

KitARan Air: Aplikasi Pembelajaran Mudah Alih Kitaran Air Menggunakan Teknologi Realiti Terimbuh

KitARan Air: Water Cycle Mobile Learning Application Using Augmented Reality Technology

Zuraidah Rashid¹, Norhalina Senan^{1*}

¹ *Fakulti Sains Komputer dan Teknologi Maklumat,*

Universiti Tun Hussein Onn Malaysia, Parit Raja, Batu Pahat, 86400, MALAYSIA

*Pengarang Utama: halina@uthm.edu.my

DOI: <https://doi.org/10.30880/aitcs.2025.06.02.114>

Article Info

Received: 20 July 2025

Accepted: 19 November 2025

Available online: 30 November 2025

Keywords

Realiti Terimbuh (AR), Kitaran Air, Metodologi MMCD, Android

Kata Kunci

Augmented Reality (AR), Water Cycle, Multimedia Mobile Content Development (MMCD) methodology, Android

Abstract

The water cycle is one of the topics in the *Pengajaran dan Pembelajaran* (PdP) process for the science subject in schools that still rely on conventional methods like textbooks and static images. Existing applications also show limitations, such as the lack of support for marker-based Augmented Reality (AR) and interfaces that are not user-friendly. Therefore, *KitARan Air* application was developed with integrated marker-based AR technology. The application was developed using the Multimedia Mobile Content Development (MMCD) methodology, which consists of five development phases, and installed on the Android platform. It features three main modules, which are Lesson, Game, and Experiment. The result of user testing using the System Usability Scale (SUS) that achieved a score of 70.11. This shows that this application is well accepted by users in terms of usability.

Abstrak

Kitaran air merupakan salah satu topik dalam proses *Pengajaran dan Pembelajaran* (PdP) bagi mata pelajaran Sains di sekolah yang masih bergantung kepada pendekatan konvensional seperti buku teks dan imej statik. Manakala, aplikasi sedia ada mempunyai kekangan seperti tiada sokongan Realiti Terimbuh (AR) berpenanda dan antara muka yang kurang mesra pengguna. Oleh itu, aplikasi *KitARan Air* dibangunkan yang lengkap dengan teknologi AR berpenanda. Aplikasi ini dibangunkan melalui metodologi *Multimedia Mobile Content Development* (MMCD) yang merangkumi lima fasa pembangunan dan dipasang pada platform Android yang mengandungi tiga modul utama iaitu Pelajaran, Permainan dan Eksperimen. Hasil keputusan pengujian pengguna menggunakan Skala Kebolehgunaan Pengguna (*SUS*) mencapai skor sebanyak 70.11. Ini menunjukkan aplikasi ini diterima oleh pengguna dari aspek kebolegunaannya.

1. Pengenalan

Kitaran air adalah proses penting dalam ekosistem yang melibatkan fasa berulang seperti pengumpulan air, penyejatan, kondensasi, dan hujan. Menurut Buku Teks Sains Tingkatan 1 [1], proses ini bermula dengan penyejatan air laut daripada sinaran matahari, menghasilkan wap air yang membentuk awan sebelum kembali ke daratan sebagai hujan, seterusnya mengalir ke sungai, dan akhirnya kembali ke laut, melengkapkan kitaran [1]. Proses ini memainkan peranan penting dalam mengekalkan keseimbangan sumber air di Bumi, menyokong kelangsungan hidup manusia serta hidupan lain. Walaupun proses ini berlaku secara semula jadi, sifatnya yang abstrak menjadikannya sukar untuk difahami sepenuhnya oleh pelajar melalui kaedah pembelajaran konvensional seperti buku teks, imej statik, dan video [2].

Pelajar sering mengalami kesukaran untuk memahami kitaran air kerana kekurangan bahan pembelajaran yang interaktif dan visualisasi mendalam [3]. Pendekatan tradisional seperti imej 2D dan teks kurang memberikan pengalaman yang mencukupi untuk membantu pelajar memahami hubungan antara setiap fasa kitaran air kerana penyediaan pembelajaran banyak menggunakan teks berbanding elemen yang lain dan nota-nota diberikan juga kurang memberikan penerangan yang mudah difahami serta mengikut silibus pembelajaran terkini. Bagi mengatasi masalah ini, pelbagai aplikasi pembelajaran dibangunkan sebagai alat bantu mengajar yang inovatif untuk meningkatkan pemahaman pelajar terhadap kitaran air. Dengan integrasi simulasi *Augmented Reality* (AR), permainan interaktif, dan modul eksperimen dalam aplikasi "KitARan Air", aplikasi ini berpotensi menjadikan pembelajaran lebih menarik, menyeronokkan, dan berkesan. Tambahan pula, ia menyokong usaha ke arah pembelajaran berpusatkan pelajar dengan memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih mendalam melalui teknologi digital [8]. Walau bagaimanapun, aplikasi sedia ada seperti *Pocket Hydro AR* [4], *Belajar Siklus Air* [5] dan *Water Cycle!* [6] didapati mempunyai antara muka kurang mesra pengguna dan tidak sesuai dengan konteks pendidikan Malaysia kerana tidak menggunakan Bahasa Melayu sebagai bahasa pengantar.

Aplikasi KitARan Air dibangunkan untuk dijadikan sebagai alat bantuan mengajar alternatif yang menggunakan teknologi AR berpenanda. Aplikasi ini memanfaatkan ciri visualisasi 3D dan simulasi interaktif bagi memaparkan setiap fasa kitaran air secara realistik. Oleh itu, objektif projek ini dibangunkan adalah untuk mereka bentuk aplikasi KitARan Air yang mesra pengguna, yang menarik dengan menggunakan pendekatan visual secara infografik dan mudah dinavigasi. Aplikasi ini menggunakan ciri teknologi AR pada platform Android. Kemudian, kebolehgunaan aplikasi diuji terhadap pengguna sasaran. Aplikasi ini menawarkan tiga modul utama: Pelajaran, Permainan, dan Eksperimen. Modul Pelajaran adalah modul yang memberikan penjelasan mendalam tentang fasa kitaran air dan dipaparkan melalui penggunaan model 3D yang diintegrasikan dalam bentuk AR. Bukan itu sahaja, Modul Pelajaran juga dilengkapi dengan video infografik tentang kegunaan air dan kegiatan manusia yang menjejaskan kitaran air. Proses pembelajaran dan pemahaman kepada silibus kitaran air ini akan diuji atau dilaksanakan dalam Modul Permainan yang menyediakan aktiviti interaktif dengan tiga peringkat kesukaran dilengkapi pelbagai aktiviti dan elemen menarik. Modul ini terdiri daripada peringkat pertama yang melibatkan kuiz berkonsepkan permainan larian tanpa henti, peringkat kedua dengan misi membersihkan laut, dan peringkat ketiga di mana pengguna perlu melengkapkan proses kitaran air bagi menyelesaikan peringkat tersebut. Modul Eksperimen yang merangkumi simulasi 2D untuk menguji kefahaman pelajar mengenai proses kitaran air.

Bukan itu sahaja, projek ini dibangunkan menggunakan metodologi *Multimedia Mobile Content Development* (MMCD), yang melibatkan lima fasa utama: penciptaan idea aplikasi, analisis struktur, reka bentuk proses, pembangunan fungsi utama, dan pengujian [13]. *Unity* digunakan sebagai platform pembangunan aplikasi, manakala *Unity ProBuilder* digunakan untuk mereka bentuk model 3D dan Bahasa Melayu dipilih sebagai bahasa pengantar. Pemilihan bahasa ini adalah untuk memastikan pengguna sasaran yang terdiri daripada pelajar Tingkatan 1 dapat memahami bahasa yang digunakan dengan mudah dan lancar.

Laporan ini disusun seperti berikut: Seksyen 2, membincangkan domain kajian, teknologi yang digunakan, dan keputusan analisis perbandingan aplikasi sedia ada. Seksyen 3, menerangkan metodologi Pembangunan Kandungan Multimedia Mudah Alih (MMCD) yang digunakan dalam pembangunan aplikasi dan dalam menghasilkan hasil analisis dan reka bentuk projek ini. Tambahan pula, Seksyen 4 menerangkan tentang keputusan dan perbincangan, manakala Seksyen 5 menyatakan kesimpulan keseluruhan projek.

2. Sorotan Kajian

Pada bahagian ini, penerangan tentang latar belakang kajian, teknologi yang digunakan, dan hasil perbandingan analisis dibincangkan.

2.1 Kitaran Air

Bumi terdiri daripada kira-kira 70% air dengan jumlah sebanyak 1.4 trilion kilometer padu (330 juta mil³), di mana sebahagian besar air ini terdapat di laut (air masin) dan lapisan ais di kawasan kutub dan puncak gunung. Walau bagaimanapun, air juga wujud dalam bentuk lain seperti hujan, sungai, mata air, tasik, wap air, dan lautan ais. Kitaran air, atau kitaran hidrologi, melibatkan proses penyejatan air oleh cahaya matahari, kemudian berlaku proses pemeluwapan wap air menjadi awan, dan hujan yang mengembalikan air ke daratan dan lautan [9].

