

APLIKASI PEMBELAJARAN 3D BAHASA ISYARAT MALAYSIA

Muhammad Hazim Shah Arman, Zaihosnita Hood

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
43600 Universiti Kebangsaan Malaysia

Abstrak

Aplikasi Pembelajaran 3D Bahasa Isyarat Malaysia (BIM) dibangunkan untuk menangani cabaran pembelajaran BIM dalam kalangan komuniti Pekak di Malaysia. Kajian ini meneliti kekurangan sumber pembelajaran interaktif serta keperluan terhadap penyelesaian digital yang lebih efektif. Aplikasi ini direka menggunakan Model Agile bagi memastikan pembangunan yang fleksibel dan berorientasikan pengguna. Teknologi model 3D interaktif digunakan untuk memaparkan pergerakan tangan dari pelbagai sudut, membolehkan pengguna memahami dan meniru gerak isyarat dengan lebih tepat. Metodologi kajian merangkumi analisis keperluan pengguna, reka bentuk seni bina sistem berasaskan Model-View-Controller (MVC), serta pembangunan modul interaktif yang disesuaikan dengan tahap pembelajaran pengguna. Keputusan kajian menunjukkan bahawa integrasi teknologi pembelajaran mudah alih dan model 3D berkesan dalam meningkatkan pemahaman dan motivasi pengguna untuk mempelajari BIM. Kesimpulannya, aplikasi ini bukan sahaja menyediakan platform pembelajaran yang lebih efektif, tetapi juga memperkukuh keterangkuman sosial bagi komuniti Pekak. Kajian ini diharap dapat memberi impak positif dalam memperkasa penggunaan BIM dan memudahkan komunikasi antara komuniti Pekak dan masyarakat umum.

Kata Kunci: Bahasa Isyarat Malaysia, Model 3D Interaktif, Aplikasi Mudah Alih

Abstract

The 3D Learning Application for Malaysian Sign Language (BIM) was developed to address challenges in BIM learning among the Deaf community in Malaysia. This study examines the lack of interactive learning resources and the need for more effective digital solutions. The application was designed using the Agile Model to ensure a flexible and user-centered development approach. Interactive 3D models were integrated to display hand movements from multiple angles, enabling users to accurately understand and replicate sign language gestures. The study methodology includes user requirement analysis, Model-View-Controller (MVC) architecture design, and the development of interactive modules tailored to different learning levels. Findings indicate that integrating mobile

learning and 3D modeling technology significantly enhances user engagement and motivation in learning BIM. In conclusion, this application provides not only an effective learning platform but also promotes social inclusivity for the Deaf community. This research is expected to positively impact the advancement of BIM learning and facilitate communication between the Deaf community and the general public.

Keywords: Malaysian Sign Language, 3D Modeling, Mobile Learning

1.0 PENGENALAN

Komunikasi adalah satu medium yang penting bagi manusia untuk teruskan kehidupan seharian. Tidak kira di mana, komunikasi sangat penting untuk menyampaikan sesuatu maklumat. Kita sebagai manusia berinteraksi sesama manusia dengan melakukan komunikasi. Terdapat pelbagai cara untuk kita berkomunikasi, dan kini dengan perkembangan teknologi yang sedia ada telah banyak mengubah cara manusia berkomunikasi. Komunikasi tidak terbatas pada kata-kata yang terucap belaka, malah terbentuk dari apa saja interaksi, seperti isyarat badan. Kunci dalam komunikasi adalah kedua-dua pihak yang sedang berinteraksi menerima pengertian yang sama (Pohan & Fitria, 2021).

Di Malaysia, komuniti pekak kita menggunakan Bahasa Isyarat Malaysia (BIM), ini dapat merapatkan jurang bagi mereka untuk menyertai dalam persekitaran yang sosial, akademik malah professional. Kajian (Ghari 2016) di Iran menunjukkan beberapa kesan akibat komunikasi yang kurang berkesan ke atas golongan pekak dan bermasalah pendengaran. Kajian tersebut menunjukkan bahawa kesan komunikasi yang kurang berkesan mengakibatkan masalah dalam pelbagai perkara kepada golongan pekak termasuk bidang pendidikan (Ghari 2016). Jabatan Kebajikan Masyarakat barubaru ini mendedahkan bahawa terdapat 46,127 orang di Malaysia yang menghidap cacat pendengaran, menekankan keperluan mendesak untuk masyarakat kita memahami sepenuhnya dan menangani halangan berat yang dihadapi oleh individu ini setiap hari (Peter, 2023).

Dengan wujudnya perkembangan 3D model dan pembelajaran yang interaktif, ianya memberikan peluang baru untuk pembelajaran Bahasa Isyarat. Teknologi ini mampu memberikan pengalaman dinamik dan mendalam yang tidak dapat dilakukan oleh sumber tradisional, membolehkan pengguna memvisualisasikan dan mengamalkan gerak isyarat tangan dalam persekitaran yang interaktif. Dengan memanfaatkan teknologi tersebut,

pengguna boleh mencapai penglibatan yang lebih tinggi, memupuk pemahaman yang lebih mendalam tentang BIM.

