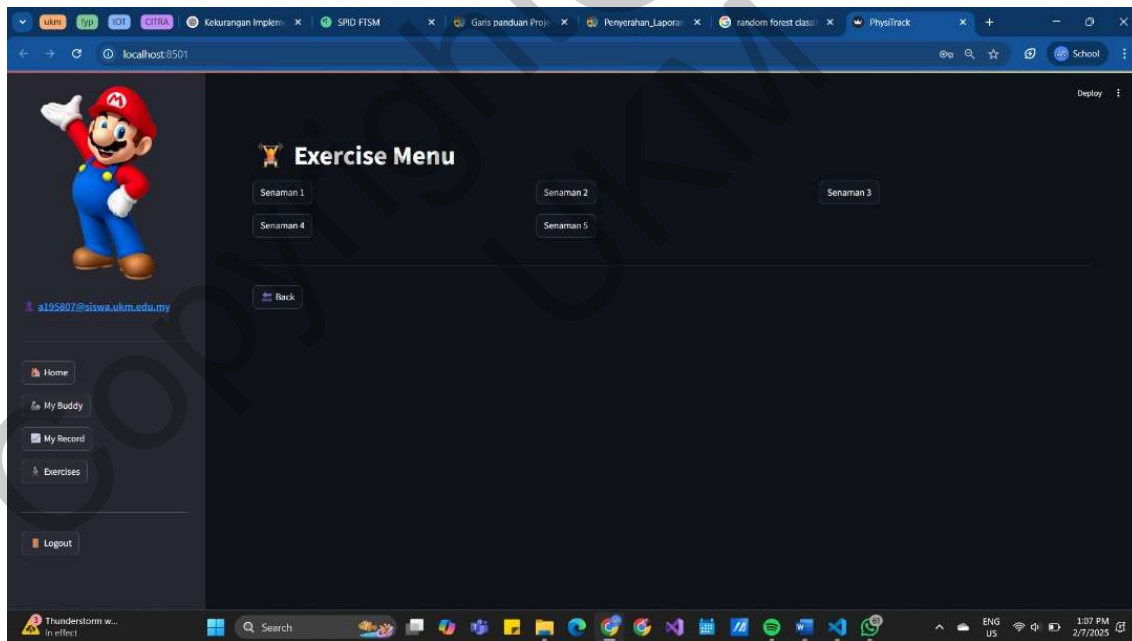
Sistem *PhysiTrack* dibina dengan antara muka yang mesra pengguna, membolehkan pengguna mendaftar akaun, log masuk, dan memilih senaman yang ingin dilakukan. Halaman utama menyediakan pilihan senaman yang tersedia serta paparan kamera untuk mengesan pergerakan secara langsung.