Sebahagian air hujan yang mengalir di permukaan membentuk aliran sungai atau meresap ke dalam tanah melalui infiltrasi, yang akan menghasilkan simpanan air bawah tanah yang penting untuk ekosistem dan tumbuhan. Air juga boleh terkumpul sebagai tasik, kolam, atau glasier di kawasan sejuk [1]. Topik kitaran air ini menjadi subtopik asas dalam mata pelajaran Sains di sekolah, kerana ia berkait rapat dengan pemahaman tentang ekosistem, kelangsungan kehidupan di bumi, malahan menjadi sumber kepada kajian dalam Geografi, Klimatologi (Kajian Iklim), dan pengurusan sumber air [10]. Namun begitu, penyampaian topik ini di sekolah kebiasaannya menggunakan kaedah konvensional seperti buku teks dan gambar rajah 2D, yang sukar untuk membantu pelajar memahami konsep secara menyeluruh. Oleh itu, projek KitARan Air dibangunkan untuk memperkenalkan kaedah pembelajaran interaktif dan visual melalui penggunaan teknologi realiti terimbuh (AR) bagi membantu pelajar menghubungkan fasa kitaran air secara lebih jelas dan menyeronokkan.

2.2 Teknologi Realiti Terimbuh (AR)

Teknologi realiti terimbuh atau *augmented reality* (AR) merupakan inovasi teknologi yang menggabungkan dunia fizikal dan digital tanpa mengubah bentuk objek fizikal [10]. Teknologi ini digunakan secara meluas dalam pelbagai bidang, termasuk pendidikan, di mana ia dilengkapi dengan elemen audio, grafik, dan sensorik lain untuk meningkatkan keberkesanan pengajaran dan pembelajaran [11]. Dalam konteks pembelajaran *Science, Technology, Engineering, and Mathematics* (STEM), AR terbukti menjadi alat yang berkesan untuk memenuhi keperluan pendidikan abad ke-21 [12]. Secara umum, teknologi AR yang banyak digunakan terbahagi kepada dua jenis iaitu AR berpenanda, yang memerlukan objek penanda seperti kod QR untuk mengaktifkan kandungan 3D [14] dan AR tanpa penanda, yang menggunakan teknologi *Simultaneous Localization and Mapping* (SLAM) untuk mengenal pasti permukaan rata dalam persekitaran fizikal [15]. Bagi projek ini, AR berpenanda digunakan untuk memaparkan model 3D kitaran air, bagi memudahkan pemahaman visual tentang hubungan antara fasa dalam kitaran air. Seterusnya, AR berpenanda dipilih kerana tepat dan stabil berbanding AR tanpa penanda serta boleh disesuaikan dengan kandungan bercetak atau bahan bantu mengajar.

2.3 Analisis Perbandingan Aplikasi

Aplikasi yang sedia ada mempunyai kelebihan dan kekurangan tersendiri. Berdasarkan perbandingan aplikasi yang dibuat, kelebihan dan kelemahan yang ada pada aplikasi sedia ada boleh diambil kira untuk diterapkan dalam aplikasi kitARan air yang ingin dibangunkan supaya mampu menghasilkan yang terbaik. Jadual 1 di bawah menunjukkan perbandingan antara aplikasi KitARan Air dengan beberapa aplikasi sedia ada yang telah dipilih. Antara perkara yang dibandingkan adalah berkaitan dengan platform yang disokong, teknologi yang digunakan, jumlah modul, antara muka pengguna, bahasa, elemen multimedia dan kelebihan.

Jadual 1 Perbandingan Aplikasi

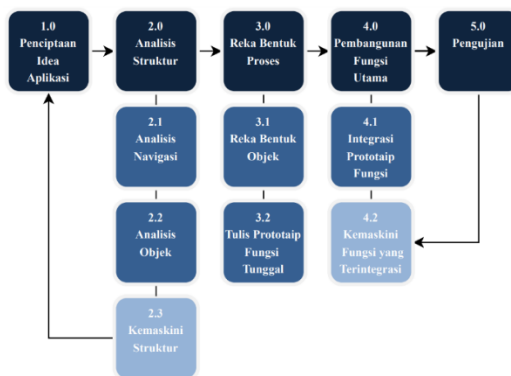
Aplikasi	Belajar Siklus Air [4]	Pocket Hydro AR [5]	Water Cycle! [6]	KitARan Air
Ciri-ciri				
Teknologi	Permainan	AR tanpa penanda	Permainan	AR berpenanda
Pendekatan aplikasi	Interaktif secara teori	Simulasi AR dengan persekitaran pelbagai	Permainan berasaskan hiburan	Simulasi dan permainan berbentuk pendidikan
Jumlah Modul	2 (Belajar, Bermain)	2 (Simulasi AR, Kuiz)	1 (Permainan tembak air melengkapkan proses kitaran air)	3 (Pelajaran, Permainan, Eksperimen)
Antara Muka Pengguna	Sederhana, cara penggunaan jelas	Kurang penggunaan elemen multimedia menarik	Tiada penyediaan tutorial cara bermain permainan	Mudah dinavigasi dan mesra pengguna
Bahasa	Bahasa Indonesia	Bahasa Inggeris, Indonesia	Bahasa Inggeris	Bahasa Melayu
Elemen Multimedia	Pendekatan aplikasi pembelajaran	Interaktif secara teori	Simulasi AR dengan persekitaran pelbagai	Permainan berasaskan hiburan

Jadual 1: (Sambungan)

Aplikasi	Belajar Siklus Air [4]	Pocket Hydro AR [5]	Water Cycle! [6]	kitARan air
Ciri-ciri				
Kelebihan	Mudah digunakan	Menggunakan AR untuk simulasi	Sesuai untuk hiburan	Gabungan elemen pembelajaran interaktif, eksperimen dan permainan dengan kandungan Pendidikan berstruktur
Kekurangan	Tidak menggunakan teknologi AR untuk pengalaman lebih mendalam. Banyak iklan kerana percuma.	Fokus kepada simulasi sahaja, kurang elemen permainan	Tiada komponen pembelajaran secara formal, fokus hanya kepada hiburan	Memerlukan bahan tambahan (kad penanda), mungkin menyukarkan penggunaan

3. Metodologi

Metodologi Pembangunan Kandungan Mudah Alih Multimedia atau *Multimedia Mobile Content Development* (MMCD) ialah metodologi yang disesuaikan untuk membangunkan kandungan multimedia yang digunakan untuk peranti mudah alih [14]. Aplikasi KitARan Air menggunakan metodologi MMCD yang terdiri daripada lima fasa iaitu penciptaan idea aplikasi, analisis struktur, reka bentuk proses, pembangunan fungsi utama dan pengujian. Metodologi MMCD dipilih dalam membangunkan aplikasi KitARan Air kerana ia bersesuaian dengan konsep pembelajaran dengan pelbagai elemen multimedia. Rajah 1 menunjukkan fasa-fasa yang terdapat dalam metodologi MMCD.



Rajah 1 Metodologi MMCD [14]

3.1 Fasa 1: Penciptaan Idea Aplikasi

Penciptaan idea aplikasi merupakan fasa pertama untuk metodologi MMCD. Antara aktiviti yang dilakukan adalah menentukan pernyataan masalah, objektif dan skop bagi projek ini. Selain itu, pengumpulan maklumat keperluan awal berkaitan dengan aplikasi dilakukan dalam fasa ini. Maklumat keperluan pengguna diperolehi daripada sesi temu bual bersama pakar subjek (SME) iaitu Encik Yang See Boon dari Sekolah Menengah Kebangsaan Seri Gading, Batu Pahat yang ditunjukkan dalam Jadual 3. Berikut merupakan senarai semak aplikasi yang akan dibangunkan yang boleh dilihat dalam Jadual 2.

Jadual 2 Senarai semak aplikasi

Kandungan	Penerangan
Jenis aplikasi	Aplikasi pembelajaran mudah alih
Peranti sasaran	Telefon pintar Android
Pengguna sasaran	Pelajar Tingkatan 1

Jadual 2: (Sambungan)

Kandungan	Penerangan
Subjek	Sains Kitaran Air
Grafik antara muka pengguna (GUI)	Latar belakang halaman utama, modul pelajaran, modul permainan, modul eksperimen, animasi 2D
Teks	Butang, tajuk, penerangan
Animasi	Kandungan pelajaran
Audio	Animasi, butang, musik latar belakang
Sinopsis aplikasi	KitARan Air merupakan aplikasi pembelajaran mudah alih subjek Sains khususnya untuk pelajar Tingkatan 1. Aplikasi ini membantu pengguna untuk memahami fasa kitaran air menggunakan model 3D dalam teknologi AR, menggunakan visualisasi animasi 2D, elemen gamifikasi dan mengintegrasikan eksperimen dalam pembelajaran .

