

MENGEMBARA ALAM: APLIKASI AUGMENTASI REALITI KESEDARAN PEMANASAN GLOBAL UNTUK KANAK-KANAK AUTISM

NUR SYAFIQAH BINTI SHAHROM
ZAINAL RASYID BIN MAHAYUDDIN

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

ABSTRAK

Di tengah era teknologi yang pesat, inovasi kini membawa kita melangkaui pengalaman dua dimensi ke dalam dunia Augmentasi Realiti (AR) yang penuh keasyikan. Teknologi AR membuka peluang yang tiada batas untuk mendidik dan menginspirasi generasi muda dengan pendekatan yang lebih dinamik dan interaktif. Melalui projek *Mengembara Alam: Aplikasi AR Kesedaran Pemanasan Global untuk Kanak-Kanak Autism*, kami memperkenalkan aplikasi interaktif yang dicipta khas untuk kanak-kanak autism terutamanya kanak-kanak yang mempunyai masalah Autism Spectrum Disorder (ASD). Aplikasi ini berfungsi sebagai jendela kepada alam sekitar yang terancam, membimbing kanak-kanak autism melalui pengalaman visual dan audio yang mengisahkan impak pemanasan global terhadap kehidupan manusia, haiwan, dan ekosistem. Aplikasi ini direka untuk membolehkan kanak-kanak autism meneroka, memahami, dan menghargai kesan perubahan iklim secara mendalam, melalui animasi dan imej 3D yang membangkitkan minat dan perhatian. Menggunakan model ADDIE serta dikuasakan oleh perisian Unity, projek ini menggabungkan hiburan dengan pendidikan dalam satu platform yang serasi dengan keperluan khas. Hasil projek ini menunjukkan kejayaan membangunkan aplikasi AR yang mengandungi 3 modul pembelajaran interaktif dengan visualisasi 3D serta paparan video tentang kesan pemanasan global. Ujian kebolegunaan dengan 5 kanak-kanak autism menunjukkan penerimaan tinggi dan penglibatan aktif sepanjang sesi pembelajaran. *Mengembara Alam* bukan sekadar aplikasi, ia adalah pengalaman pembelajaran yang membawa kanak-kanak autism melintasi batasan fizikal dan membawa mereka bersemuka dengan realiti alam yang kita semua bertanggungjawab untuk pelihara. Dengan pangkalan data yang berkembang dan visualisasi yang mengasyikkan, aplikasi ini menjadi jambatan yang menyemai rasa cinta kepada alam sekitar dan memberi kesedaran yang mendalam tentang pentingnya melindungi bumi, satu langkah pada satu masa.

PENGENALAN

Di era globalisasi dan teknologi yang pesat, isu pemanasan global telah menjadi salah satu cabaran paling mendesak yang dihadapi oleh masyarakat hari ini. Walau bagaimanapun, kanak-

kanak autism terutamanya yang mempunyai masalah Autism Spectrum Disorder (ASD) sering kali mengalami kesukaran dalam memahami dan menyerap maklumat mengenai isu-isu kompleks ini. Kanak-kanak autism cenderung menghadapi cabaran dalam memproses konsep abstrak seperti pemanasan global dan kesannya terhadap alam sekitar kerana sifat pemikiran mereka yang lebih konkrit dan literal. Mereka juga memerlukan pendekatan pembelajaran yang berstruktur, visual, dan berulang untuk memahami sesuatu konsep dengan berkesan. Untuk mengatasi masalah ini, pembangunan aplikasi berkonsepkan augmentasi realiti (AR) muncul sebagai langkah yang efektif. Mengembara Alam: Aplikasi AR Kesedaran Pemanasan Global untuk Kanak-Kanak Autism direka khusus untuk menangani cabaran pembelajaran ini dengan menyediakan pengalaman visual dan interaktif yang sesuai dengan keperluan khas kanak-kanak autism.

Mengembara Alam adalah aplikasi yang memanfaatkan teknologi AR untuk menawarkan pengalaman pembelajaran pemanasan global yang lebih menarik kepada kanak-kanak autism. Dengan menggunakan aplikasi ini, kanak-kanak dapat menjelajahi dunia alam sekitar dan memahami isu pemanasan global melalui peranti mudah alih mereka. Aplikasi ini bukan sekadar memaparkan maklumat visual mengenai isu-isu alam sekitar, tetapi juga menyediakan naratif audio yang mendalam serta aktiviti interaktif untuk mengukur tahap pemahaman pengguna tentang kesedaran alam sekitar.