Projek ini bertujuan untuk membangunkan aplikasi pembelajaran 3D untuk BIM, menggabungkan kuasa teknologi dengan sumber pembelajaran yang boleh diakses. Aplikasi ini akan menyediakan platform interaktif di mana pengguna boleh belajar dan mengamalkan BIM dalam persekitaran visual yang mesra pengguna. Dengan menangani jurang yang sedia ada dalam sumber pembelajaran BIM, projek ini berhasrat untuk merapatkan jurang komunikasi.

2.0 KAJIAN LITERATUR

Bahasa isyarat memainkan peranan penting sebagai medium komunikasi utama komuniti Pekak, membentuk bukan sahaja alat interaksi tetapi juga identiti budaya (KurniaRahman, 2024). Di Malaysia, Bahasa Isyarat Malaysia (BIM) mempunyai struktur unik yang bergantung pada pergerakan tangan, ekspresi wajah, dan ejaan jari (finger spelling) bagi konsep yang tidak mempunyai isyarat khusus (Dhiya'uddin, 2012). Namun, komuniti Pekak di Malaysia menghadapi cabaran besar dalam akses kepada pendidikan BIM, termasuk kekurangan sumber interaktif dan bahan pembelajaran yang statik (Hock, 2007). Kajian oleh Ghari (2016) menunjukkan bahawa halangan-halangan ini menyumbang kepada kesukaran akademik, pengasingan sosial, dan pengurangan peluang kerjaya.

Teknologi digital telah muncul sebagai penyelesaian penting dalam pembelajaran bahasa isyarat. Aplikasi mudah alih seperti Duolingo dan ASL Bloom telah membuktikan keberkesanan pendekatan interaktif dan gamifikasi dalam meningkatkan motivasi pengguna (Patel, 2023). Namun begitu, kebanyakan platform sedia ada (seperti MSL Translator dan Hand Talk) hanya terhad kepada terjemahan teks atau video 2D, yang gagal menyediakan visualisasi dinamik pergerakan tangan dari pelbagai sudut—satu aspek penting dalam menguasai nuansa BIM (Wang et al., 2024). Integrasi pemodelan 3D dan Realiti Terimbuh (AR) menawarkan potensi revolusioner dalam konteks ini. Menurut Emerline (2023), visualisasi 3D membolehkan pelajar memanipulasi objek maya, memahami pergerakan kompleks secara spatial, dan menerima maklum balas segera, sekaligus meningkatkan kadar pengekalan maklumat sebanyak 40% berbanding kaedah tradisional.

Pendekatan pembelajaran berasaskan mudah alih (mobile learning) pula menangani isu kebolehcapaian, terutamanya bagi pengguna di kawasan luar bandar. Kajian oleh Velu (2023) menekankan bahawa aplikasi yang boleh berfungsi secara luar talian dengan modul pembelajaran progresif (daripada asas ke lanjutan) serta penjejak kemajuan sendiri (seperti dalam ASL Bloom) dapat memupuk pembelajaran sendiri yang lebih inklusif. Selain itu, reka bentuk UI/UX yang intuitif merupakan prasyarat kejayaan; antaramuka yang menggunakan ikon yang jelas, navigasi yang mudah, dan pilihan tema (siang/malam) mampu meningkatkan keterlibatan pengguna merentas pelbagai peringkat umur (TriFace, 2023).

Walaupun teknologi sedia ada menunjukkan potensi, jurang utama masih wujud: tiada aplikasi BIM yang menyepadukan elemen 3D interaktif, AR, gamifikasi dan capaian luar talian dalam satu ekosistem holistik. Projek ini bertujuan untuk mengisi kekosongan tersebut dengan mengetengahkan BIM sebagai fokus utama, di samping menyokong inisiatif Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu (2007) berkaitan pendidikan inklusif untuk komuniti kurang upaya.