Jadual 3: Keperluan Pengguna

Kategori pihak berkepentingan	Peranan dalam product	Implikasi reka bentuk	Tindakan diperlukan
Pakar Isi Kandungan (SME) Cikgu Yang See Boon	Perunding kandungan aplikasi KitARan Air	<p>Reka bentuk antara muka pengguna yang ringkas dan menarik</p> <p>Kandungan dan penggunaan bahasa yang mudah difahami</p> <p>Menggunakan butang navigasi yang mudah difahami</p> <p>Kandungan multimedia</p>	<ul style="list-style-type: none"> Mengikuti reka bentuk antara muka pengguna yang ringkas Perpaduan warna hendaklah sesuai agar tidak kelihatan serabut Menyediakan kandungan yang betul dan disesuaikan dengan sasaran pengguna Menggunakan bahasa mudah difahami agar penyampaian pembelajaran dapat diterima dengan lebih mudah Menggunakan butang teks seperti mula dan keluar. Menyelaraskan kandungan multimedia seperti video, animasi dan audio yang sesuai

3.2 Fasa 2: Analisis Struktur Aplikasi

Pada fasa ini, setiap keperluan aplikasi akan dikumpul termasuklah keperluan fungsi dan keperluan bukan fungsi. Jadual 4 dan Jadual 5 menunjukkan keperluan fungsian dan bukan fungsian bagi aplikasi yang dicadangkan.

Jadual 4 *Keperluan fungsian*

Keperluan fungsi	Modul	Penerangan
Interaksi Pengguna	Halaman utama	Aplikasi membenarkan pengguna klik butang “Mula” untuk memulakan pilihan modul
	Menu modul	Sistem hendaklah menyediakan pengguna untuk memilih modul yang disediakan
	Modul Pelajaran	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna untuk memilih memilih topik pelajaran seperti kegunaan air, pengenalan kitaran air melalui AR, atau kesan aktiviti manusia • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan melangkaui video kegunaan air untuk ke video infografik seterusnya • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan memilih video infografik seterusnya atau sebelumnya
	Simulasi interaktif AR	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan mengimbas penanda menggunakan kamera peranti • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan mengawal model 3D (memutar, memperbesar dan kecilkan). • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan mengakses label pada model untuk melihat paparan maklumat
	Modul Permainan	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan mengakses memulakan permainan • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menggerakkan watak permainan • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menjawab soalan kuiz dengan mencapai pilihan jawapan yang disediakan. • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menavigasi soalan seterusnya sekiranya betul • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menangkap sampah menggunakan alat pada watak permainan untuk permainan bersihkan laut. • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan memilih tindakan atau elemen betul untuk melengkapkan proses kitaran air. • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menavigasi peringkat seterusnya setelah misi selesai • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan untuk main semula permainan. • Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan mengira skor pada permainan.

Jadual 4: (Sambungan)

Keperluan fungsi	Modul	Penerangan
	Modul Eksperimen	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi hendaklah memaparkan aktiviti dengan keupayaan mengakses eksperimen yang disediakan Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan melihat arahan interaktif dan melibatkan diri dalam simulasi eksperimen 2D Aplikasi hendaklah menyediakan keupayaan menyeret dan melepaskan alatan eksperimen mengikut arahan ditetapkan Aplikasi hendaklah menyediakan pengguna dengan keupayaan menyelesaikan proses dan mendapatkan hasil pemerhatian
Aktiviti Sistem Autonomi	Simulasi Interaktif AR	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi hendaklah memaparkan model 3D fasa kitaran air Aplikasi hendaklah memastikan model 3D berinteraksi secara <i>real-time</i> dengan gerakan kamera pengguna
	Modul Pelajaran	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi hendaklah memainkan video animasi, memaparkan teks dan mengawal peralihan antara kandungan secara berurutan Aplikasi hendaklah memaparkan submodul yang dipilih pengguna






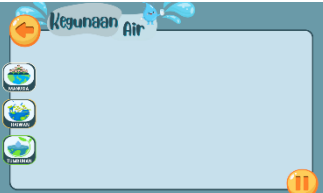
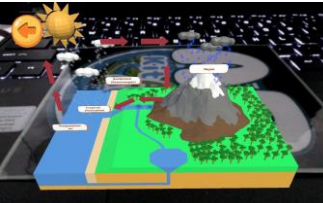








Jadual 5 Keperluan bukan fungsian

Keperluan bukan fungsi	Penerangan
Prestasi	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi mesti mampu memuatkan semua modul. Aplikasi bertindak balas dalam masa 5 saat untuk kebanyakan telefon pintar dengan sistem operasi Android. Responsif dalam memuatkan model 3D dan menjalankan simulasi AR tanpa jeda yang ketara.
Operasi	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi hendaklah boleh beroperasi dengan versi Android 10.0 "API level 29" dan ke atas.
Budaya	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi ini mestilah dibangunkan dalam Bahasa Melayu sebagai bahasa pengantar kerana penyampaian mata pelajaran di sekolah menggunakan Bahasa Melayu.
Kebolegunaan	<ul style="list-style-type: none"> Aplikasi mestilah mesra pengguna, menarik, mudah dinavigasi dan mudah digunakan oleh pengguna sasaran. Aplikasi boleh digunakan dan diakses pada bila-bila masa tanpa keperluan internet selepas dimuat turun.
Kesahihan	<ul style="list-style-type: none"> Pengguna tidak boleh mengeksploitasi atau mengubah kandungan aplikasi dan hanya boleh melihat maklumat kandungan yang dipaparkan dalam aplikasi ini.

3.3 Fasa 3: Reka Bentuk Proses

Fasa reka bentuk adalah fasa ketiga dalam model MMCD. Pada fasa ini, semua komponen dalam analisis struktur direalisasikan. Reka bentuk ini melibatkan pembangunan antara muka untuk tiga modul utama dalam pembangunan aplikasi KitARan Air, iaitu modul Pelajaran, Permainan dan Eksperimen seperti yang ditunjukkan dalam Jadual 6. Perisian seperti Adobe Illustrator dan Canva digunakan untuk mereka bentuk antara muka ini begitu juga dengan elemen seperti grafik, butang dan animasi 2D. Reka bentuk ini disusun berdasarkan dapatan temu bual bersama Pakar Isi Kandungan (SME) bagi memastikannya sesuai dengan keperluan pengguna. Seterusnya, struktur navigasi dan carta alir aplikasi ditunjukkan pada Lampiran B dan Lampiran C.

Jadual 6 Reka bentuk antara muka

Antara Muka	Penerangan	Antara Muka	Penerangan
	Paparan muka hadapan		Hasil Pembelajaran bagi aplikasi KitAran Air
	Senarai modul dalam aplikasi KitAran Air		Subtopik Modul Pelajaran
	Modul Pelajaran, subtopik Kegunaan Air, paparan video infografik dengan butang langkau		Paparan Video Pilihan Manusia, Tumbuhan, Haiwan dengan butang main dan jeda
	AR Kitaran Air dengan penanda		Paparan Video subtopik Kegiatan Manusia Menjejaskan Kitaran Air
	Permainan peringkat 1, larian tanpa henti berhalangan		Paparan soalan kuiz Permainan peringkat 1
	Arahan dan petunjuk Permainan peringkat 1		Permainan peringkat 2, mengumpul sampah dan elak halangan
	Arahan dan petunjuk Permainan peringkat 2		Permainan peringkat 3, mengumpul sinaran matahari proses kitaran air
	Arahan dan petunjuk Permainan peringkat 3		Paparan hadapan modul Eksperimen

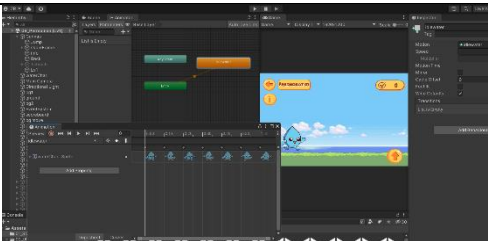
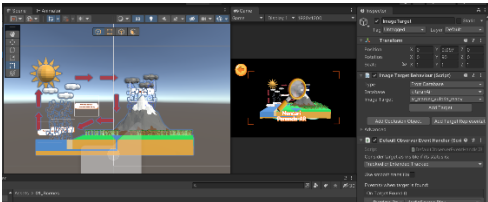
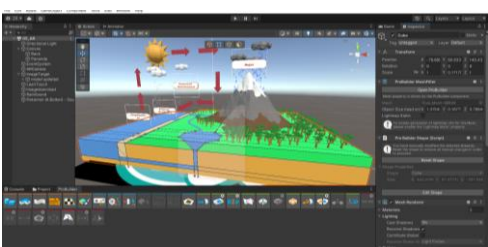
Jadual 6: (Sambungan)

Antara Muka	Penerangan	Antara Muka	Penerangan
	Paparan arahan modul eksperimen dan butang seterusnya untuk mula		Aktiviti Eksperimen
	Video kesimpulan penerangan eksperimen		Tetapan berserta butang bunyi, musik, keluar
	Paparan sahkan keluar aplikasi		Kredit bagi aplikasi KitARan Air

3.4 Fasa 4: Pembangunan Fungsi Utama

Fasa keempat dalam model MMCD adalah fasa pembangunan fungsi utama. Fasa ini memfokuskan kepada pembangunan aplikasi yang dijalankan pada perisian *Unity* yang merangkumi dua aktiviti utama iaitu pembangunan aset seperti teks, grafik, audio, video, objek 3D, animasi 2D dan penyepaduan aset tersebut pada *Unity*.