Aplikasi ini menyasarkan kanak-kanak berusia 5-8 tahun yang mempunyai Autism Spectrum Disorder (ASD), oleh itu, ia direka dengan teliti untuk memenuhi minat, keupayaan kognitif, dan keperluan pendidikan bagi kumpulan usia ini. Dengan menggunakan Bahasa Melayu sebagai medium utama, aplikasi ini memastikan kebolehcapaian dan kefahaman dalam penggunaannya. Selain itu, aplikasi ini menggunakan platform Android untuk memastikan aksesibiliti yang luas dan kemudahan penggunaan bagi pelbagai pengguna. Peranti yang dilengkapi dengan keupayaan AR memberikan pengalaman yang lebih realistik, membolehkan kanak-kanak untuk memahami dan menghayati nilai-nilai alam sekitar dengan lebih baik.

Teknologi AR dalam aplikasi ini menggunakan Augmentasi Realiti Berasaskan Penanda (Marker-Based Augmented Reality) dengan memanfaatkan Vuforia SDK sebagai platform pembangunan utama. Vuforia SDK menyediakan kemampuan pengesanan dan penjejakan penanda yang canggih, membolehkan penanda fizikal digunakan sebagai titik rujukan untuk menempatkan objek maya ke dalam dunia nyata. Apabila kamera peranti mengesan penanda tersebut, Vuforia SDK akan memproses data visual dan menampilkan objek tiga dimensi, animasi, atau maklumat tambahan pada skrin peranti, seolah-olah objek tersebut berada di atas atau sekitar penanda itu. Ini memberikan pengalaman interaktif yang mendalam dan stabil, membolehkan kanak-kanak berinteraksi dengan maklumat dalam masa nyata dan menggalakkan pemahaman yang lebih mendalam mengenai isu-isu alam sekitar.

Mengembara Alam juga menggabungkan elemen-elemen permainan untuk menarik minat kanak-kanak. Aplikasi ini menyertakan aktiviti interaktif yang menyediakan pengalaman tentang isu-isu alam sekitar yang mereka pelajari. Ini bukan sahaja membantu memperkuat

pengetahuan mereka tetapi juga menjadikan pembelajaran lebih menyenangkan. Naratif audio yang disertakan juga membantu mereka mendapat gambaran lebih baik, memandangkan cerita-cerita yang disampaikan dalam bentuk audio sering kali lebih menarik dan mudah difahami oleh kanak-kanak autisme.

Aplikasi ini juga memaparkan maklumat terperinci tentang setiap isu alam sekitar melalui modul interaktif yang inovatif. Selepas memilih modul, kanak-kanak akan memasuki pengalaman pembelajaran interaktif yang menggunakan buku cerita fizikal sebagai penanda AR. Melalui aktiviti imbasan (scanning) ke atas buku cerita tersebut, kanak-kanak dapat mengakses kandungan interaktif yang direka khusus untuk memahamkan mereka konsep pemanasan global dan cara mengatasinya. Setiap modul dilengkapi dengan elemen mini gamifikasi dan sistem ganjaran yang berbeza mengikut jenis modul yang dipilih. Visual yang menarik dan interaktif ini menjadikan pembelajaran lebih hidup dan menarik perhatian kanak-kanak, meningkatkan keberkesanan aplikasi dalam mengajar isu-isu alam sekitar.

Augmentasi Realiti dalam Mengembara Alam membolehkan kanak-kanak melihat model 3D isu-isu alam sekitar dari pelbagai sudut, memberikan pengalaman seolah-olah mereka berada dalam situasi sebenar berkaitan pemanasan global. Ini bukan sahaja meningkatkan kefahaman mereka tentang konsep dan kesan pemanasan global, tetapi juga membangkitkan minat mereka terhadap isu persekitaran. Dengan menggabungkan teknologi canggih dengan pendekatan pendidikan yang interaktif, Mengembara Alam menawarkan alat pembelajaran yang unik dan inovatif.