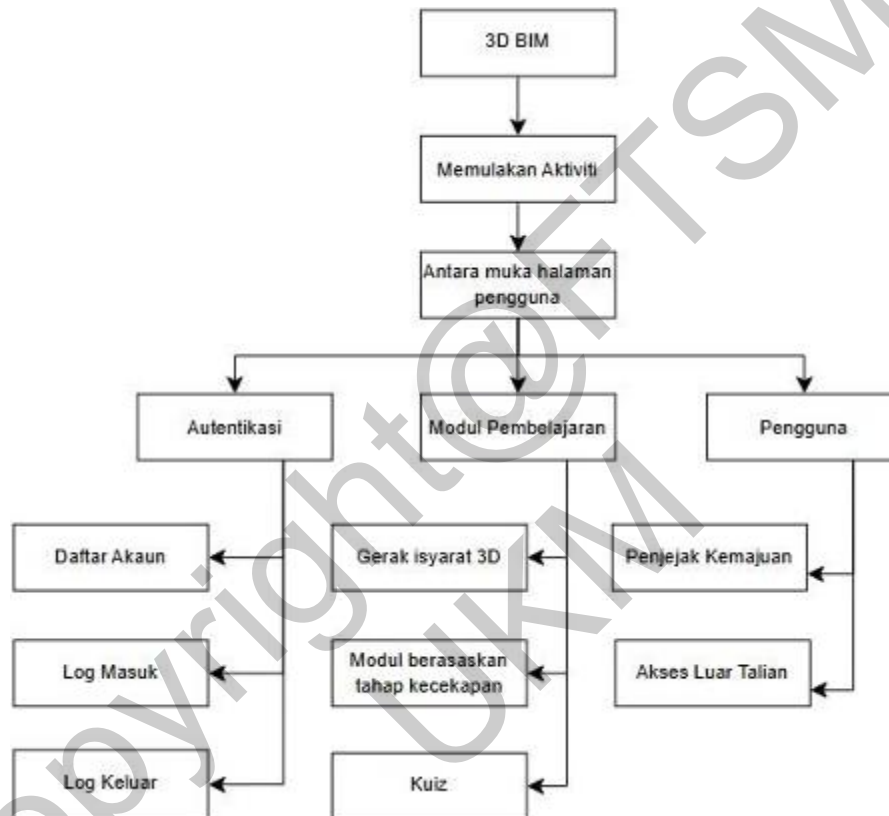
3.0 METADOLOGI

Kajian ini dimulakan dengan analisis keperluan pengguna yang terdiri daripada komuniti sasaran, iaitu individu Pekak yang ingin mempelajari Bahasa Isyarat Malaysia (BIM). Temu bual dan soal selidik dijalankan untuk mengenal pasti keutamaan pengguna, seperti keperluan visualisasi pergerakan tangan, akses mudah melalui peranti mudah alih, serta ciri-ciri seperti pembelajaran sendiri dan penjejak kemajuan. Dapatan ini menjadi asas kepada pembangunan fungsi dan modul aplikasi.

3.1 Reka Bentuk Seni Bina Sistem (Carta Hirarki Modul)

Reka bentuk seni bina sistem memainkan peranan penting dalam memastikan aplikasi dapat dibangunkan secara sistematik, modular, dan mudah diselenggara. Pendekatan seni bina yang digunakan dalam projek ini ialah Model-View-Controller (MVC), di mana setiap komponen aplikasi dipisahkan mengikut fungsi utama: antara muka pengguna (View), logik aplikasi (Controller), dan data (Model). Pemisahan ini membolehkan pembangunan dilakukan dengan lebih teratur, serta memudahkan proses ujian dan pengubahsuaian tanpa menjejaskan keseluruhan sistem.

Struktur aplikasi dibahagikan kepada beberapa modul utama yang masing-masing berperanan menyokong objektif pembelajaran Bahasa Isyarat Malaysia (BIM) secara interaktif. Modul-modul ini direka bentuk agar bersepadu tetapi berdikari (independent), membolehkan pengguna mengakses fungsi pembelajaran, kuiz, Augmented Reality (AR), serta penjejakan kemajuan dengan lancar. Selain itu, pemetaan modul ini membantu pembangun mengenal pasti aliran interaksi pengguna dengan sistem dan menyesuaikan keutamaan fungsi mengikut keperluan pengguna sasaran. Carta hirarki modul ditunjukkan seperti berikut.