Jadual 7 Pembangunan aset fungsi utama

Aset	Pembangunan	Penerangan
Animasi 2D		Animasi 2D menggunakan animator pada <i>Unity</i> yang terdiri daripada beberapa <i>sprite</i> bingkai animasi (<i>keyframes</i>) bagi watak iaitu gambar dengan pergerakan berbeza, kemudian diulang secara berkala, menjadikan animasi bergerak.
Realiti terimbuh kitaran air berpenanda		Dibangunkan pada <i>Unity</i> dan pakej tambahan seperti <i>Vuforia Engine</i> dan <i>Lean Touch</i> .
Objek 3D		Objek direka menggunakan <i>Unity ProBuilder</i> daripada bentuk poligon sedia ada

3.5 Fasa 5: Pengujian Aplikasi

Akhir sekali, pengujian aplikasi sebagai fasa terakhir yang merangkumi ujian kefungsiian (alfa) dan ujian penerimaan pengguna (beta). Ujian kefungsiian dilakukan untuk memastikan seriap fungsi, butang, interaksi pada aplikasi KitARan Air berjalan dengan lancar tanpa sebarang ralat. Fasa ini dilakukan secara berterusan bagi mengenalpasti sekiranya terdapat pepijat dan kesalahan. Kemudian, pembetulan dibuat sebelum ujian akhir aplikasi yang dijalankan dengan pengguna sasaran. Ujian kefungsiian seperti ditunjukkan pada Jadual 8.

Jadual 8 *Ujian Kefungsiian*

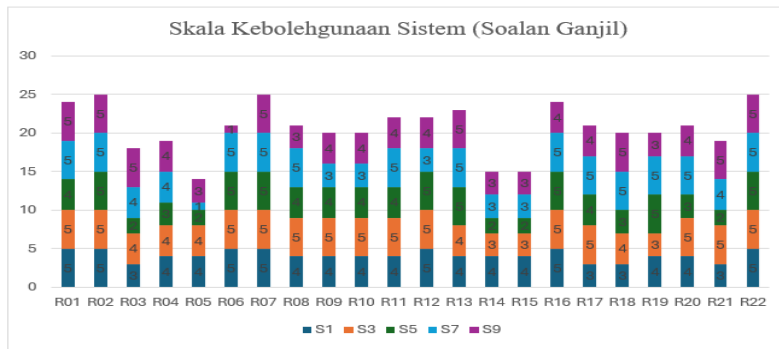
Komponen	Hasil Jangkaan	Hasil Sebenar	Pembetulan
Butang Modul	Berpindah ke modul Pelajaran, Permainan atau Eksperimen		
Butang Keluar	Keluar daripada aplikasi	Berfungsi dengan baik	Tidak perlu
Butang Rumah	Berpindah ke halaman utama	sama seperti diharapkan.	
Butang Kembali	Kembali ke halaman sebelumnya	Tidak dapat kembali ke halaman sebelumnya	Tambah <code>SceneManager.LoadScene(sceneName)</code> ; pada butang dan menukar nama halaman
Butang Langkau Video	Langkau video kegunaan air	Berfungsi dengan baik	Tidak perlu
Butang Video Manusia, Haiwan, Tumbuhan	Memilih video yang berbeza mengikut butang	Tidak dapat memaparkan video mengikut pilihan butang	Menggunakan <code>PlayVideo(manusiaClip)</code> ; Nama video yang ingin dipaparkan disetiap butang
Butang Jeda dan Main Video	Menghentikan dan mainkan semula video	Berfungsi dengan baik	Tidak perlu
Butang Seterusnya	Pergi ke panel atau halaman seterusnya		
Butang Karakter Lompat, Kiri, Kanan	Karakter bergerak mengikut fungsi pada butang	Fungsi lompat tidak seperti diharapkan	Menambah <code>rb.velocity = newVector2(rb.velocity.x, jumpForce)</code> ; dan <code>onclick()</code> yang betul untuk pastikan karakter lompat
Butang gerakkan karakter (<i>Joystick</i>)	Menggerakkan karakter pada permainan kedua dengan lancar dan bebas	Berfungsi dengan baik	Tidak perlu
Pelajaran AR Kitaran Air	Memaparkan objek kitaran air berserta animasi dan paparan penerangan setiap proses	Kamera AR tidak berfungsi dalam peranti digunakan	Perlu mengubah <i>API Level</i> kepada yang lebih rendah
Pengenalan Jalan Cerita Permainan	Memaparkan video jalan cerita permainan	Tidak dipaparkan pada peranti	Perlu menggunakan panel dan <i>render texture</i> yang betul, memastikan video tidak dihalangi aset (UI) lain
Permainan Peringkat Satu	Karakter lompat melepasi halangan untuk ke papan tanda soalan dan menjawab soalan dengan betul	Halangan tidak bergerak dengan betul	Menambah fungsi <code>Destroy(obj.gameObject)</code> ; untuk menghentikan ia <i>spawn</i> di arah yang salah
Permainan Peringkat Dua	Karakter bergerak dengan lancar mencapai sampah dan mengelak halangan	Karakter selalu melanggar halangan	Mengubah saiz <i>Box collider 2D</i> pada karakter kepada saiz bersesuaian
Permainan Peringkat Tiga	Karakter bergerak kiri, kanan dan lompat untuk mengumpul cahaya matahari bagi lengkapkan kitaran air	Jumlah sinaran matahari tidak bertambah	Menambah skrip <code>score += amount;</code>

Jadual 8: (Sambungan)

Komponen	Hasil Jangkaan	Hasil Sebenar	Pembetulan
Aktiviti Eksperimen	Dapat menyeret dan lepas objek pada tempat yang betul. Animasi dapat muncul apabila betul.	Objek yang diseret tidak dapat mengesan tempat letak	Mengubah susun atur daripada meletakkan objek pada kamera kepada canvas kerana lebih berbentuk 2D

4. Keputusan dan Perbincangan

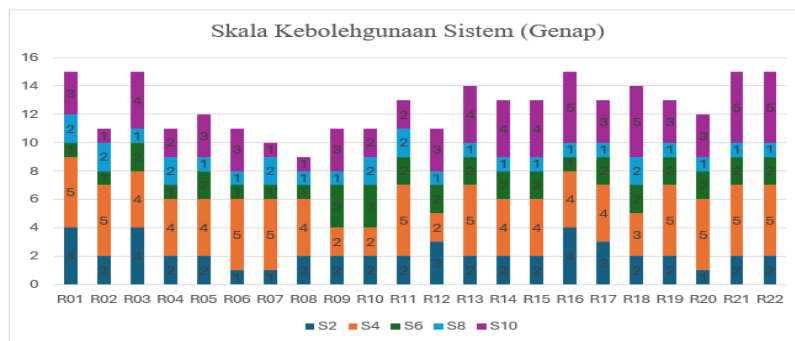
Pengujian alfa iaitu ujian kefungsian telah dijalankan dan pengujian beta atau ujian penerimaan pengguna berhasil mengumpulkan data dan maklumat yang kemudiannya dianalisis. Keputusan analisis dikumpul daripada ujian Skala Kebolehgunaan Sistem (SUS). Ujian ini bertempat di Sekolah Menengah Kebangsaan Seri Gading yang melibatkan 22 responden pelajar Tingkatan 1 di bawah seliaan Cikgu Yang See Boon. Keputusan akhir maklum balas responden adalah seperti yang ditunjukkan pada Rajah 2 dan Rajah 3. Secara purata, Rajah 2 menunjukkan bahawa responden memilih skala 4 dan 5, iaitu bersetuju dengan skala kebolehgunaan aplikasi yang digunakan bagi soalan ganjil dan menghasilkan keputusan yang positif.



Soalan 1: Saya rasa saya ingin menggunakan sistem ini dengan kerap.
 Soalan 3: Saya fikir sistem itu mudah digunakan.
 Soalan 5: Saya dapati pelbagai fungsi dalam sistem ini disepadukan dengan baik.
 Soalan 7: Saya akan membayangkan bahawa kebanyakan orang akan belajar untuk menggunakan sistem ini dengan cepat.
 Soalan 9: Saya berasa sangat yakin menggunakan sistem.

Rajah 2 Analisis Soalan Ganjil (Positif)

Manakala bagi Rajah 3 pula, keputusan responden memberikan skor rendah iaitu 1 dan 2 bagi soalan-soalan genap, yang menandakan mereka tidak setuju dengan kenyataan negatif dan ini menunjukkan tanggapan positif terhadap kebolehgunaan aplikasi KitARan Air.