Kesimpulannya, Mengembara Alam adalah inovasi yang penting dalam pembelajaran kesedaran pemanasan global untuk kanak-kanak autisme. Dengan menggunakan teknologi AR, aplikasi ini menawarkan pendekatan yang dinamik dan interaktif, membangkitkan minat yang baharu terhadap isu-isu alam sekitar. Pembangunan aplikasi ini bukan sahaja membantu mengatasi cabaran pembelajaran berkaitan pemanasan global dalam kalangan kanak-kanak autisme tetapi juga memanfaatkan teknologi moden untuk memupuk kesedaran alam sekitar sejak usia awal. Melalui pengalaman pembelajaran yang sesuai dengan keperluan khas mereka, aplikasi ini berpotensi membentuk generasi muda yang lebih prihatin terhadap isu persekitaran dan bertanggungjawab dalam memelihara bumi untuk masa depan.

METODOLOGI KAJIAN

Metodologi yang digunakan dalam pembangunan projek *Mengembara Alam* adalah berasaskan model ADDIE. ADDIE merupakan suatu kaedah berstruktur yang sering digunakan dalam bidang reka bentuk pengajaran dan pembangunan projek pendidikan. Model ini menyediakan pendekatan yang sistematik dan berperingkat bagi membantu dalam proses perancangan, pembangunan, pelaksanaan dan penilaian. Ia membolehkan proses yang lebih teratur dan teliti untuk memastikan objektif projek tercapai dengan berkesan. Model ADDIE menekankan kepentingan penilaian berterusan dan penambahbaikan bagi memastikan produk akhir benar-benar menepati keperluan pengguna dan objektif pembelajaran. Dalam

projek *Mengembara Alam*, model ini digunakan untuk menghasilkan sebuah aplikasi AR yang interaktif dan mesra kanak-kanak, khususnya yang berada dalam spektrum autism, untuk memahami isu pemanasan global. Model ini merangkumi lima fasa utama seperti berikut:

Fasa Analisis

Fasa ini memfokuskan kepada pengumpulan maklumat awal mengenai keperluan projek dan pengguna sasaran. Untuk *Mengembara Alam*, ia melibatkan pemahaman mendalam terhadap cabaran yang dihadapi oleh kanak-kanak autism dalam memahami isu pemanasan global. Data dikumpul melalui kajian literatur, temu bual dengan pendidik dan pakar pendidikan khas, serta soal selidik kepada ibu bapa. Hasil analisis ini membantu mengenal pasti jurang pengetahuan dan kemahiran yang perlu diisi serta membentuk asas kukuh bagi reka bentuk kandungan dan interaksi aplikasi.

Fasa Reka Bentuk

Dalam fasa reka bentuk, struktur dan kandungan aplikasi dirancang berdasarkan hasil analisis. Modul pembelajaran dirancang supaya bersesuaian dengan keupayaan kognitif kanak-kanak autism. Teknik seperti papan cerita, lakaran skrin, dan prototaip awal digunakan untuk mereka bentuk antara muka pengguna (UI) dan susun atur interaktif AR. Reka bentuk memastikan aplikasi mudah diakses, visual yang jelas, serta aktiviti yang menyeronokkan. Perancangan juga merangkumi strategi penilaian formatif untuk menguji kefahaman pengguna semasa penggunaan.

Fasa Pembangunan

Fasa ini melibatkan pembangunan sebenar aplikasi *Mengembara Alam*. Komponen seperti teks naratif, grafik mesra kanak-kanak, elemen audio, animasi dan elemen realiti terimbu (AR) dibangunkan dan disatukan dalam persekitaran Unity dan Vuforia. Semua elemen ini digabungkan untuk membentuk satu pengalaman pembelajaran yang menarik dan imersif. Pengujian dalaman awal dijalankan untuk mengenal pasti dan membetulkan sebarang isu teknikal sebelum pelaksanaan kepada pengguna sasaran.

Fasa Pelaksanaan

Pada peringkat ini, aplikasi yang telah dibangunkan diperkenalkan kepada pengguna sasaran, iaitu kanak-kanak autism, melalui sesi ujian lapangan bersama pendidik. Latihan ringkas kepada guru dan penjaga disediakan bagi memastikan mereka dapat membimbing anak-anak dalam menggunakan aplikasi. Pelaksanaan melibatkan demonstrasi aplikasi, percubaan langsung oleh kanak-kanak, serta pengumpulan maklum balas mengenai keberkesanan, kemudahan penggunaan, dan tahap keseronokan aktiviti yang disediakan.