Rajah 1 Antara Muka Pendaftaran

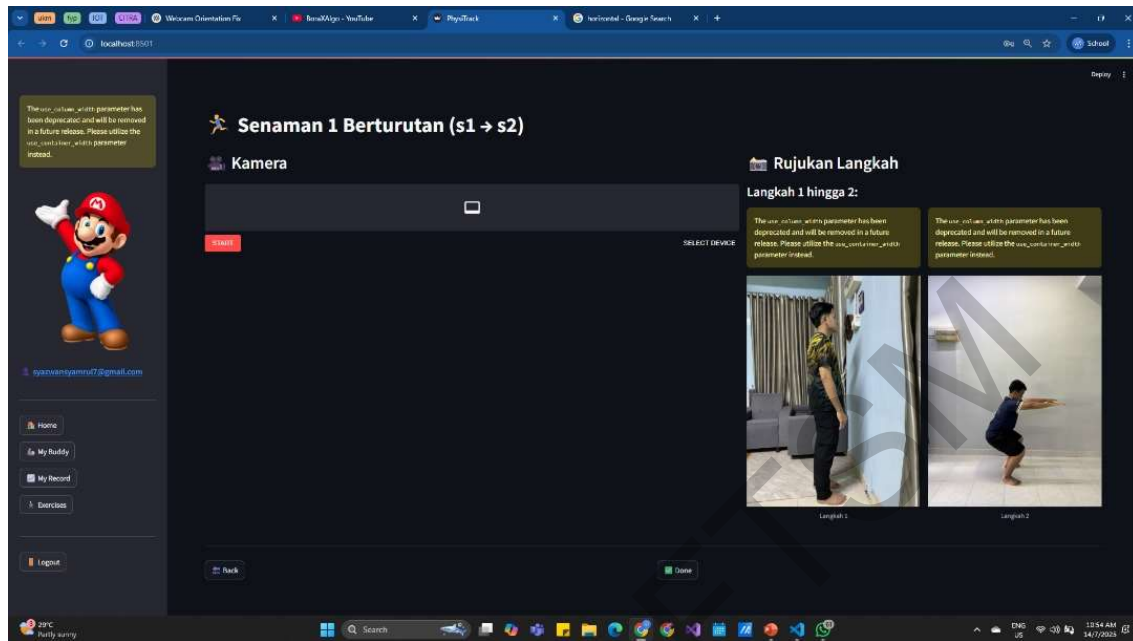


Rajah 2 Antara Muka Log Masuk



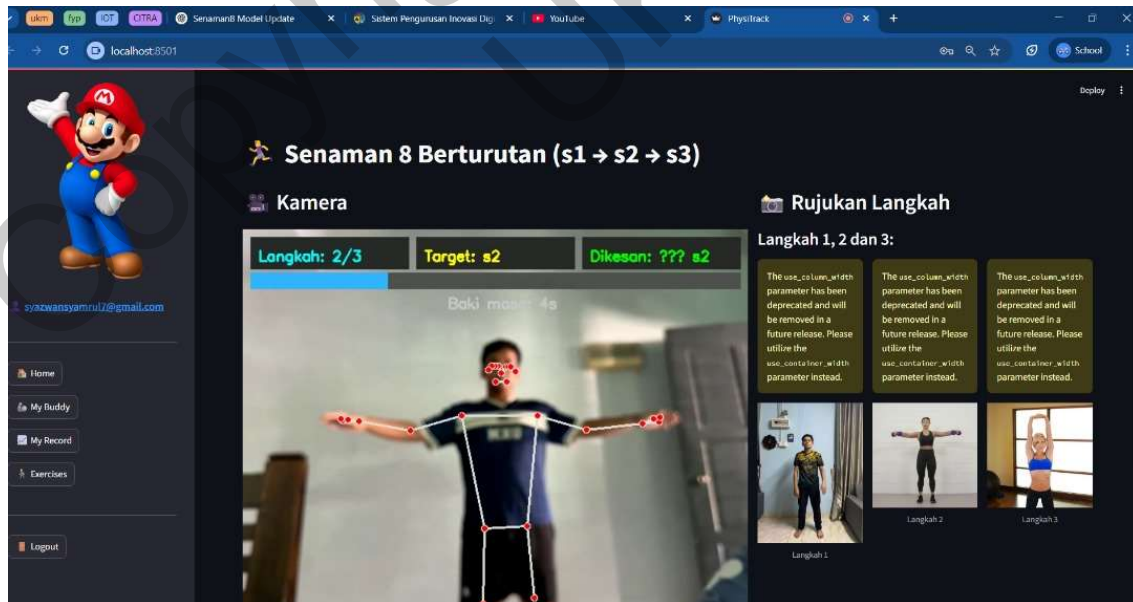
Rajah 3 Antara Muka Laman Senaman

Sistem menggunakan *webcam* untuk mengesan pergerakan pengguna secara masa nyata melalui MediaPipe Pose. Titik-titik utama badan dikenalpasti dan dianalisis oleh model yang telah dilatih. Keputusan pengesanan seperti jenis senaman yang dilakukan akan dipaparkan terus di skrin. Sistem ini direka untuk digunakan terus melalui pelayar web komputer.