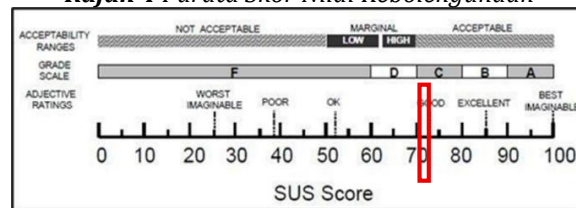
Soalan 2: Saya mendapati sistem itu tidak perlu rumit.
 Soalan 4: Saya fikir saya memerlukan sokongan orang teknikal untuk dapat menggunakan sistem ini.
 Soalan 6: Saya fikir terlalu banyak ketidakseselarasan dalam sistem ini.
 Soalan 8: Saya dapati sistem ini sangat sukar digunakan.
 Soalan 10: Saya perlu belajar banyak perkara sebelum saya boleh meneruskan sistem ini.

Rajah 3 Analisis Soalan Genap (Negatif)

Hasil keputusan pengiraan *SUS* yang telah dijalankan kepada setiap pengguna yang ditunjukkan pada Rajah 2 dan 3 memberi penghasilan purata skor nilai kebolehgunaan bagi aplikasi yang dibangunkan.

Responden	Skor Item										Skor Ganjil	Skor Genap	Jumlah Skor
	Q1	Q2	Q3	Q4	Q5	Q6	Q7	Q8	Q9	Q10			
R01	5	4	5	5	4	1	5	2	5	3	19	10	72.5
R02	5	2	5	5	5	1	5	2	5	1	20	14	85
R03	3	4	4	4	2	2	4	1	5	4	13	10	57.5
R04	4	2	4	4	3	1	4	2	4	2	14	14	70
R05	4	2	4	4	2	2	1	1	3	3	9	13	55
R06	5	1	5	5	5	1	5	1	1	3	16	14	75
R07	5	1	5	5	5	1	5	2	5	1	20	15	87.5
R08	4	2	5	4	4	1	5	1	3	1	16	16	80
R09	4	2	5	2	4	3	3	1	4	3	15	14	72.5
R10	4	2	5	2	4	3	3	2	4	2	15	14	72.5
R11	4	2	5	5	4	2	5	2	4	2	17	12	72.5
R12	5	3	5	2	5	2	3	1	4	3	17	14	77.5
R13	4	2	4	5	5	2	5	1	5	4	18	11	72.5
R14	4	2	3	4	2	2	3	1	3	4	10	12	55
R15	4	2	3	4	2	2	3	1	3	4	10	12	55
R16	5	4	5	4	5	1	5	1	4	5	19	10	72.5
R17	3	3	5	4	4	2	5	1	4	3	16	12	70
R18	3	2	4	3	3	2	5	2	5	5	15	11	65
R19	4	2	3	5	5	2	5	1	3	3	15	12	67.5
R20	4	1	5	5	3	2	5	1	4	3	16	13	72.5
R21	3	2	5	5	2	2	4	1	5	5	14	10	60
R22	5	2	5	5	5	2	5	1	5	5	20	10	75
Skor Purata												70.11	

Rajah 4 Purata Skor Nilai Kebolehgunaan



Rajah 5 Skala Kebolehgunaan Sistem

Berdasarkan skala markah *SUS* dibentangkan pada Rajah 4, purata markah *SUS* bagi aplikasi KitARan Air adalah sebanyak 70.11 dan dilabelkan sebagai Baik (*Good*). Ini menunjukkan aplikasi ini diterima oleh pengguna dari aspek kebolehgunaannya. Ini menunjukkan bahawa aplikasi yang diuji diterima oleh pengguna dengan tahap kebolehgunaan yang memuaskan, mudah difahami dan digunakan oleh majoriti pengguna tanpa memerlukan usaha pembelajaran yang tinggi. Secara keseluruhan, aplikasi ini diterima dengan baik oleh pengguna dan sesuai digunakan dalam konteks sasaran

5. Kesimpulan

Secara keseluruhan, aplikasi KitARan Air telah berjaya dibangunkan. Objektif utama pembangunan aplikasi ini iaitu, mereka bentuk aplikasi “KitARan Air” yang mesra pengguna, yang menarik dengan menggunakan pendekatan visual secara infografik dan mudah untuk dinavigasi telah berjaya dicapai. Sementara itu, objektif kedua dan ketiga, iaitu membangunkan aplikasi “KitARan Air” menggunakan ciri teknologi realiti terimbu pada platform Android, dan menguji kebolehgunaan aplikasi “KitARan Air” terhadap pengguna sasaran dapat dicapai berdasarkan keputusan skor Skala Kebolehgunaan Sistem (*SUS*) dengan respon yang positif dari pengguna sasaran. Berikut merupakan kelebihan dan kekurangan aplikasi KitARan Air yang boleh dilihat pada Jadual 9. Akhir sekali, penambahbaikan boleh dibuat dengan menambahkan pilihan Bahasa Inggeris untuk menjadikan aplikasi lebih inklusif dan boleh diguna di sekolah pelbagai aliran.

Jadual 9 Kelebihan dan Kekurangan Aplikasi KitARan Air

Kelebihan	Kekurangan
<ul style="list-style-type: none"> • Modul AR kitaran air menyediakan model 3D proses kitaran air melalui teknologi realiti terimbu berpenanda yang menjadikan proses pembelajaran lebih interaktif, serta membolehkan pengguna melihat dan mengawal visualisasi setiap fasa seperti pengumpulan air, penyejatan, pemeluwapan dan hujan dengan lebih jelas serta realistik. • Antara muka pengguna (UI) aplikasi KitARan Air direka khas agar mudah difahami oleh pelajar dengan grafik menarik, infografik, 	<ul style="list-style-type: none"> • Aplikasi ini memerlukan kemahiran dalam penggunaan teknologi walaupun direka agar mesra pengguna, sesetengah pelajar atau guru masih memerlukan sedikit panduan dalam menggunakan teknologi realiti terimbu secara efektif. • Aplikasi ini masih belum sepenuhnya mesra peranti disebabkan beberapa fungsi atau paparan tidak berjalan dengan baik pada peranti yang berbeza. • Pada permainan peringkat satu, pemain perlu

Jadual 9: (Sambungan)

Kelebihan	Kekurangan
teks dan audio dalam Bahasa Melayu. <ul style="list-style-type: none"> Aplikasi ini menyediakan permainan menarik berkonsepkan didikhibur disertakan dengan eksperimen berbentuk digital 	mengulang semula permainan setiap kali mereka melanggar halangan atau memberi jawapan yang salah, yang boleh menjejaskan pengalaman pengguna.

Penghargaan

Penulis ingin mengucapkan terima kasih kepada Fakulti Sains Komputer dan Teknologi Maklumat, Universiti Tun Hussein Onn Malaysia atas sokongannya dan dorongan sepanjang proses menjalankan kajian ini.

Konflik Kepentingan

Penulis mengisytiharkan bahawa tiada konflik kepentingan berkaitan dengan penerbitan kertas ini.