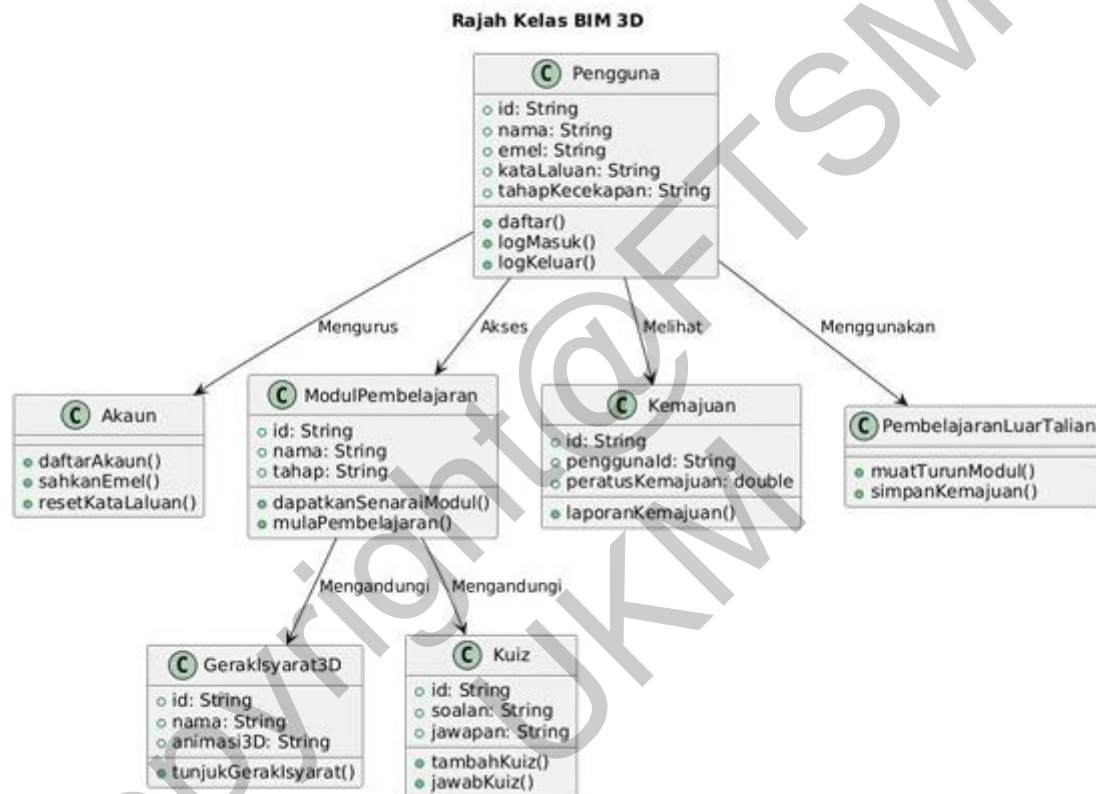


Rajah 1: Carta Hirarki Modul

3.2 Reka Bentuk Pangkalan Data

Reka bentuk pangkalan data merupakan komponen penting dalam memastikan aplikasi dapat menyimpan, mengurus, dan memproses data pengguna serta kandungan pembelajaran dengan cekap. Bagi aplikasi ini, Firebase Firestore dipilih sebagai pangkalan data utama kerana ia menawarkan penyimpanan berasaskan awan, kemas kini masa nyata (real-time updates), dan integrasi mudah dengan sistem pengesahan Firebase Authentication. Ciri-ciri ini amat sesuai dengan keperluan aplikasi mudah alih moden yang menekankan kebolehcapaian, kelajuan, dan penyelarasan data merentas peranti.

Struktur pangkalan data direka secara hierarki dalam bentuk koleksi dan dokumen, yang membolehkan skala pembesaran yang fleksibel mengikut pertambahan pengguna dan kandungan. Data pengguna, kemajuan pembelajaran, modul kuiz, dan kandungan isyarat disusun dengan jelas untuk mengelakkan konflik data serta memudahkan proses CRUD (Create, Read, Update, Delete). Susun atur ini juga menyokong pembangunan ciri-ciri seperti penjejakan kemajuan peribadi dan pengurusan kandungan berasaskan kursus. Berikut ialah struktur asas pangkalan data yang digunakan dalam projek ini:



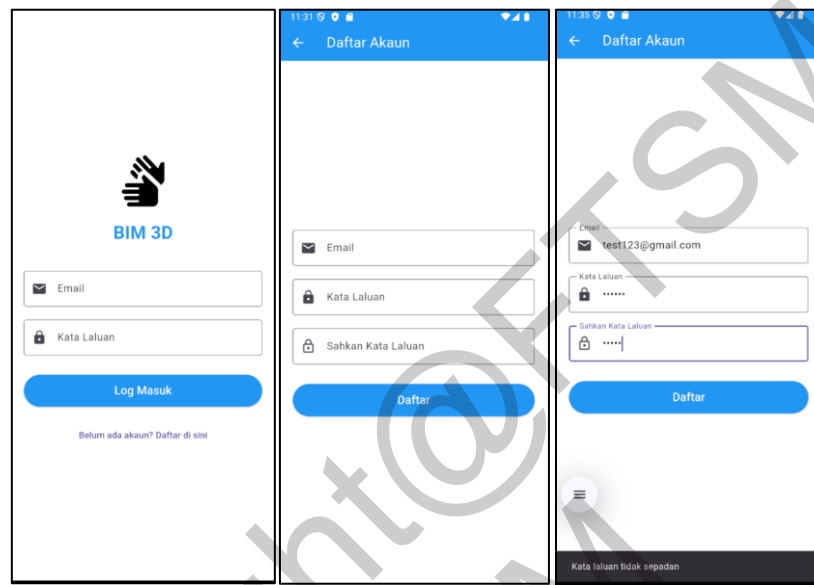
Rajah 2: Rajah Kelas BIM 3D

4.0 HASIL

4.1 Pembangunan Aplikasi

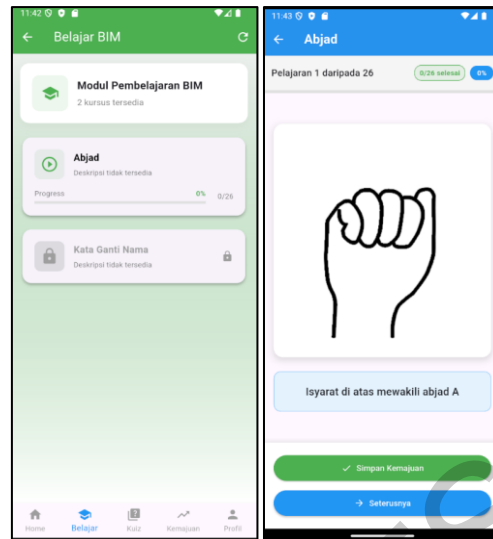
Proses pembangunan aplikasi ini dijalankan secara berfasa menggunakan pendekatan Model Agile yang menekankan fleksibiliti, iterasi berterusan, dan keperluan pengguna sebagai panduan utama pembangunan. Setiap modul dibangunkan dan diuji secara individu sebelum diintegrasikan ke dalam satu ekosistem aplikasi yang mantap. Penggunaan rangka kerja Flutter membolehkan pembangunan rentas platform yang pantas dan efisien, manakala Firebase digunakan untuk pengesahan pengguna, pengurusan data masa nyata, dan simpanan

awan. Pembangunan dimulakan dengan modul asas iaitu Pendaftaran dan Log Masuk, di mana antaramuka direka secara minimalis dan mesra pengguna untuk memudahkan proses pengesahan akaun melalui emel dan kata laluan. Teknologi Firebase Authentication digunakan bagi memastikan proses ini selamat dan boleh dipercayai. Maklum balas pengguna selepas percubaan log masuk atau pendaftaran diberikan melalui paparan mesej bersifat interaktif seperti Snackbar.