Rajah 4 Laman Untuk Mulakan Senaman

Permainan mini seterusnya yang boleh dimainkan oleh pemain ialah "Sneaky Undead". Permainan ini memerlukan pemain untuk berdiam diri bagi melepasi sekumpulan zombi yang terdapat pada keseluruhan permainan mini ini. Pemain perlu menavigasi ke garisan penamat dengan melepasi halangan. Sekiranya pemain ditangkap oleh zombi, pemain akan kalah dan perlu memulakan semula permainan ini. Rajah 5 menunjukkan rupa permainan mini ini.



Rajah 5 Senaman Berjaya Dikesan

Pelaksanaan sistem ini menunjukkan bahawa *Physitrack* mampu berfungsi dengan baik

dalam membantu pengguna menjalani senaman dengan pemantauan berasaskan teknologi, sekaligus menyokong keperluan fisioterapi secara lebih fleksibel dan mudah diakses.

Cadangan Penambahbaikan

Untuk meningkatkan fungsi dan keberkesanan sistem PhysiTrack pada masa akan datang, beberapa penambahbaikan dicadangkan. Pertama, sistem boleh diperluaskan dengan menyokong lebih banyak jenis senaman, termasuk senaman atas kerusi, rutin khas untuk warga emas, serta senaman rehabilitasi yang lebih pelbagai. Ini penting bagi memastikan sistem dapat digunakan oleh kumpulan pengguna yang lebih luas dengan keperluan fisioterapi yang berbeza.

Selain itu, pembangunan aplikasi mudah alih khusus menggunakan platform seperti Flutter atau React Native amat disarankan bagi meningkatkan kebolehaksesan sistem. Aplikasi mudah alih membolehkan pengguna menjalankan senaman dan pemantauan terus daripada peranti mereka, tanpa bergantung sepenuhnya kepada komputer. Ini bukan sahaja memberi fleksibiliti, malah dapat menarik lebih ramai pengguna.

Dari segi teknikal, penggunaan model pembelajaran mendalam seperti Convolutional Neural Network (CNN) atau Long Short-Term Memory (LSTM) boleh dipertimbangkan bagi meningkatkan ketepatan sistem dalam mengesan dan mengklasifikasikan pergerakan tubuh. Model-model ini mampu mengenal pasti pola pergerakan yang lebih kompleks dan sesuai digunakan untuk aplikasi yang memerlukan pengesanan secara berterusan.

Tambahan pula, aspek keselamatan sistem boleh dipertingkatkan dengan menyertakan fungsi pengesanan dua faktor (2FA) semasa log masuk, bagi melindungi data pengguna dengan lebih baik. Akhir sekali, sistem juga boleh ditambah baik dengan menyediakan fungsi analisis prestasi berbentuk visual seperti carta kemajuan, laporan ringkasan aktiviti, dan cadangan senaman berdasarkan tahap pencapaian pengguna. Penambahbaikan ini dijangka dapat menjadikan PhysiTrack lebih menyeluruh, profesional, dan berdaya saing untuk kegunaan sebenar dalam bidang kesihatan dan fisioterapi.

KESIMPULAN

Projek ini telah berjaya membangunkan sebuah sistem pemantauan senaman berasaskan kamera yang bersifat interaktif dan mesra pengguna. Melalui penggunaan teknologi MediaPipe Pose dan integrasi model pembelajaran mesin, sistem dapat mengesan pergerakan tubuh secara masa nyata menggunakan webcam. Ia turut menyediakan fungsi pendaftaran akaun, log masuk, pengesanan jenis pergerakan berdasarkan titik utama badan, serta penyimpanan data pengguna dan rekod senaman menerusi platform Supabase. Ciri-ciri ini menjadikan sistem sesuai untuk digunakan dalam konteks pemantauan fisioterapi dan senaman sendiri di rumah.