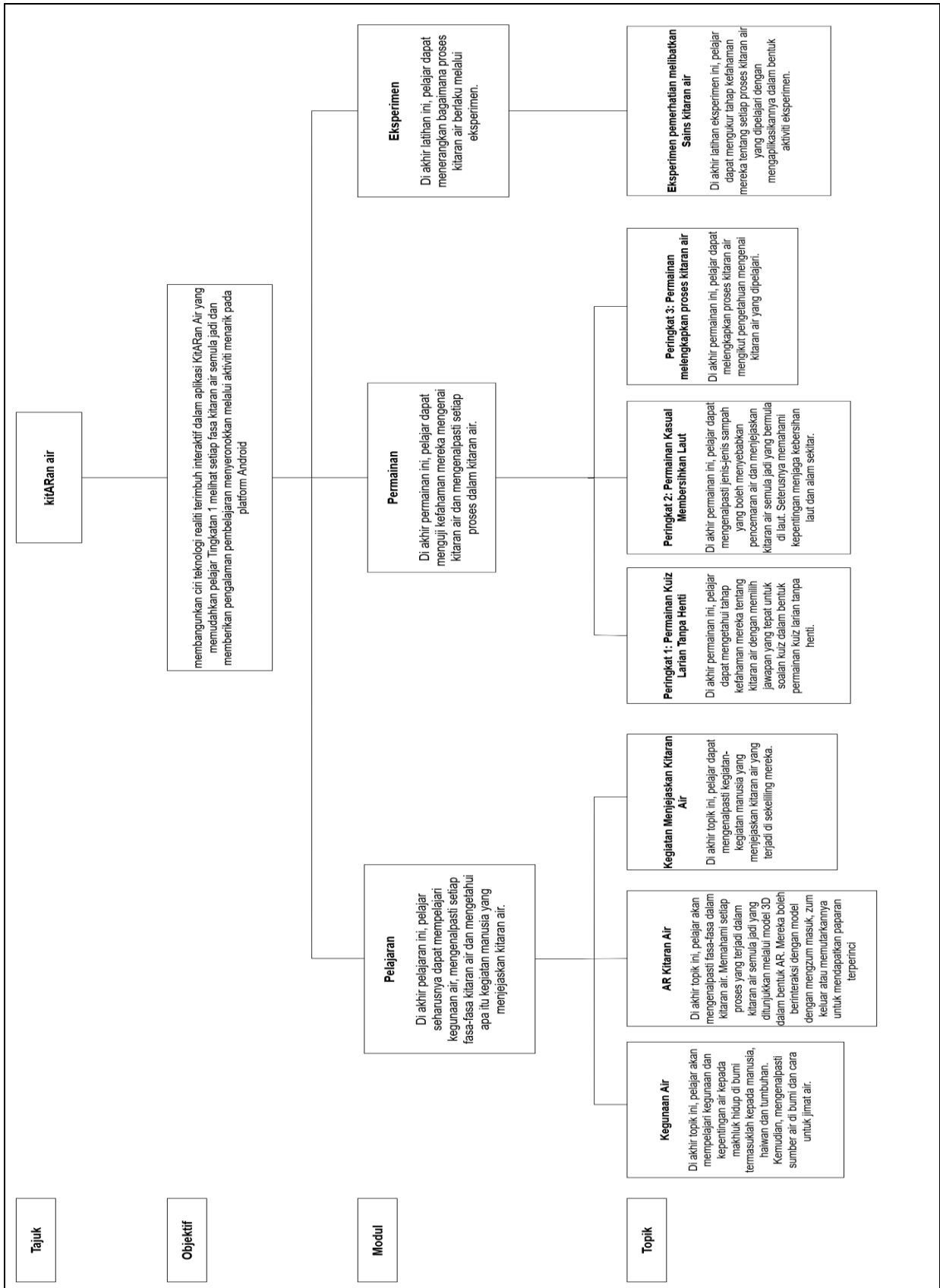
Penulis

Penulis mengesahkan sumbangan mereka terhadap kertas ini seperti berikut: **konsep dan reka bentuk kajian:** Zuraidah Rashid, Norhalina Senan; **pengumpulan data:** Zuraidah Rashid, Norhalina Senan; **analisis dan tafsiran hasil:** Zuraidah Rashid, Norhalina Senan; **penyediaan draf manuskrip:** Zuraidah Rashid, Norhalina Senan. Semua penulis menyemak hasil dan meluluskan versi akhir manuskrip.

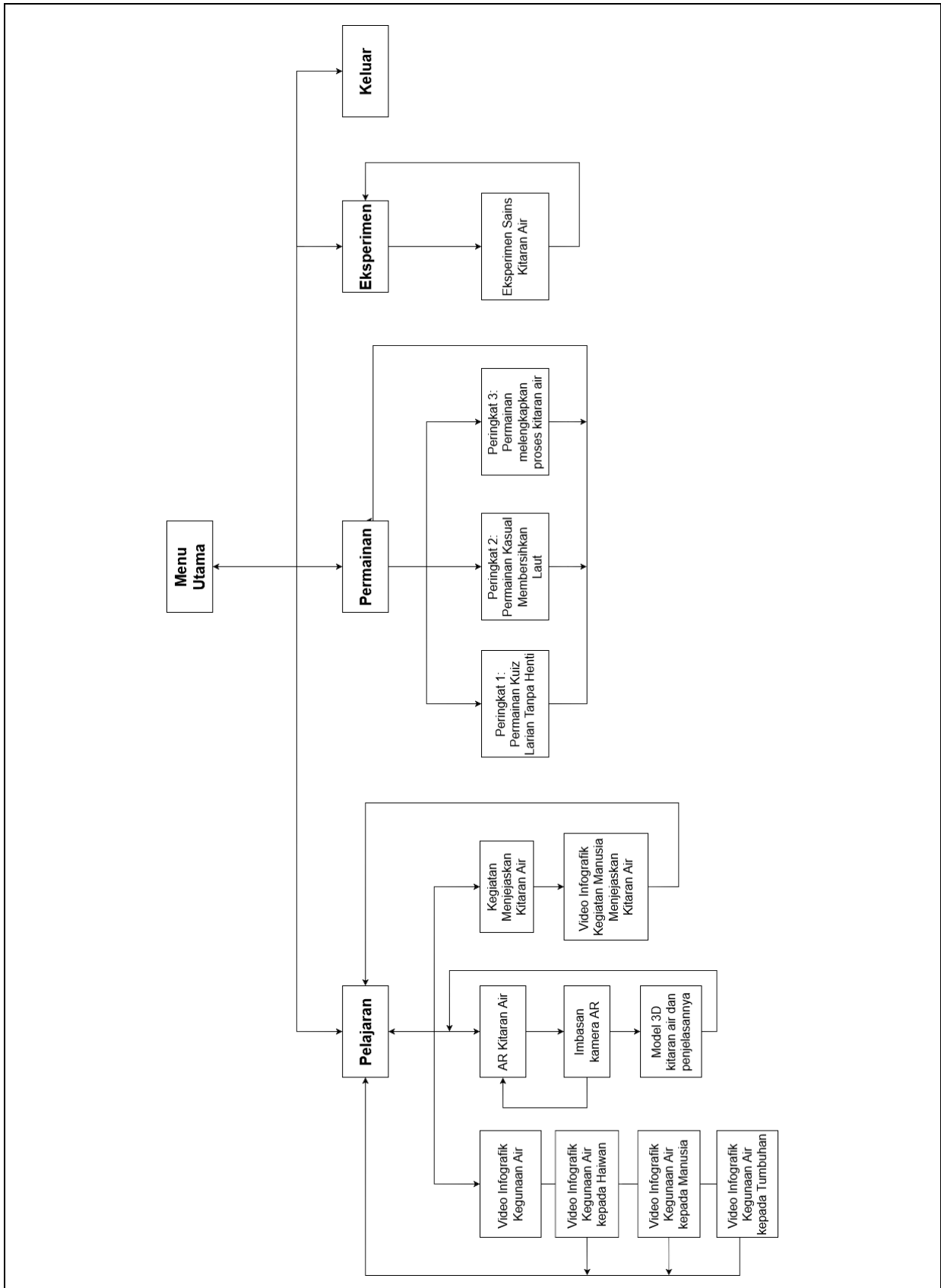
Rujukan

- [1] Kementerian Pendidikan Malaysia. (2016). Sains Tingkatan 1. Shah Alam: Karangkraf Network Sdn. Bhd.
- [2] Alfiras, M., & Bojiah, J. (2020). Printed textbooks versus electronic textbooks: A study on the preference of students of Gulf university in kingdom of Bahrain. *International Journal of Emerging Technologies in Learning (IJET)*, 15(18), 40-52.
- [3] Istiningsih, I., Mukti, F. D., & Santoso, E. Y. N. S. (2020). Development of Augmented Reality (Ar) Learning Media of Natural Science Subject on Subject Matter of Water Cycle for MI Grade V Students. *JIP Jurnal Ilmiah PGMI*, 6(1), 73-87.
- [4] Mussyafa, M. A. (2023). *Pocket HydroAR*. Google Play Store.
- [5] Qreatif. (2021). *Belajar Siklus Air: Belajar Tangkap Hidupan Laut*. Google Play Store.
- [6] Information Technology Co. Ltd. (2021). *Water Cycle!*. Google Play Store.
- [7] Alalwan, N., Cheng, L., Al-Samarraie, H., Yousef, R., Alzahrani, A. I., & Sarsam, S. M. (2020). Challenges and prospects of virtual reality and augmented reality utilization among primary school teachers: A developing country perspective. *Studies in Educational Evaluation*, 66, 100876.
- [8] Afifah, F. (2022). Air Menurut Konsep Al-Quran dan Sains Medika. *Konferensi Integrasi Interkoneksi Islam dan Sains*.
- [9] Yang, D., Yang, Y., & Xia, J. (2021). Hydrological cycle and water resources in a changing world: A review. *Geography and Sustainability*.
- [10] AlNajdi, S. M. (2022). The effectiveness of using augmented reality (AR) to enhance student performance: using quick response (QR) codes in student textbooks in the Saudi education system. *Educational Technology Research and Development*.
- [11] Ahmad, S., & Samah, N. A. (2024). Systematic Literature Review: The Trend Of Augmented Reality (AR) in Science Teaching and Learning in Primary School/Sorotan Literatur Bersistemik: Trend Realiti Terimbuh (AR) dalam Pembelajaran dan Pemudahcaraan Mata Pelajaran Sains sekolah Rendah. *Sains Humanika*.
- [12] Jesionkowska, J., Wild, F., & Deval, Y. (2020). Active Learning Augmented Reality for STEAM Education—A Case Study. *Education Sciences*.
- [13] Saifudin, W. S. N. S., Salam, S., & Abdullah, M. H. L. (2012). Multimedia mobile content development framework and methodology for developing M-Learning applications. *Journal of Technical Education and Training*, 4(1).
- [14] Boonbrahm, S., Boonbrahm, P., & Kaewrat, C. (2020). The use of marker-based augmented reality in Space Measurement. *Procedia Manufacturing*.
- [15] Oufqir, Z., El Abderrahmani, A., & Satori, K. (2020). From marker to markerless in augmented reality. In *Embedded Systems and Artificial Intelligence: Proceedings of ESAI 2019, Fez, Morocco* (pp. 599-612). Springer Singapore.