Fasa Pengujian

Fasa terakhir ini memberi fokus kepada penilaian menyeluruh terhadap aplikasi *Mengembara Alam*. Bagi memastikan aplikasi *Mengembara Alam* berfungsi dengan lancar serta memberikan pengalaman pembelajaran yang mesra pengguna dan berkesan kepada kanak-kanak dalam spektrum autism, dua kaedah pengujian utama telah dilaksanakan iaitu Pengujian Kotak Hitam dan Pengujian Kebolehgunaan. Kedua-dua kaedah ini penting dalam memastikan fungsi aplikasi berjalan seperti yang dirancang dan mampu memenuhi keperluan pendidikan khas pengguna sasaran.

Pengujian Kotak Hitam digunakan untuk menilai keberfungsian aplikasi berdasarkan input dan output, tanpa melihat kepada kod dalaman sistem. Objektif utama pengujian ini adalah untuk memastikan setiap fungsi utama dalam aplikasi beroperasi dengan betul dan mengikut spesifikasi yang ditetapkan. Antara ciri yang diuji termasuk Akses Manual Pengguna, Akses Menu Utama dan Pemilihan Modul, Akses Sudut AR, Akses Permainan Interaktif, Akses Ganjaran AR, Kawalan Buka/Tutup Bunyi Latar, dan Notis Pengesahan Keluar Aplikasi. Untuk setiap ciri ini, senario ujian direka seperti menguji ketepatan pengecaman marker AR serta kemunculan model 3D pada skrin. Pengujian ini dilaksanakan dengan memberikan pelbagai input kepada sistem dan memerhatikan respons atau output yang dihasilkan bagi memastikan kelancaran dan ketepatan fungsi aplikasi dalam setiap modul yang terlibat.

Pengujian Kebolehgunaan pula menilai sejauh mana aplikasi ini mudah dan berkesan digunakan oleh pengguna sasaran. Tujuannya adalah untuk memastikan aplikasi *Mengembara Alam* benar-benar mesra pengguna dan sesuai dengan tahap perkembangan kognitif serta tingkah laku kanak-kanak autism. Dalam proses ini, lima orang kanak-kanak autism berusia antara 5 hingga 8 tahun telah dipilih untuk menjalani sesi penggunaan aplikasi dalam persekitaran terkawal. Sepanjang sesi tersebut, mereka dipantau oleh penjaga masing-masing, manakala pemerhati mencatat segala bentuk interaksi, reaksi, dan tahap kefahaman kanak-kanak terhadap kandungan aplikasi. Ujian ini juga melibatkan kutipan maklum balas secara langsung daripada pengguna dan penjaga, dengan tumpuan terhadap aspek seperti keterlibatan awal dan orientasi, Kemahiran motor dan navigasi, Kemahiran komunikasi dan Bahasa, kognisi dan pemahaman, kawalan emosi dan tingkah laku, interaksi sosial dan kerjasama, pembelajaran dan perkembangan serta kepekaan sensori dan adaptasi.

Data yang diterima daripada penilaian kebolehgunaan dianalisis melalui skor min yang diinterpretasi berdasarkan skala Likert empat mata yang diadaptasi daripada Mohd Asri et al. (2016). Jadual 1 menunjukkan Interpretasi Skala Skor Min.

Jadual 1 Interpretasi skor min

Skor Min	Interpretasi
1.00 – 1.50	Kurang kaitan

1.51 – 2.50	Rendah
2.51 – 3.50	Sederhana
3.51 – 4.00	Tinggi

Proses ini bukan sahaja memberikan gambaran menyeluruh tentang sejauh mana aplikasi ini memenuhi keperluan pengguna, tetapi juga membantu mengenal pasti kekurangan atau kekeliruan yang dihadapi semasa penggunaan. Berdasarkan analisis data yang diperoleh, penambahbaikan akan dibuat terhadap aplikasi, dan sekiranya perlu, ujian tambahan akan dijalankan untuk memastikan perubahan yang dilaksanakan benar-benar meningkatkan keberkesanan serta pengalaman pengguna dalam menggunakan *Mengembara Alam*.

KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Aplikasi pembelajaran dan kesedaran mengenai pemanasan global berasaskan Augmentasi Realiti ini telah berjaya dibangunkan dan setiap dokumen atau maklumat yang berkaitan juga sudah lengkap. Aplikasi ini dibina menggunakan enjin Vuforia dan Unity dengan bahasa pengaturcaraan C#. Vuforia digunakan untuk menyimpan gambar-gambar pada muka surat buku cerita yang terdapat pada aplikasi ini.