Kekuatan Sistem

Antara kekuatan sistem ini adalah pada antaramukanya yang ringkas, keupayaan pengesanan masa nyata yang stabil, dan penggunaan model klasifikasi yang dibina khusus bagi setiap jenis senaman. Ini membolehkan sistem mengenal pasti pergerakan dengan ketepatan yang memuaskan. Selain itu, sistem turut membolehkan pengguna menyemak rekod aktiviti mereka, menjadikannya satu platform yang informatif untuk pengguna biasa mahupun profesional kesihatan.

Kelemahan Sistem

Beberapa kekangan telah dikenal pasti semasa pembangunan sistem. Antaranya termasuk kelewatan penyegerakan data antara Supabase dan pangkalan data utama yang kadangkala menimbulkan ralat semasa pendaftaran pengguna. Format tarikh lahir yang tidak serasi dengan JSON turut memerlukan penukaran manual sebelum dihantar ke pangkalan data. Di samping itu, sistem sangat bergantung kepada sambungan internet yang stabil dan berfungsi lebih baik di komputer berbanding peranti mudah alih. Latihan model yang terhad kepada lima jenis senaman juga menghadkan kebolehlaksanaan sistem dalam konteks fisioterapi sebenar yang lebih luas.

PENGHARGAAN

Penulis kajian ini ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada Dr. Fadilla 'Atyka Nor Rashid, selaku penyelia projek, atas segala tunjuk ajar, bimbingan, dan nasihat yang sangat berharga sepanjang pelaksanaan kajian ini. Segala komitmen dan panduan yang diberikan amatlah dihargai dan menjadi panduan penting dalam menyiapkan projek ini dengan jayanya.

Penulis juga ingin mengucapkan terima kasih kepada ahli keluarga serta rakan-rakan seperjuangan yang telah memberikan sokongan moral dan dorongan sepanjang proses kajian ini dijalankan. Tidak dilupakan juga kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung mahupun tidak langsung dalam menjayakan projek ini. Segala jasa dan sumbangan anda amat dihargai, dan semoga Tuhan membalas segala kebaikan dengan sebaik-baik ganjaran.

RUJUKAN

- Corbo, A. (n.d.). What are python algorithms? (definition, types, how-to). Built In. <https://builtin.com/data-science/pythonalgorithms#:~:text=Python%20algorithms%20provide%20a%20detailed,03%2C%202023>
- mhadhbi, N. (2024, September 29). Python tutorial: Streamlit. DataCamp. <https://www.datacamp.com/tutorial/streamlit>.
- Trimble. (n.d.). Classification - Deep Learning. eCognition Documentation. Retrieved from https://docs.ecognition.com/v10.0.2/eCognition_documentation/User%20Guide%20Developer/8%20Classification%20-%20Deep%20Learning.htm
- Jain, A. (n.d.). Everything about Random Forest. Medium. Retrieved from <https://medium.com/@abhishekjainindore24/everything-about-random-forest90c106d63989>.
- Sprager, S., & Juric, M. B. (2015, September 2). Inertial sensor-based gait recognition: A Review. MDPI. <https://www.mdpi.com/1424-8220/15/9/22089>.
- Sharif, M. I., Mehmood, M., Sharif, M. I., & Uddin, M. P. (n.d.). Human gait recognition using Deep Learning. <https://arxiv.org/pdf/2309.10144>.
- Khaliluzzaman, Md., Uddin, A., Deb, K., & Hasan, M. J. (2023, May 18). Person recognition based on Deep Gait: A survey. MDPI. <https://www.mdpi.com/1424-8220/23/10/4875>
- Miron, A., Sadawi, N., Ismail, W., Hussain, H., & Grosan, C. (2021b, April 30). IntelliRehabDS (IRDS)-A dataset of physical rehabilitation movements. MDPI. <https://www.mdpi.com/2306-5729/6/5/46>

Syazwan Bin Syamrul (A195807)
Ts. Dr. Fadilla 'Atyka Nor Rashid
 Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
 Universiti Kebangsaan Malaysia