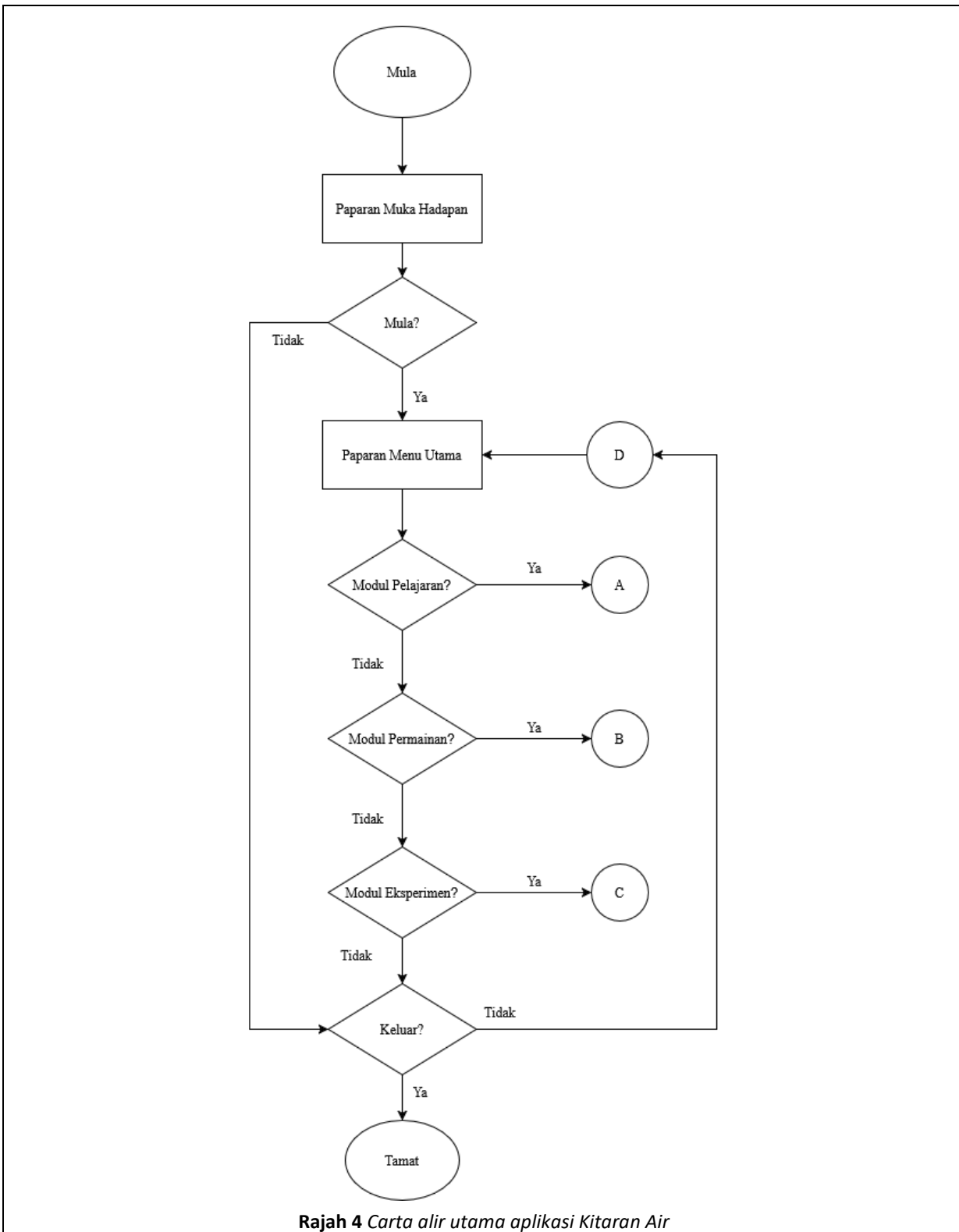
Lampiran A: Struktur Kandungan



Lampiran B: Struktur Navigasi

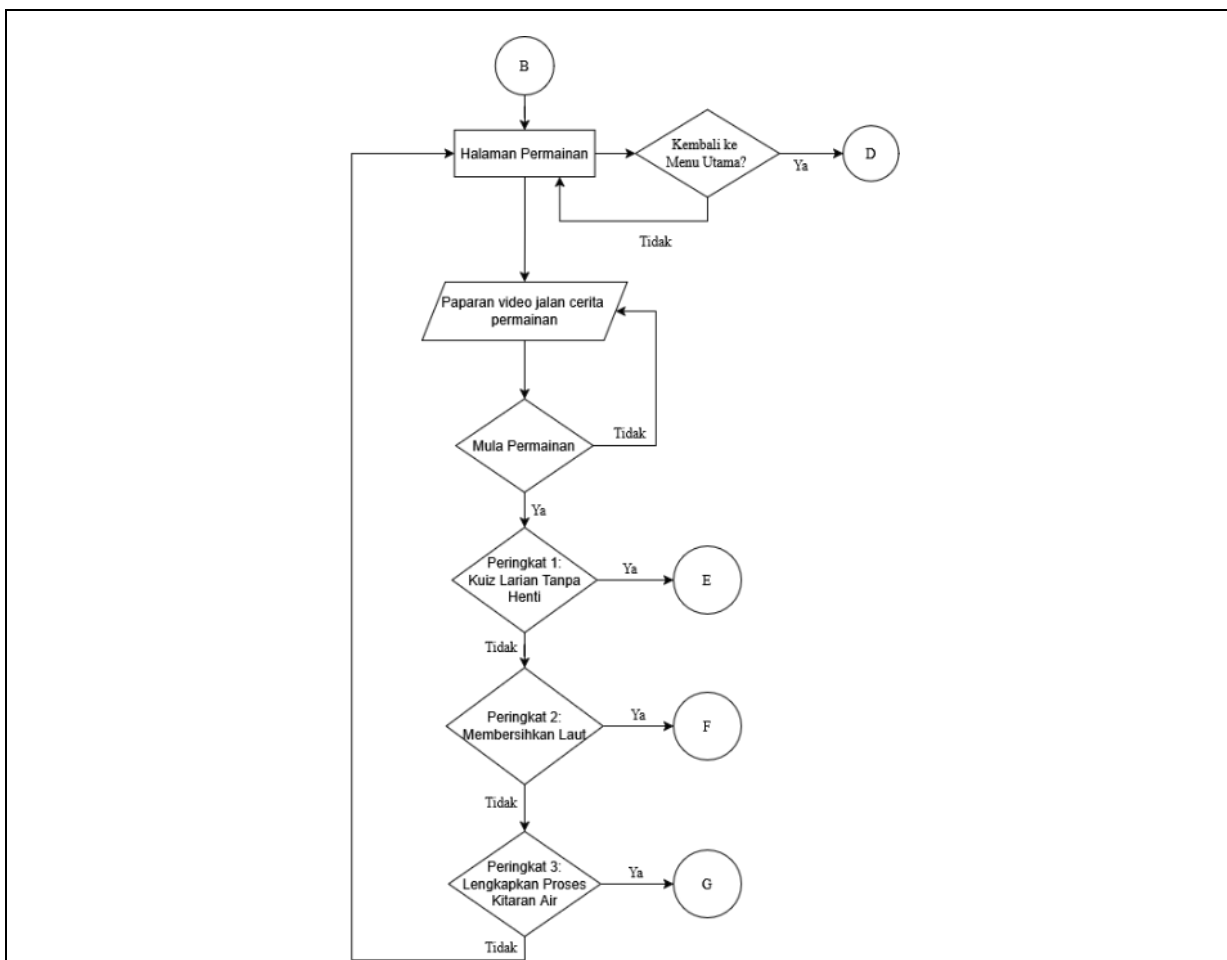


Lampiran C: Carta Alir Aplikasi KitAran Air

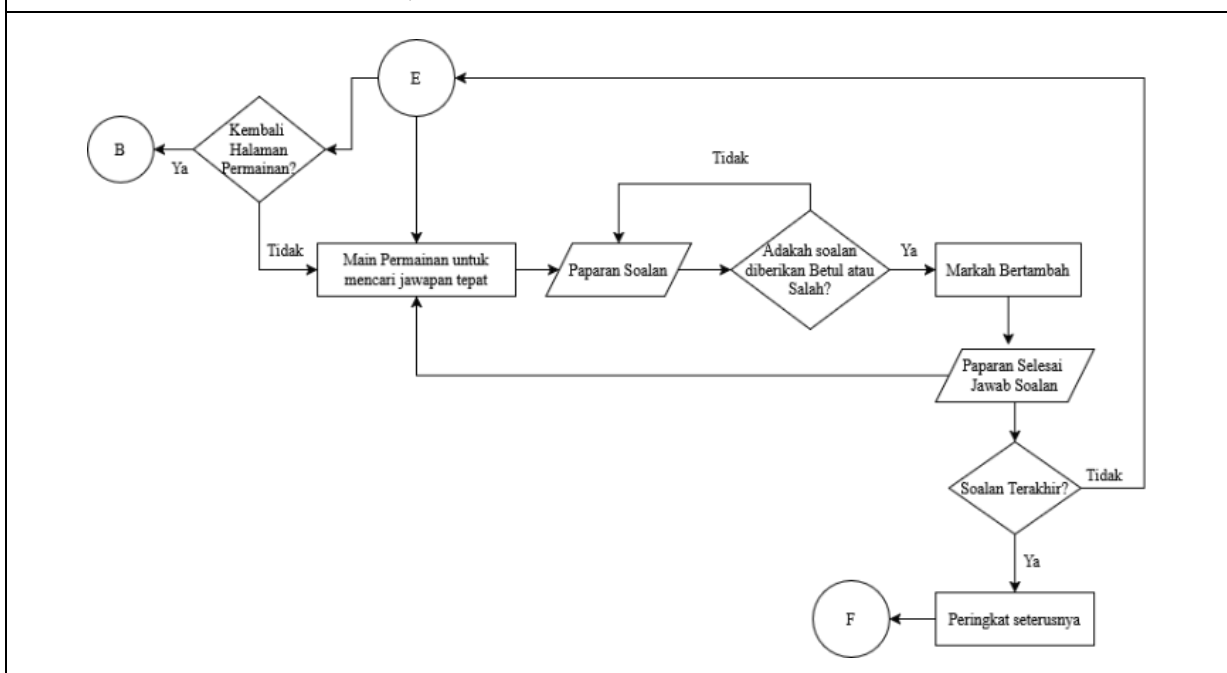