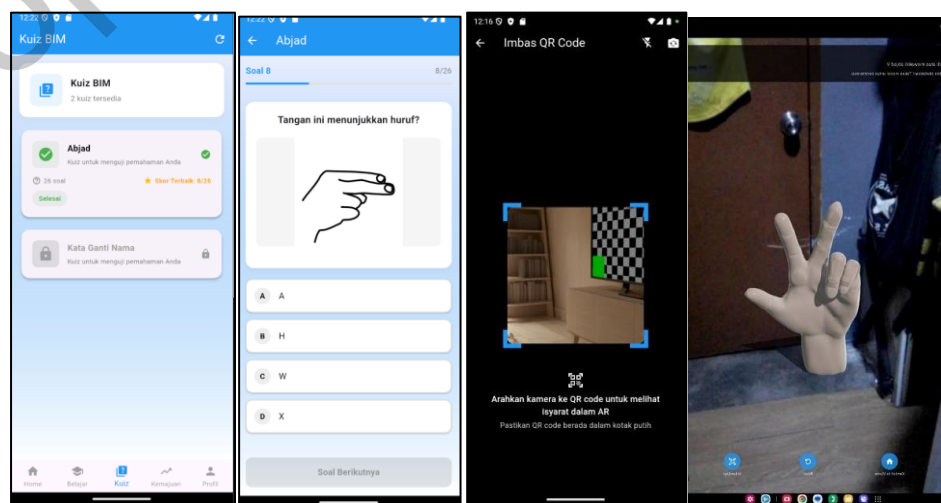
Rajah 3: Antaramuka daftar dan log masuk

Seterusnya, pembangunan diteruskan dengan Modul Pembelajaran yang membolehkan pengguna mengakses kandungan berdasarkan tahap – sama ada pemula atau lanjutan. Kandungan ini ditarik terus daripada Firebase Firestore dan disusun mengikut kursus. Akses kepada modul lanjutan dikawal melalui logik bersyarat bergantung kepada pencapaian pengguna. Modul Pembelajaran Visual pula menampilkan isyarat BIM dalam bentuk imej serta penerangan yang ringkas dan mudah difahami. Kemajuan pengguna disimpan secara automatik di dalam pangkalan data, dan pelajaran seterusnya akan terbuka secara automatik sebaik sahaja pengguna menyelesaikan pelajaran semasa. Fungsi ini membolehkan pembelajaran berlaku secara progresif dan berstruktur, sekaligus meningkatkan motivasi pengguna.



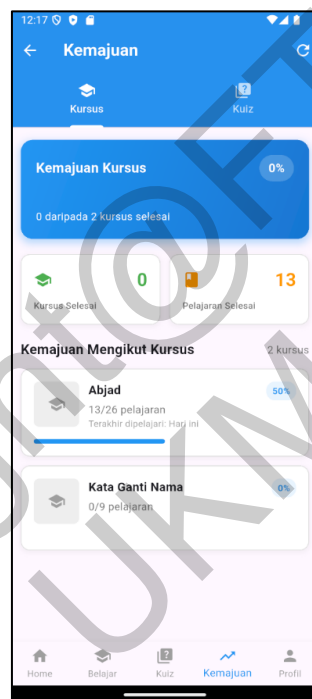
Rajah 4: Antaramuka modul pembelajaran

Modul Kuiz dibangunkan untuk menguji kefahaman pengguna selepas menyelesaikan modul pembelajaran. Kuiz ini hanya boleh diakses sekiranya pengguna telah menyelesaikan pelajaran yang berkaitan. Skor terbaik pengguna direkodkan ke dalam Firestore, dan hanya skor tertinggi akan dikekalkan untuk memotivasikan pengguna memperbaiki prestasi mereka. Modul Augmented Reality (AR) pula berfungsi apabila pengguna mengimbas kod QR menggunakan pengimbas terbina dalam aplikasi. Selepas pengesanan berjaya, model 3D yang disimpan di GitHub akan dimuatkan dan dipaparkan dalam persekitaran sebenar melalui pemalam `ar_flutter_plugin`. Pengguna boleh berinteraksi dengan model 3D seperti memutarnya dan mengezum untuk melihat dengan lebih jelas. Ciri ini membantu pengguna memahami bentuk dan pergerakan isyarat secara lebih mendalam dan visual.



Rajah 5: Antaramuka modul Kuiz dan QR/AR

Penjejak Kemajuan merupakan modul yang membolehkan pengguna melihat pencapaian mereka sepanjang proses pembelajaran. Semua kemajuan kursus dan keputusan kuiz disimpan di bawah koleksi `user_progress` dalam Firestore, dan maklumat ini dipaparkan dalam bentuk visual seperti carta dan graf untuk membantu pengguna menilai prestasi sendiri. Statistik seperti peratusan pelajaran selesai dan skor kuiz tertinggi dipaparkan secara langsung dalam antaramuka aplikasi. Sepanjang proses pembangunan, penekanan turut diberikan kepada aspek antaramuka pengguna (UI/UX) yang mesra pengguna, termasuk navigasi intuitif, ikon yang jelas, susun atur yang responsif serta pemilihan warna dan saiz teks yang sesuai untuk pelbagai peringkat umur.



Rajah 6: Antaramuka penjejak kemajuan

Keseluruhannya, setiap modul dalam aplikasi ini dibangunkan secara bersepadu untuk menyokong objektif utama iaitu menyediakan platform pembelajaran Bahasa Isyarat Malaysia yang efektif, inklusif dan menarik. Proses pembangunan ini membuktikan bahawa teknologi moden seperti Flutter, Firebase dan Realiti Terimbuh boleh dimanfaatkan untuk memperkasakan akses kepada pendidikan dalam komuniti kurang upaya secara menyeluruh.

4.2 Penilaian Aplikasi

Bab ini menghuraikan proses penilaian terhadap aplikasi BIM 3D dari dua aspek utama, iaitu pengujian fungsian dan pengujian kebolehgunaan. Penilaian ini penting untuk memastikan aplikasi bukan sahaja berfungsi dengan stabil dan konsisten dari segi teknikal, tetapi juga dapat memberikan pengalaman pengguna yang baik dan mudah difahami. Dalam konteks pembangunan sistem pendidikan digital, kesesuaian operasi dan keberkesanan antaramuka adalah dua elemen kritikal yang menentukan penerimaan dan keberkesanan penggunaan dalam kalangan pengguna sasaran. Oleh itu, kedua-dua jenis pengujian ini telah dijalankan secara sistematik bagi menilai keberkesanan aplikasi secara menyeluruh.

1. Pengujian Fungsian

Pengujian fungsian telah dijalankan menggunakan pendekatan kotak hitam, di mana setiap fungsi diuji berdasarkan input dan output tanpa melihat struktur dalaman kod. Sebanyak 18 kes uji telah direka bentuk berdasarkan senario penggunaan sebenar, meliputi tujuh fungsi utama yang terdiri daripada proses pendaftaran akaun, log masuk, paparan gerak isyarat 3D, pembelajaran visual, kuiz interaktif, penjejak kemajuan, dan log keluar. Proses pengujian dilakukan secara manual menggunakan peranti fizikal, manakala Firebase Debug Console digunakan untuk memantau data dan tindak balas sistem secara langsung semasa ujian dijalankan.

Hasil pengujian menunjukkan bahawa kesemua kes uji telah berjaya diselesaikan dengan status lulus sepenuhnya, tanpa sebarang ralat kritikal. Tiada insiden seperti keruntuhan aplikasi (crash), kelewatan paparan melebihi dua saat, atau kegagalan pemuatan data yang dikesan. Sistem juga menunjukkan tindak balas konsisten walaupun ketika diuji menggunakan rangkaian 3G, dan data kemajuan pengguna kekal tersimpan dalam pangkalan data Firebase walaupun selepas peranti dimatikan dan dihidupkan semula. Penemuan ini membuktikan bahawa aplikasi dapat beroperasi dengan stabil dalam pelbagai keadaan rangkaian dan persekitaran penggunaan.

Jadual 1: Laporan Log Pengujian Aplikasi BIM 3D

ID Prosedur Pengujian	Alatan	ID Kes Pengujian	Keputusan Pengujian
P01	Manual	KP-UC01-001	Lulus
P02	Manual	KP-UC01-002	Lulus
P03	Manual	KP-UC01-003	Lulus
P04	Manual	KP-UC01-004	Lulus
P05	Manual	KP-UC02-001	Lulus
P06	Manual	KP-UC02-002	Lulus
P07	Manual	KP-UC02-003	Lulus
P08	Manual	KP-UC03-001	Lulus
P09	Manual	KP-UC03-002	Lulus
P10	Manual	KP-UC03-003	Lulus
P11	Manual	KP-UC04-001	Lulus
P12	Manual	KP-UC04-002	Lulus
P13	Manual	KP-UC05-001	Lulus
P14	Manual	KP-UC05-002	Lulus
P15	Manual	KP-UC06-001	Lulus
P16	Manual	KP-UC06-002	Lulus
P17	Manual	KP-UC07-001	Lulus
P18	Manual	KP-UC07-002	Lulus

2. Pengujian Kebolehgunaan

Pengujian kebolehgunaan telah dijalankan bagi menilai tahap kepuasan pengguna terhadap reka bentuk, interaksi, dan kefungsiian antara muka aplikasi. Seramai 20 responden telah dipilih untuk pengujian ini, tidak mengira latar belakang. Penilaian dilaksanakan menggunakan instrumen System Usability Scale (SUS), satu standard industri yang kerap digunakan untuk menilai pengalaman pengguna dalam aplikasi perisian. Skor dikira berdasarkan rumus $[(\text{Jumlah Skor} - 10) \times 2.5]$, dengan nilai maksimum sebanyak 100.

Daripada hasil pengiraan, purata skor SUS yang diperoleh adalah 85.5, yang dikelaskan dalam kategori “cemerlang” (Grade A). Ini menunjukkan bahawa aplikasi ini sangat mudah digunakan, difahami dan disukai oleh majoriti responden. Pecahan skor menunjukkan bahawa 40% responden memberi markah dalam julat 90–100, manakala 50% dalam julat 80–89 dan hanya 10% dalam julat 70–79. Pernyataan seperti “Saya rasa aplikasi ini mudah digunakan” dan “Saya fikir kebanyakan orang akan cepat belajar menggunakannya” masing-masing menerima skor purata tinggi iaitu 4.6 dan 4.7, menunjukkan penerimaan positif terhadap keseluruhan pengalaman pengguna. Sebaliknya, kenyataan negatif seperti “Saya rasa saya perlukan bantuan teknikal” mendapat purata skor

rendah (1.8), menunjukkan aplikasi ini berjaya menyampaikan fungsi secara intuitif tanpa membebankan pengguna.

Maklum Balas & Cadangan

Apakah cadangan penambahbaikan anda terhadap fungsi aplikasi ini?
22 responses

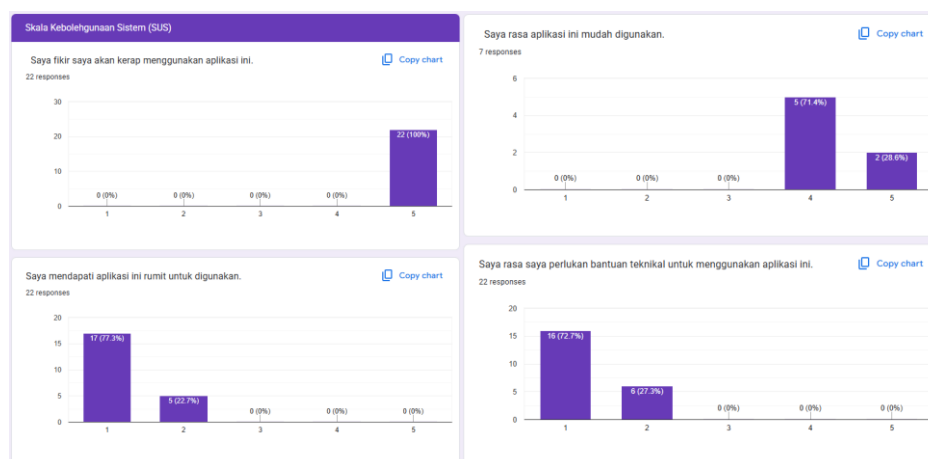
- Saya cadangkan butang lebih besar.
- Susun atur mudah difahami
- susun atur mudah difahami
- tutorial atau panduan interaktif dalam aplikasi

Apakah cadangan anda terhadap reka bentuk antaramuka aplikasi?
22 responses

- menggunakan warna yang terang
- lebih mesra pengguna
- menggunakan Bahasa Inggeris
- butang yang lebih besar
- fungsi carian lebih mesra pengguna untuk modul

Rajah 7: Maklum Balas Pengguna

Aspek antara muka pengguna turut dianalisis berdasarkan maklum balas soal selidik. Tiga komponen utama iaitu navigasi, keterbacaan teks, dan kejelasan ikon atau butang menerima kadar kepuasan 100%, yang menandakan bahawa reka bentuk UI berjaya memenuhi jangkaan pengguna pelbagai latar belakang. Walau bagaimanapun, terdapat dua aspek yang dikenal pasti mempunyai ruang untuk penambahbaikan. Daya tarikan visual hanya mencatatkan kepuasan sebanyak 72.7%, manakala fungsi Augmented Reality (AR) menerima 68.2%. Cadangan responden termasuk penyediaan tutorial langkah demi langkah untuk penggunaan ciri AR, kerana sesetengah pengguna menyatakan kekeliruan semasa cuba meletakkan model 3D dalam ruang sebenar. Selain itu, terdapat permintaan untuk fungsi carian dalam modul pembelajaran serta opsiyen untuk membesarkan saiz teks bagi pengguna rabun.



Rajah 8: Maklum Balas Pengguna

5. KESIMPULAN

Pembangunan Aplikasi Pembelajaran 3D Bahasa Isyarat Malaysia (BIM) telah berjaya direalisasikan sebagai sebuah platform interaktif yang memanfaatkan teknologi moden seperti Flutter, Firebase, dan Realiti Terimbuh (AR) untuk menyokong proses pembelajaran bahasa isyarat dalam kalangan komuniti Pekak di Malaysia. Projek ini direka bentuk berdasarkan keperluan sebenar pengguna sasaran, dengan objektif utama untuk menyediakan pendekatan pembelajaran visual yang lebih berkesan, mudah diakses, dan menyeronokkan. Penggunaan model 3D interaktif membolehkan pengguna melihat gerakan tangan dari pelbagai sudut, sekaligus meningkatkan kefahaman dan penguasaan terhadap isyarat BIM.

Dari aspek pembangunan, pendekatan Model Agile membolehkan proses yang fleksibel dan iteratif, di mana setiap modul dibina dan diuji secara berperingkat. Antara modul yang berjaya dibangunkan termasuk Pendaftaran dan Log Masuk, Pembelajaran Visual, Kuiz Interaktif, Paparan AR melalui pengimbasan kod QR, serta Penjejak Kemajuan. Semua kandungan dan data pengguna dikendalikan melalui Firebase Firestore dan Firebase Authentication, manakala model 3D dihoskan melalui GitHub dan imej statik menggunakan Cloudinary.

Hasil pengujian fungsian membuktikan bahawa aplikasi beroperasi dengan stabil dan bebas daripada sebarang ralat kritikal, manakala pengujian kebolehgunaan melalui instrumen System Usability Scale (SUS) menunjukkan skor purata sebanyak 85.5, yang dikategorikan sebagai “cemerlang”. Maklum balas responden turut mengesahkan bahawa reka bentuk antara muka adalah intuitif, mudah digunakan, serta mesra pengguna daripada pelbagai latar belakang. Walaupun terdapat beberapa cadangan penambahbaikan seperti penambahan tutorial untuk fungsi AR dan pilihan saiz teks, keseluruhannya aplikasi telah memenuhi objektif asal pembangunan.

Sebagai kesimpulan, projek ini telah membuktikan bahawa gabungan teknologi 3D, AR, dan pembelajaran mudah alih dapat memberikan impak yang signifikan dalam memperkasakan pendidikan inklusif untuk komuniti Pekak. Aplikasi ini bukan sahaja berfungsi sebagai alat bantu pembelajaran, tetapi juga sebagai medium untuk merapatkan jurang komunikasi antara komuniti Pekak dan masyarakat umum. Dengan penambahbaikan berterusan dan potensi peluasan fungsi di masa hadapan, aplikasi ini diharap mampu memberi sumbangan berpanjangan terhadap pembangunan pendidikan khas di Malaysia.

6. RUJUKAN

Andrews, J. F., Leigh, I. W., & Weiner, M. I. (2004). *Deaf people: Evolving perspectives from psychology, education, and sociology*. John Wiley & Sons.

ASL Bloom. (2024, October 3). *ASL vs. BSL - Differences and similarities*.
<https://www.aslbloom.com/blog/asl-vs-bsl>

Dhiya'uddin, S. (2012). *Malaysian Sign Language flash card mobile application* [Unpublished final year project]. Universiti Teknologi PETRONAS.

Emerline. (2022, March 15). *Transforming education with 3D models in eLearning*.
<https://emerline.com/blog/3d-models-in-elearning>

Ghari, Z. (2016). The cognitive, psychological and cultural impact of communication barrier on deaf adults' content of speech in Iran. *Journal of Deaf Studies and Hearing Aids*, 4(3), 375–4427.

Hock, O. S. (2007). *A review on the teaching and learning resources for the Deaf community in Malaysia*.

Humphries, T., Kushalnagar, P., Mathur, G., Napoli, D. J., Padden, C., Rathmann, C., & Smith, S. (2016). Avoiding linguistic neglect of deaf children. *Social Service Review*, 90(4), 589–619. <https://doi.org/10.1086/689543>

KurniaRahman, F. (2024). Bahasa isyarat: Mengakui pentingnya komunikasi inklusif. *Kompasiana*. <https://www.kompasiana.com/frizka62986/67624ce8ed6415235a5e9518>

Mangaroliya, K., & Patel, H. (2020). Classification of reverse-engineered class diagram and forward-engineered class diagram using machine learning. *arXiv*.
<https://arxiv.org/abs/2005.11927>

Necula, S. (2024). Exploring the Model-View-Controller (MVC) architecture: A broad analysis of market and technological applications. *Preprints*.
<https://doi.org/10.20944/preprints202404.1860.v1>

Patel, L. (2023, November 27). The impact of mobile apps in education: Learning on the go. *Forbes*. <https://www.forbes.com/councils/forbesbusinessdevelopmentcouncil/2023/11/27/the-impact-of-mobile-apps-in-education-learning-on-the-go/>

Peter, L. J. (2023, December 29). Raising awareness for the Deaf community in the country. *Bernama*. <https://www.bernama.com/en/thoughts/news.php?id=2251189>

Pertubuhan Bangsa-Bangsa Bersatu. (2007). *Konvensyen tentang hak orang kurang upaya*.
https://www.kpwkm.gov.my/kpwkm/uploads/files/Penerbitan/instrument_antarabangsa/Konvensyen%20Tentang%20Hak%20Orang%20Kurang%20Upaya.pdf

Pohan, D. D., & Fitria, U. S. (2021). Jenis-jenis komunikasi. *Cybernetics: Journal of Educational Research and Social Studies*, 2(3), 1.

<https://pusdikrapublishing.com/index.php/jrss/article/view/158/132>

TriFace International. (2023, January 10). The role of 3D animation in virtual reality (VR) and augmented reality (AR). <https://www.trifaceinternational.com/blog/role-of-3d-animation-in-virtualreality-and-augmented-reality>

Velu, D. K. (2023, October). Integrating AI and machine learning in mobile applications. *ACL Digital*. <https://www.acldigital.com/blogs/integrating-ai-and-machine-learning-mobileapplications>

Wang, J., Ivrisimtzis, I., Li, Z., & Shi, L. (2024). Comparative efficacy of 2D and 3D virtual reality games in American Sign Language learning. <https://doi.org/10.1109/vrw62533.2024.00234>

Wardhana, D. R. N. (2024, October 3). Sejarah bahasa isyarat, awal mula di Indonesia untuk disabilitas. *Good News from Indonesia*. <https://www.goodnewsfromindonesia.id/2024/10/03/sejarah-bahasa-isyaratawal-mula-di-indonesia-untuk-keberagaman-disabilitas>

Muhammad Hazim Shah Arman (A193597)

Dr. Zaihosnita Hood

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat

Universiti Kebangsaan Malaysia