Apabila pengguna pertama kali membuka aplikasi Mengembara Alam, mereka akan disambut dengan Skrin Percikan (Splash Screen). Di halaman skrin percikan ini, terdapat butang fungsi seperti butang manual pengguna aplikasi, butang buka/ tutup audio dan butang keluar aplikasi. Kemudian, klik butang 'Start' pada skrin seperti di Rajah 1 yang menunjukkan antara muka Menu Utama untuk memilih modul pembelajaran yang mempunyai tiga modul kesemuanya iaitu Modul Pembakaran Hutan, Modul Pencairan Kutub Ais dan Modul Pencemaran Asap Kilang seperti Rajah 2 hingga Rajah 4.



Rajah 1 Antara Muka Menu Utama



Rajah 2 Modul Pembakaran Hutan



Rajah 3 Modul Pencairan Kutub Ais



Rajah 4 Modul Pencemaran Asap Kilang

Manual Pengguna kemudiannya ditekan dan memaparkan paparan arahan tentang cara menggunakan fungsi mengesan tanda AR yang ada pada buku cerita seperti di Rajah 5 dan 6.



Rajah 5 Antara Muka Manual Pengguna



Rajah 6 Antara Muka Manual Pengguna

Seperti yang ditunjukkan dalam Rajah 7, apabila memasuki satu modul contohnya modul Pembakaran Hutan, Kamera AR akan memaparkan model 3D serta paparan video yang dikesan melalui tanda pada muka surat di dalam buku cerita Mengembara Alam. Manakala butang untuk bermain gamifikasi kecil akan muncul jika mengesan dan menyentuh model 3D butang seperti di rajah di bawah.



Rajah 7 Antara Muka Modul Pembakaran Hutan

Halaman gamifikasi kecil ini dikaitkan dengan modul masing-masing yang terdapat di dalam Mengembara Alam dan dimaksudkan dengan cara yang pengguna boleh memahami abstrak solusi Pemanasan Global serta diikuti ganjaran yang relatif. Rajah 8 menunjukkan antara muka gamifikasi kecil dan Rajah 9 ganjaran daripada modul Pembakaran Hutan.



Rajah 8 Antara Muka Gamifikasi Modul Pembakaran Hutan



Rajah 9 Antara Muka Ganjaran

Pengguna boleh kembali ke menu utama untuk keluar dari aplikasi dengan menggunakan butang fungsi keluar aplikasi yang terdapat pada menu utama untuk pengalaman aplikasi yang kemas dan berstruktur seperti di rajah 10.



Rajah 10 Paparan Keluar Aplikasi

Pengujian Kebolehgunaan

Pengujian Kebolehgunaan ialah satu proses yang melibatkan pengujian akhir yang dilaksanakan oleh wakil pengguna dan pihak berkepentingan untuk memastikan aplikasi yang dibangunkan mampu menyediakan fungsi yang diperlukan sebelum ia dikeluarkan kepada umum. Tujuan pengujian kebolehgunaan adalah untuk menilai kebolehgunaan sistem, mengumpul data kuantitatif dan menilai kepuasan pengguna.

Jadual 2 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek keterlibatan awal dan orientasi, Aspek pertama ini dapat membantu untuk mengetahui tahap keminatan pengguna terhadap aplikasi sepanjang penggunaan. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan penglibatan responden berada di tahap tinggi.

Jadual 2 Skor Min Faktor Keterlibatan Awal dan Orientasi

Pemerhatian	Min
Menunjukkan minat terhadap aplikasi dengan segera	4.0
Menunjukkan keselesaan dengan antara muka aplikasi	3.8
Min Keseluruhan	3.9

Jadual 3 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek Kemahiran motor dan navigasi. Aspek kedua ini membantu untuk mengetahui tahap kemudahan pengguna menggunakan aplikasi. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan kemudahan kegunaan yang dilihat pada responden berada di tahap tinggi.

Jadual 3 Skor Min Kemahiran Motor dan Navigasi

Pemerhatian	Min
Dapat menggerakkan objek dengan lancar	4.0
Mampu navigasi antara skrin dengan mudah	3.8
Min Keseluruhan	3.9

Jadual 4 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek Kemahiran komunikasi dan Bahasa, Aspek ketiga yang diuji menggunakan aplikasi Mengembara Alam. kemahiran komunikasi dan bahasa dapat membantu untuk mengetahui sejauh mana pengguna memahami cara menggunakan aplikasi dan seberapa baik mereka dapat menerapkan pengetahuan yang diperoleh melalui aplikasi. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan kemahiran komunikasi dan bahasa bagi responden berada di tahap tinggi.

Jadual 4 Skor Min Kemahiran Komunikasi dan Bahasa

Pemerhatian	Min
Dapat mengikuti petunjuk visual dengan tepat	4.0
Menunjukkan tindak balas verbal yang sesuai	4.0
Min Keseluruhan	4.0

Jadual 5 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek kognisi dan pemahaman. Aspek keempat yang diuji ini membantu mengenal pasti tahap pemikiran, keupayaan membuat keputusan, serta kefahaman pengguna terhadap kandungan pembelajaran yang disampaikan melalui aplikasi. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan bagi aspek kognisi dan pemahaman responden adalah pada tahap tinggi, mencerminkan kebolehan pengguna memahami serta mengaplikasikan maklumat yang dipelajari.

Jadual 5 Skor Min Kognisi dan Pemahaman

Pemerhatian	Min
Memahami konsep asas alam sekitar dalam aplikasi	4.0
Menunjukkan pemahaman sebab-akibat dalam permainan	4.0
Mampu menyelesaikan masalah mudah dalam aplikasi	3.4
Min Keseluruhan	3.7

Jadual 6 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek kawalan emosi dan tingkah laku. Aspek kelima yang diuji ini memfokuskan kepada keupayaan pengguna untuk mengawal emosi, bertindak balas secara sesuai, serta menyesuaikan tingkah laku semasa berinteraksi dengan aplikasi. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan bagi aspek ini berada pada tahap sederhana, menunjukkan masih terdapat ruang untuk penambahbaikan dalam menyokong pengurusan emosi pengguna semasa bermain.

Jadual 6 Skor Min Kawalan Emosi dan Tingkah Laku

Pemerhatian	Min
Menunjukkan kesabaran semasa menggunakan aplikasi	3.4
Menunjukkan ekspresi emosi yang sesuai	3.4
Min Keseluruhan	3.4

Jadual 7 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek interaksi sosial dan kerjasama. Aspek keenam yang diuji ini menilai sejauh mana pengguna dapat berinteraksi, berkongsi maklumat, dan bekerjasama jika aktiviti dijalankan secara berpasangan atau berkumpul. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan bagi aspek ini adalah pada tahap sederhana, menandakan keperluan untuk meningkatkan elemen interaktif sosial dalam aplikasi agar dapat memupuk kemahiran kerjasama secara lebih berkesan.

Jadual 7 Skor Min Interaksi Sosial dan Kerjasama

Pemerhatian	Min
Dapat menerima bantuan daripada orang dewasa	3.4
Menunjukkan tingkah laku sosial yang sesuai	3.4
Min Keseluruhan	3.4

Jadual 8 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek pembelajaran dan perkembangan. Aspek ketujuh yang diuji ini menilai kesan aplikasi terhadap peningkatan pengetahuan serta perkembangan kemahiran pengguna melalui pendekatan pembelajaran berasaskan pengalaman. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan aspek ini berada pada tahap tinggi, menandakan aplikasi *Mengembara Alam* berjaya menyampaikan kandungan yang menyumbang kepada perkembangan pembelajaran pengguna.

Jadual 8 Skor Min Pembelajaran dan Perkembangan

Pemerhatian	Min
Menunjukkan kemajuan dalam pemahaman konsep	4.0
Menunjukkan minat untuk meneroka lebih lanjut	4.0
Min Keseluruhan	4.0

Jadual 9 menunjukkan skor min yang diterima daripada setiap item aspek kepekaan sensori dan adaptasi. Aspek kelapan yang diuji ini bertujuan untuk menilai sejauh mana aplikasi dapat memenuhi keperluan sensori pengguna, termasuk sensitiviti terhadap bunyi, visual dan interaksi sentuhan, serta keupayaan pengguna menyesuaikan diri dalam persekitaran maya. Jadual dibawah menunjukkan bahawa min keseluruhan aspek ini adalah pada tahap tinggi, membuktikan bahawa reka bentuk aplikasi sesuai dan responsif terhadap keperluan sensori kanak-kanak dalam spektrum autism.

Jadual 9 Skor Min Kepekaan Sensori dan Adaptasi

Pemerhatian	Min
Menunjukkan toleransi terhadap bunyi aplikasi	4.0
Dapat mengendalikan rangsangan visual yang berbeza	4.0
Min Keseluruhan	4.0

Berdasarkan analisis yang dibuat, dapat disimpulkan bahawa aplikasi ini adalah pada skala positif. Majoriti skor min soalan Skala Likert yang diterima dianggap tinggi kerana melebihi 3.51 dan hamper mencapai 4.00. Dapat juga disimpulkan bahawa objektif penilaian projek ini tercapai.

Cadangan Penambahbaikan

Bagi memperkukuh keberkesanan aplikasi *Mengembara Alam*, beberapa penambahbaikan boleh dilakukan berdasarkan aspek yang dinilai. Untuk Faktor Keterlibatan Awal dan Orientasi, reka bentuk antaramuka boleh dipertingkatkan dengan animasi pembukaan yang

lebih menarik serta panduan visual interaktif bagi membantu pengguna memahami fungsi aplikasi sejak awal. Bagi Kemahiran Motor dan Navigasi, susun atur butang boleh diperbesar dan dipermudahkan bagi memudahkan interaksi sentuhan kanak-kanak, terutamanya yang mempunyai cabaran motor halus. Dalam aspek Kognisi dan Pemahaman, penyampaian maklumat boleh dipelbagaikan melalui visual bergerak, suara pencerita, serta aktiviti berulang untuk mengukuhkan pemahaman konsep pemanasan global. Untuk Kawalan Emosi dan Tingkah Laku, boleh disertakan elemen sokongan emosi seperti suara menenangkan, watak mesra, serta ganjaran visual yang memberi pujian bagi menggalakkan tingkah laku positif. Seterusnya, bagi Interaksi Sosial dan Kerjasama, modul kolaboratif boleh dibangunkan di mana kanak-kanak dapat bermain atau belajar secara berpasangan dengan penjaga atau rakan bagi menggalakkan komunikasi dan kerjasama semasa menggunakan aplikasi.

KESIMPULAN

Secara keseluruhan, aplikasi ini berjaya dibangunkan berdasarkan data yang telah dikaji dan diperolehi, selaras dengan pencapaian objektif kajian serta keperluan yang telah ditetapkan. Meskipun berdepan dengan beberapa kekangan dan cabaran sepanjang proses pembangunan, ia dapat diatasi melalui pelbagai pendekatan yang sesuai. Diharapkan aplikasi permainan serius ini dapat menjadi asas rujukan dan titik tolak bagi penyelidikan lanjut pada masa hadapan.

Kekuatan Sistem

Aplikasi *Mengembara Alam* mempunyai beberapa kekuatan utama. Dengan antara muka yang minimalis dan mesra autism, serta penyampaian audio yang jelas dan perlahan, aplikasi ini menyokong keperluan sensori dan komunikasi pengguna secara berkesan. Reka bentuk modular membolehkan pembelajaran mengikut kadar sendiri, disokong oleh aktiviti interaktif, pengulangan kandungan, dan ganjaran digital yang mengekalkan motivasi. Penilaian yang dijalankan merangkumi pelbagai dimensi perkembangan, menjadikan *Mengembara Alam* sebuah aplikasi holistik dan inklusif yang dibangunkan berasaskan pemahaman mendalam terhadap realiti serta keperluan pengguna sasaran.

Kelemahan Sistem

Aplikasi *Mengembara Alam* memiliki beberapa kekangan telah dikenal pasti sepanjang pembangunan dan pengujian. Antaranya ialah keperluan peranti mudah alih yang menyokong AR serta pencahayaan yang mencukupi, yang boleh mengehadkan keberkesanan aplikasi dalam persekitaran tertentu seperti kawasan bercahaya rendah atau tanpa akses kepada peranti bersesuaian. Selain itu, penggunaan kamera dan interaksi AR memerlukan bimbingan orang

dewasa, menjadikan tahap kebebasan kanak-kanak untuk belajar secara sendiri masih rendah. Kekangan ini memberi kesan kepada keberkesanan pengalaman pengguna, khususnya bagi kanak-kanak autism yang sensitif terhadap ketidaktentuan dan perubahan dalam sistem. Di samping itu, ketiadaan ciri penyesuaian sendiri seperti pengesanan tahap kemajuan atau personalisasi kandungan berdasarkan prestasi individu, serta tiadanya sistem laporan, menjadikan pemantauan kemajuan pembelajaran sukar dilakukan oleh guru atau penjaga. Oleh itu, penambahbaikan jangka panjang perlu dirancang agar *Mengembara Alam* berkembang menjadi sistem pembelajaran AR yang lebih responsif, lestari dan inklusif.

PENGHARGAAN

Penulis kajian ini ingin merakamkan setinggi-tinggi penghargaan dan jutaan terima kasih kepada penyelia yang dikasihi, Dr. Zainal Rasyid Mahayuddin, atas segala tunjuk ajar, dorongan yang berterusan, serta kesabaran beliau dalam membimbing penulis sepanjang proses pembangunan dan penyempurnaan projek ini. Komitmen dan kesungguhan beliau dalam memberikan maklum balas yang membina serta galakan yang tidak pernah putus menjadi pendorong utama kepada kejayaan projek ini. Tanpa bimbingan yang penuh dedikasi daripada beliau, adalah mustahil untuk penulis mencapai tahap ini.

Penulis juga ingin mengucapkan ribuan terima kasih kepada semua pihak yang telah membantu secara langsung atau tidak langsung, sama ada melalui perkongsian ilmu, sokongan moral mahupun bantuan teknikal sepanjang tempoh projek ini dijalankan. Segala bantuan, perhatian dan sokongan yang diberikan amatlah dihargai dan diingati. Sesungguhnya, tanpa sumbangan mereka, projek ini tidak mungkin dapat disempurnakan dengan baik. Semoga segala jasa dan kebaikan yang dicurahkan diberkati dan dibalas dengan sebaik-baik ganjaran.

RUJUKAN

- Babakhanlou, M., et al. (2021). Augmented Reality Educational Applications for Children with Special Needs: An Overview and Recommendations. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(1), 120–132.
- Cheng, Y., & Bololia, L. (2024). The Effects of Augmented Reality on Social Skills in Children with an Autism Diagnosis: A Preliminary Systematic Review. *Journal of Autism and Developmental Disorders*, 54(4), 1317–1331. <https://doi.org/10.1007/s10803-022-05878-4>

- Faiola, A., & DeAngelis, C. (2016). Augmented Reality, Social Interaction, and Learning: An Analysis of Applications for Collaborative Learning. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 9(1), 1-15.
- IOSR Journals. (2018). Marker-Based Augmented Reality Techniques: Review. *International Conference on Innovative and Advanced Technologies in Engineering*.
- Liang, Z., Liang, S., & Zuo, J. (2025). A literature review of video-enhanced activity schedules for individuals with autism spectrum disorder. *Review Journal of Autism and Developmental Disorders*. <https://doi.org/10.1007/s40489-02500492-3>ResearchGate
- Macdonald, L., Trembath, D., Ashburner, J., Costley, D., & Keen, D. (2020). The use of visual schedules and work systems to increase the on-task behaviour of students on the autism spectrum in mainstream classrooms. *Journal of Research in Special Educational Needs*, 20(1), 47-58. <https://doi.org/10.1111/14713802.12465>ERIC+2ERIC+2ResearchGate+2
- Mills, G., et al. (2021). *The Effects of Climate Change on Biodiversity and Ecosystem Services*. *Nature Climate Change*, 11, 585–594.
- Morris, C., & McDonald, S. (2024). Autism Spectrum Social Stories in Schools Trial 2 (ASSIST-2): A cluster randomised controlled trial of Social Stories™ in mainstream schools. *Child and Adolescent Mental Health*, 29(1), 3– 10.
- National Institute of Environmental Health Sciences. (2023). Human Health Impacts of Climate Change. Retrieved from <https://www.niehs.nih.gov/>
- Ngah, N. (2017, January 24). *Pemanasan global kini tahap kritikal*. Berita Harian. Retrieved from <https://www.bharian.com.my/bhplus-old/2017/01/238852/pemanasanglobal-kini-tahap-kritikal/>
- Smith, J. A., & Lee, K. (2024). The use of visual schedules to increase academic-related on-task behaviors for individuals with autism spectrum disorder: A literature review. *Journal of Special Education Technology*, 39(2), 123–134.
- Wang, Y., Zhang, H., & Li, J. (2023). Augmented reality for learning of children with autism spectrum disorder: A systematic review. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(2), 149-162.
- Zhang, X., & Liu, S. (2023). Visual SLAM-based spatial recognition and visualization method for mobile AR systems. *MDPI Sensors*, 5(1), 11.

Nur Syafiqah Binti Shahrom (A193434)
 Dr. Zainal Rasyid Bin Mahayuddin
 Fakulti Teknologi & Sains Maklumat
 Universiti Kebangsaan Malaysia