Rajah 4 Carta alir utama aplikasi Kitaran Air

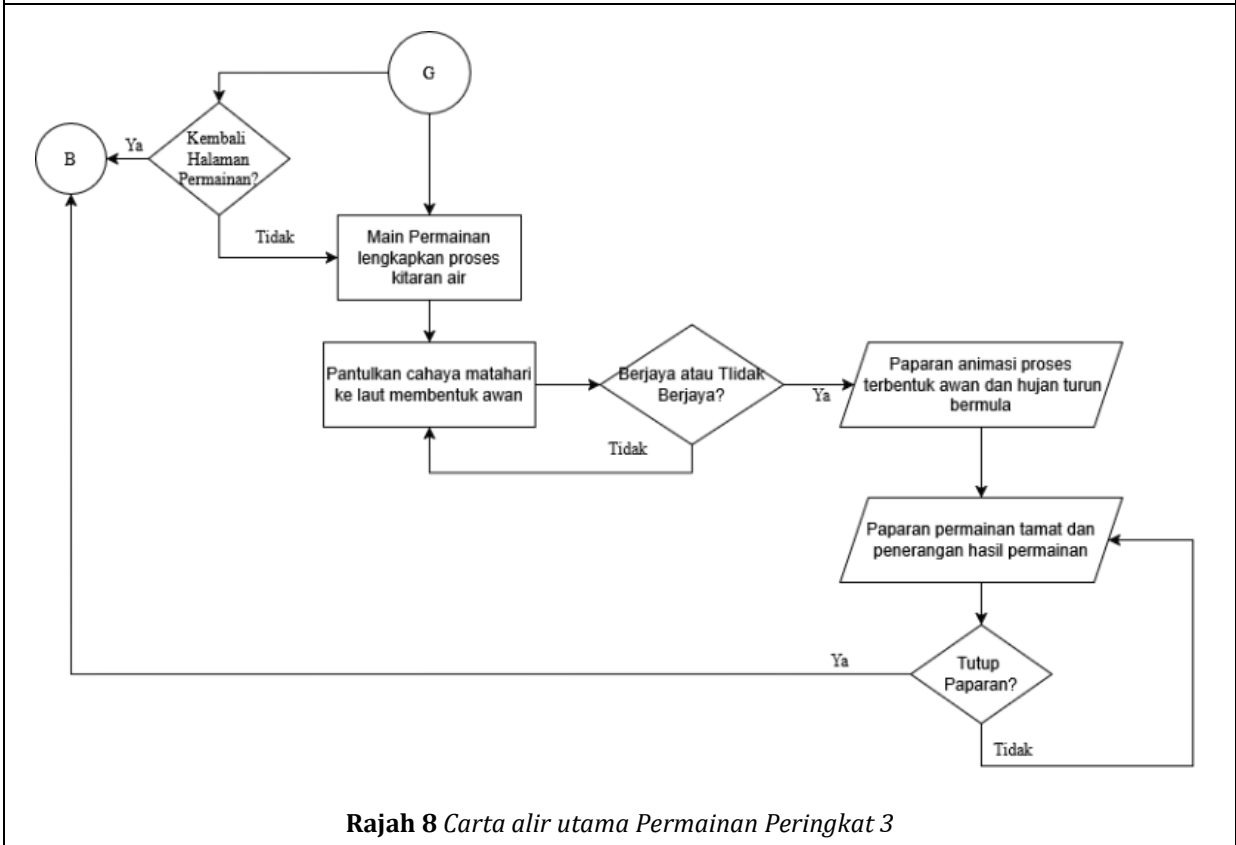
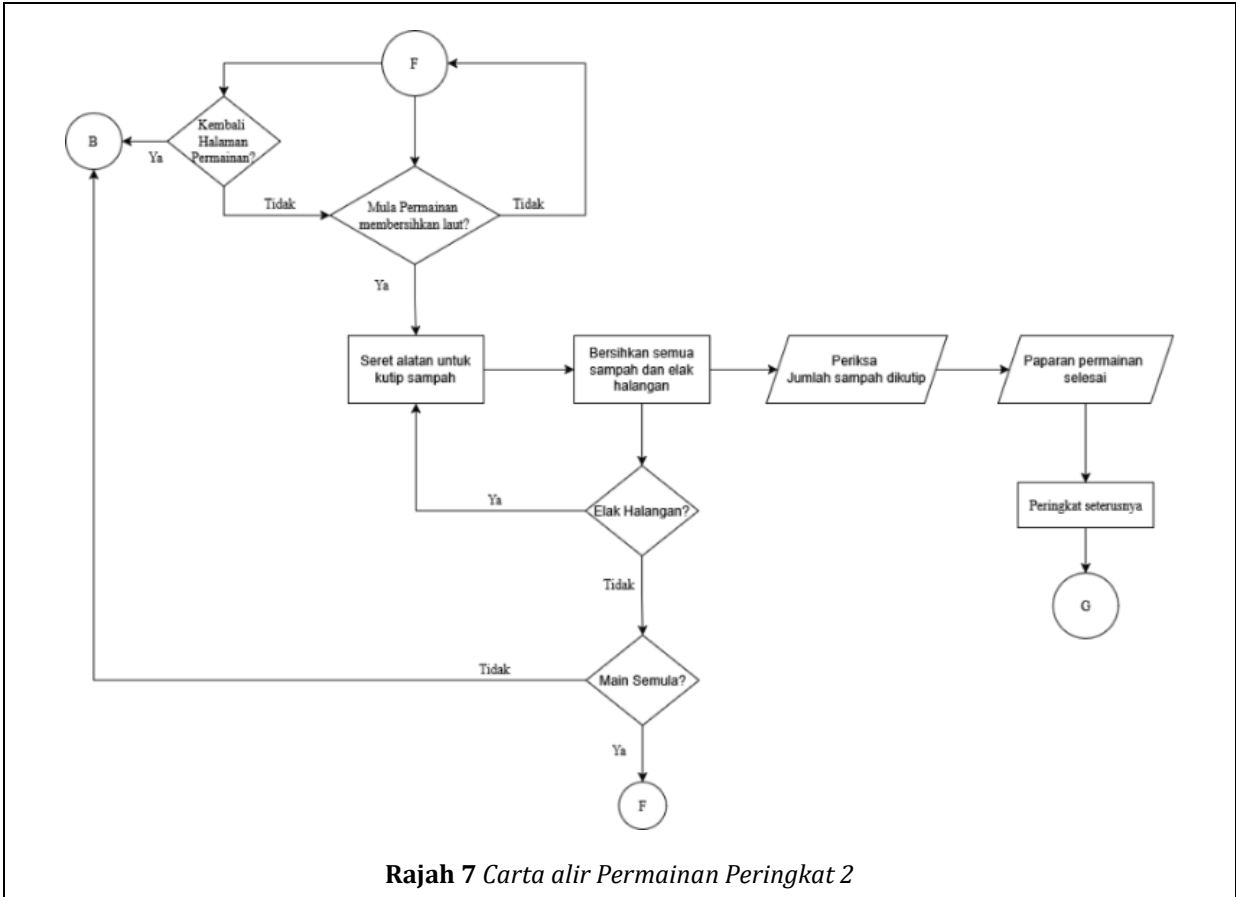
Carta Alir Modul Permainan:



Rajah 5 Carta alir utama modul Permainan



Rajah 6 Carta alir Permainan Peringkat 1



Carta Alir Modul Eksperimen:

