

PEMBANGUNAN APLIKASI PEMBINAAN SEMULA MUKA 3D MENGUNAKAN RANGKAIAN ADVERSARIAL GENERATIF (GAN) : REFACE3D

KHEW LEE YEE

TAN SIOK YEE

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

Abstract

Dalam beberapa tahun kebelakangan ini, pembinaan semula muka tiga dimensi (3D) daripada imej dua dimensi (2D) merupakan tugas penting dalam penglihatan komputer dan telah dititikberatkan kerana aplikasinya dalam realiti maya, permainan dan teknologi pengecaman muka. Walau bagaimanapun, pembinaan semula wajah tradisional menghadapi cabaran dengan hasilan yang tidak tepat. Aplikasi yang sedia ada seperti *FaceGen*, *Meshroom* dan *FaceBuilder (Blender)* telah menunjukkan kelemahannya dengan hasilan muka 3D yang tidak tepat dan tidak seiras dengan muka sebenar. Oleh itu, kajian ini bertujuan untuk membangunkan aplikasi bernama ReFace3D yang mantap dan cekap dengan menggunakan Rangkaian Adversarial Generatif (GAN) untuk menjana pembinaan semula muka 3D dengan tepat daripada imej 2D sambil mengekalkan prestasi masa nyata. Untuk mencapai matlamat ini, GAN digunakan untuk menjana muka 3D berkualiti tinggi dengan meramalkan geometri 3D muka dan belajar daripada ciri imej 2D. ReFace3D yang disepadukan dengan realiti terimbuh (AR) akan dibangunkan, perisian yang akan digunakan untuk membangunkan aplikasi ini ialah Flutter manakala *ar_flutter_plugin* yang tersedia dalam Flutter akan digunakan untuk menghasilkan AR. Pada langkah terakhir, model muka 3D yang dihasilkan dan divisualisasikan dalam persekitaran AR, menunjukkan potensinya untuk aplikasi masa nyata. Hasil model muka 3D akan dinilai berdasarkan kedua-dua metrik kualitatif dan kuantitatif untuk memastikan ketepatan dan kesepadanan dengan imej asal lebih daripada 80 peratus dan bebas daripada ketidaktepatan. Projek ini menunjukkan keupayaan GAN untuk mencapai pembinaan semula muka 3D yang tepat dan realistik menyumbang kepada penggunaan inovatif dalam AR, avatar maya, interaksi manusia-komputer, serta pembangunan teknologi pengecaman dan analisis muka.

Abstract

In recent years, three-dimensional (3D) face reconstruction from two-dimensional (2D) images is an essential task in computer vision and has gained significant attention due to its applications in virtual

reality, games and face recognition technology. However, traditional face reconstruction faces challenges with inaccurate results. Existing applications such as FaceGen, Meshroom and FaceBuilder(Blender) have shown their weaknesses with inaccurate 3D face output and not identical to the real face. Therefore, this study aims to develop a robust and efficient application named ReFace3D by using Generative Adversarial Networks (GAN) that can accurately generate high-fidelity 3D face reconstructions from 2D images while maintaining real-time performance. To accomplish this, GANs are used to generate high-quality 3D faces by predicting the 3D geometry of the face and learning from 2D image features. ReFace3D integrated with augmented reality (AR) will be developed, the software that will be used to develop this application is Flutter while the software used to produce AR is ar_flutter_plugin available in Flutter. In the final step, the generated 3D face models are visualized in an AR environment, showing its potential for real-time applications. The generated 3D face models will be evaluated based on both qualitative and quantitative metrics to ensure accuracy and correspondence with the original image by over 80 percent free from inaccuracies. This project demonstrates the ability of GANs to achieve accurate and realistic 3D facial reconstruction, contributing to innovative uses in AR, virtual avatars, human-computer interaction, as well as the development of facial recognition and analysis technologies.

1.0 PENGENALAN

Pada zaman globalisasi ini, tidak dapat dinafikan bahawa teknologi semakin berkembang dan memainkan peranan yang sangat penting dalam kehidupan kita seharian. Salah satu teknologi yang mengalami pertumbuhan pesat adalah Realiti Terimbuh (AR). AR merupakan teknologi yang menindih maklumat digital ke dunia realiti dan mengintegrasikan kandungan digital seperti model 3D, imej atau video ke dalam persekitaran pengguna dalam masa nyata untuk mencipta pengalaman interaktif yang mendalam (Yuen et al., 2011). Dengan ini, AR telah merevolusikan cara kita berinteraksi dengan dunia digital, dengan aplikasi yang luas dalam pelbagai sektor. Contohnya, AR telah banyak digunakan dalam aplikasi sosial media seperti penapis Instagram (IG filters), permainan hiburan seperti Pokemon Go, dan banyak lagi (Ibáñez-Sánchez et al., 2022).

Salah satu contoh penggunaan AR yang menarik adalah dalam integrasi dengan teknologi pembinaan semula muka 3D. Pembinaan semula muka 3D adalah teknik yang digunakan untuk mencipta model wajah tiga dimensi berdasarkan imej dua dimensi. Teknologi ini digunakan dalam realiti maya, simulasi pembedahan plastik, pengecaman muka, perubahan muka, permainan 3D, interaksi manusia-komputer dan animasi (Widanagamaachchi & Dharmaratne, 2008). Contohnya, dalam bidang forensik, teknologi ini telah menjadi alat yang sangat berharga. Ahli forensik menggunakan pembinaan semula muka 3D untuk membina semula wajah mayat yang tidak dapat dikenali melalui pelihatan atau pemerhatian sahaja (Berar et al., 2011).

Tujuan utama bagi projek tahun akhir ini adalah untuk mencipta aplikasi pembinaan semula muka 3D daripada imej 2D menggunakan Rangkaian Adversarial Generatif (GAN) dengan cara yang inovatif dan menggunakan beberapa perisian dan perkakasan. Sebagai contoh, `ar_flutter_plugin` yang tersedia dalam Flutter akan digunakan untuk mencipta model tiga dimensi muka. Selain itu, Flutter akan digunakan untuk membangunkan aplikasi ini. Aplikasi ini berkemampuan untuk memperantarakan model tiga dimensi ke dalam persekitaran dunia sebenar, membolehkan pengguna untuk berinteraksi secara interaktif dengan objek 3D tersebut.

Objektif projek ini adalah untuk menyediakan alat pembinaan semula muka 3D yang dapat digunakan dalam masyarakat serta pelbagai bidang seperti forensik, perubatan, dan hiburan. Projek ini bertujuan untuk mencipta aplikasi yang dapat menghasilkan model muka 3D yang tepat dan realistik menggunakan teknologi GAN. Dengan aplikasi ini, pengguna dapat membina semula muka 3D daripada imej 2D dengan ketepatan yang tinggi tanpa memerlukan peralatan yang mahal.

2.0 KAJIAN LITERASI

Bab ini membincangkan kajian yang berkaitan dengan projek pembangunan aplikasi pembinaan semula muka 3D. Kajian literasi ini merupakan salah satu bahagian yang sangat penting dalam sesuatu projek kerana ia menyediakan asas pengetahuan yang kukuh untuk menyokong setiap komponen dan fungsi yang dibangunkan dalam aplikasi ini. Sebagai pengenalan kepada bab ini, kajian akan memberi tumpuan kepada aplikasi pembinaan semula muka 3D yang telah sedia ada di pasaran. Analisis akan dijalankan untuk memahami kekuatan dan kelemahan aplikasi-aplikasi tersebut serta mengenal pasti peluang untuk penambahbaikan. Untuk megemukakan perbandingan yang jelas dan senang difahami, berikut merupakan jadual 1 yang menunjukkan perbandingan aplikasi sedia ada iaitu FaceGen, Meshroom dan FaceBuilder(Blender) dengan aplikasi Reface3D dengan teliti.

Jadual 1 Perbandingan Aplikasi Sedia Ada

Aplikasi	Fungsi	Penerangan	Kebaikan	Kekurangan
FaceGen	Menjana model muka 3D berdasarkan foto atau data rawak menggunakan PCA.	Perisian yang membolehkan pengguna mencipta wajah 3D yang boleh disesuaikan dengan pelbagai ciri.	Menyokong pelbagai format eksport (OBJ, FBX, Collada) dan mempunyai kawalan terperinci untuk ubah suai ciri muka.	Julat variasi wajah terhad kerana bergantung kepada PCA Model dan tidak fleksibel

				dalam mencipta ciri muka unik.
Meshroom	Menggunakan teknik fotogrametri untuk membina model 3D daripada imej 2D.	Perisian pemodelan 3D berasaskan fotogrametri yang menggunakan set imej untuk menghasilkan model 3D secara automatik.	Menghasilkan model 3D yang terperinci jika imej berkualiti tinggi tersedia. Perisian sumber terbuka dan percuma.	Memerlukan foto yang berkualiti tinggi dan masa yang panjang untuk pemprosesan.
FaceBuilder (Blender)	Membantu pengguna membina model muka 3D dengan gambar rujukan menggunakan 3DMM.	Plugin Blender yang membolehkan pengguna membina model muka 3D dengan mudah menggunakan beberapa imej 2D sebagai rujukan.	Mudah digunakan dalam Blender tanpa memerlukan kemahiran pemodelan mendalam serta memudahkan pemetaan tekstur pada muka 3D.	Bergantung kepada dataset wajah yang terhad, menyukarkan pembinaan semula ciri unik seperti kedutan dan parut serta kurang berkesan dalam menangani ekspresi dinamik.
ReFace3D	Pembinaan semula muka 3D daripada imej 2D menggunakan GAN	Aplikasi yang membolehkan pengguna menghasilkan model muka 3D daripada imej 2D dengan bantuan GAN untuk pembinaan semula yang lebih realistik dan automatik.	Tidak memerlukan banyak imej, hanya satu imej 2D sudah mencukupi dan dapat menangani ciri unik seperti kedutan dan parut dengan lebih baik.	Kebergantungan kepada sambungan internet yang stabil, menyebabkan kelewatan, kegagalan pemprosesan jika pengguna mengalami sambungan internet yang perlahan atau tidak stabil

3.0 METHODOLOGI KAJIAN

Metodologi kajian adalah satu panduan untuk menyelesaikan masalah penyelidikan secara sistematik. Ia boleh difahami sebagai suatu cara yang mengkaji bagaimana penyelidikan dilakukan secara saintifik (Patel & Patel, 2019). Manakala kitaran hayat pembangunan perisian (SDLC) ialah rangka kerja untuk merancang, menganalisis, mereka bentuk, membangunkan, menguji dan menggunakan perisian. Terdapat banyak metodologi SDLC yang berbeza tersedia, masing-masing mempunyai kelebihan dan kekurangannya sendiri. Dalam kajian ini, metodologi SDLC yang akan digunakan ialah “*Agile Model*” kerana ia menggalakkan penilaian dan semakan secara iteratif untuk mengenalpasti ralat atau kesilapan dalam proses pembangunan ini.

Fasa Perbincangan Awal

Pada fasa ini, perbincangan awal bersama penyelia telah dijalankan bagi menentukan tajuk projek yang bersesuaian dengan bidang dan kemahiran pelajar. Seterusnya, masalah utama dalam bidang ini dikenal pasti, diikuti dengan penetapan skop projek dan objektif utama pembangunan aplikasi Reface3D. Pernyataan masalah juga disenaraikan melalui kajian literatur, termasuk pembacaan jurnal dan artikel terdahulu. Selain itu, carta Gantt turut disediakan untuk merancang dan menyusun semua aktiviti projek agar berjalan lancar dan siap dalam tempoh masa yang ditetapkan.

Fasa Perancangan

Aktiviti yang utama dalam fasa ini adalah mengumpul maklumat dan mengkaji keperluan pengguna terhadap aplikasi pembinaan semula muka 3D. Oleh itu, kajian ini menggunakan soal selidik untuk mendapatkan maklum balas tentang teknologi pembinaan semula muka 3D. Maklum balas daripada 30 orang responden dikumpul dan dianalisis dengan teliti dan menyeluruh. Dapatan kajian ini penting untuk memahami kemahiran, kefahaman, kesesuaian, dan keperluan pengguna terhadap aplikasi Reface3D.

Fasa Reka Bentuk

Pada fasa ini, reka bentuk aplikasi dilakukan setelah keperluan pengguna dikenal pasti melalui analisis. Antara muka pengguna dirangka berdasarkan fungsi teras aplikasi pembinaan semula muka 3D yang sedia ada. Reka bentuk dan seni bina sistem dipertingkatkan untuk mengatasi kelemahan dalam aplikasi terdahulu serta memenuhi jangkaan pengguna dari segi kemudahan penggunaan dan kefungsiannya.

Fasa Pembangunan

Pembangunan aplikasi Reface3D dimulakan dengan penggunaan GAN bagi menghasilkan semula muka 3D daripada imej 2D. Model 3D ini kemudiannya diintegrasikan ke dalam persekitaran AR menggunakan `ar_flutter_plugin` dalam Flutter. Fokus utama adalah memastikan semua fungsi dalam

aplikasi berfungsi seperti yang dirancang dan dapat menyelesaikan masalah pengguna. Ujian awal akan dijalankan untuk memastikan aplikasi berfungsi seperti yang dirancang.

Fasa Pengujian

Setelah pembangunan aplikasi selesai, ReFace3D akan diuji secara menyeluruh oleh kumpulan pengguna yang terdiri daripada 30 orang responden. Pengujian ini bertujuan menilai keberkesanan aplikasi dalam membina semula muka 3D daripada imej 2D. Maklum balas dikumpulkan melalui soal selidik untuk mengenal pasti kelemahan, ralat, dan cadangan penambahbaikan yang boleh dilaksanakan dalam versi seterusnya. Jenis pengujian yang dilaksanakan ialah pengujian unit dan pengujian kebolehgunaan di mana pengguna akhir akan menilai aplikasi dari aspek fungsi utama seperti memuat naik imej 2D, menjana model 3D, menyimpan hasil ke pangkalan data dan memaparkan model dalam persekitaran AR.

Fasa Penilaian

Fasa ini melibatkan penilaian aplikasi berdasarkan data pengujian dan maklum balas pengguna. Fungsi-fungsi yang tidak berkesan akan dikenalpasti dan ditambah baik. Penambahbaikan dari segi prestasi, antaramuka, dan kestabilan aplikasi akan dilaksanakan. Hasil penilaian ini menjadi asas penting bagi iterasi pembangunan seterusnya dalam kitaran *Agile*.

Pengguna memberi maklum balas dari segi ketepatan, kegunaan, kebolehgunaan, kemudahan kegunaan, kecekapan, estetika dan lain-lain. Terdapat 30 keping gambar 2D daripada *multiPIE* dataset juga akan digunakan dalam pengujian ini. Kedua-dua pengujian ini akan dijalankan melalui borang soal selidik dalam *Google Form* dengan mengumpul 30 orang responden. Soal selidik ini merangkumi soalan skala likert dan soalan terbuka mengenai penggunaan aplikasi ReFace3D. Keputusan analisis statistik bagi pengujian kebolehgunaan akan dinilai mengikut tahap prestasi berikut. Jadual 2 di bawah menunjukkan tahap prestasi berdasarkan skala skor min.

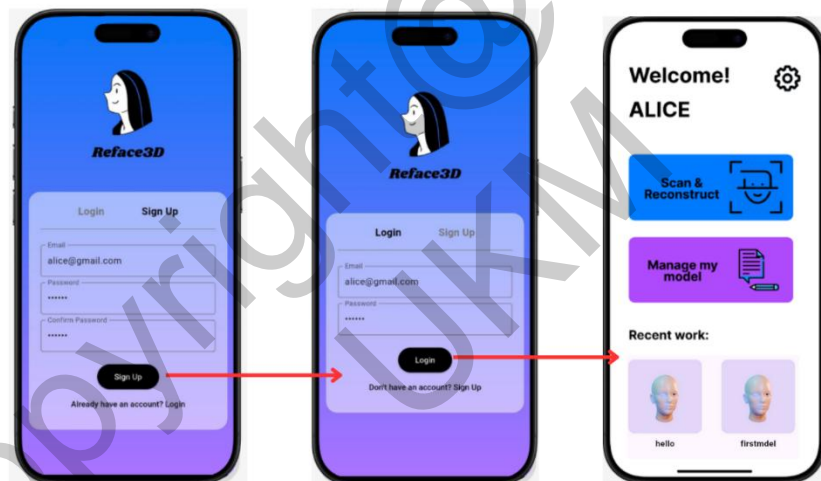
Jadual 2 Tahap prestasi berdasarkan skala skor min

Skala skor min	Tahap prestasi
0 hingga 1.67	lemah
1.68 hingga 3.34	sederhana
3.35 hingga 5	baik

4.0 KEPUTUSAN DAN PERBINCANGAN

Dalam bab ini, keputusan dan perbincangan telah dihuraikan secara terperinci bagi memastikan setiap komponen dan fungsi aplikasi dapat dilaksanakan dengan berkesan. Antara muka yang direka bentuk dengan baik adalah penting untuk memberi kesan yang baik kepada pengguna, memudahkan sistem yang kompleks, meningkatkan kecekapan dan mengukuhkan imej. Selain itu, keputusan analisis daripada soal selidik juga dikemukakan dalam bab ini untuk menunjukkan kebolegunaan, kebaikan dan kelemahan terdapat dalam aplikasi Reface3D ini.

Sebelum menggunakan aplikasi Reface3D, pengguna perlu mendaftar akaun dengan mengisi emel dan kata laluan mereka melalui antaramuka pendaftaran yang mesra pengguna. Selepas berjaya mendaftar, pengguna boleh log masuk ke dalam aplikasi dengan memasukkan emel dan kata laluan yang didaftarkan. Setelah log masuk, pengguna akan dibawa ke halaman utama aplikasi Reface3D, yang direka untuk memberikan akses mudah kepada ciri-ciri utama aplikasi. Rajah 1 di bawah menunjukkan antara muka pendaftaran, log masuk dan halaman utama bagi aplikasi Reface 3D.



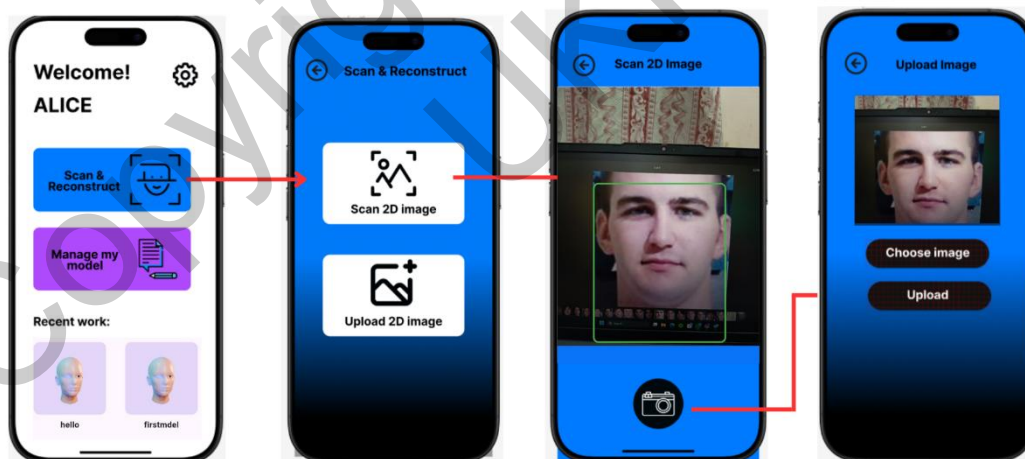
Rajah 1 Antara muka pendaftaran, log masuk dan halaman utama

Dalam paparan profil, pengguna boleh mengklik butang '*Account*' untuk melihat emel dan kata laluan yang digunakan untuk aplikasi ini. Pengguna diberi pilihan untuk menukar emel dengan mengisi dan mengklik butang '*Update Email*'. Pengguna juga boleh menukar kata laluan dengan mengisi dan mengklik butang '*Update Password*'. Rajah 2 di bawah menunjukkan antara muka akaun pengguna bagi aplikasi Reface 3D.



Rajah 2 Antara muka akaun pengguna

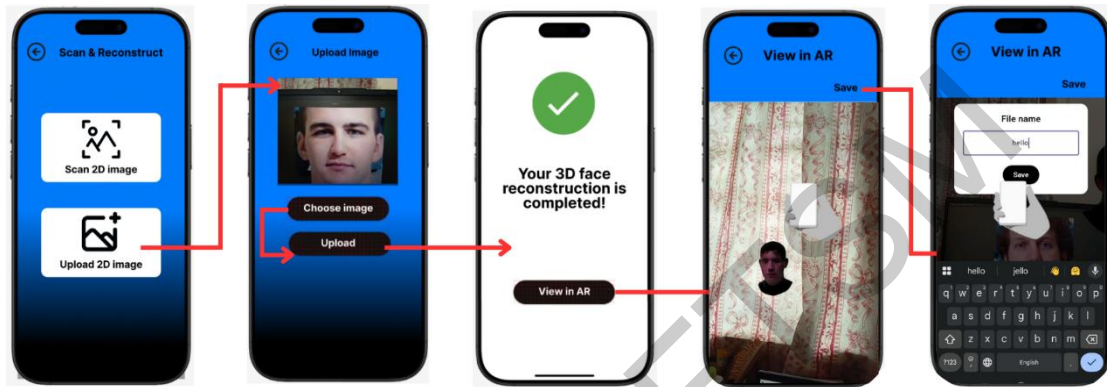
Pada halaman utama, apabila pengguna mengklik butang '*Scan & Reconstruct*,' aplikasi akan membawa pengguna ke pilihan untuk mengimbas imej 2D dan membina semula muka 3D. Pilihan yang tersedia termasuk '*Scan 2D Image*' dan '*Upload 2D Image*'. Jika pengguna memilih '*Scan 2D Image*', kamera akan dibuka untuk membolehkan pengguna mengimbas gambar 2D secara langsung. Selepas mengimbas imej, imej 2D tersebut akan dimuatnaik untuk disah oleh pengguna sebelum dihantar untuk pembinaana semula. Rajah 3 di bawah menunjukkan antara muka imbas dan bina semula bagi aplikasi Reface3D.



Rajah 3 Antara muka imbas imej 2D dan bina semula

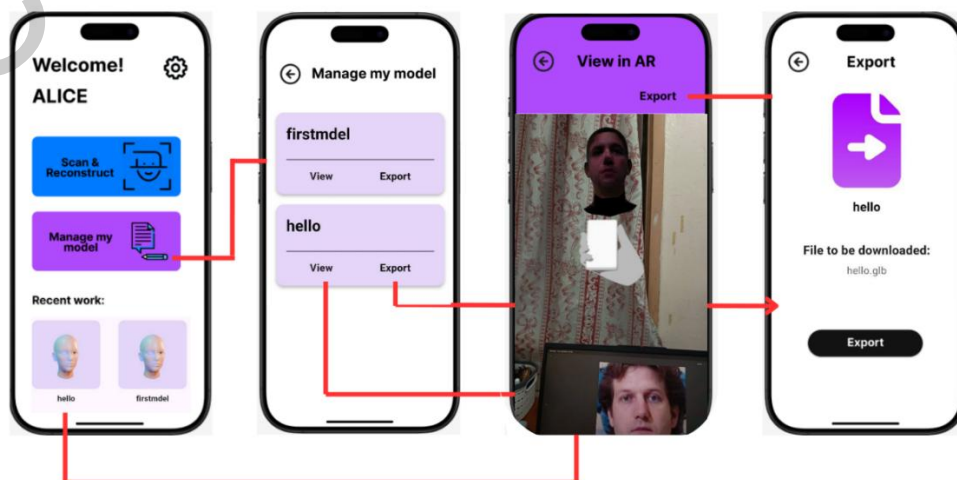
Seterusnya, dalam menu pilihan '*Scan & Reconstruct*', apabila pengguna memilih butang '*Upload 2D Image*,' mereka boleh memilih imej dengan mengklik '*Choose Image*' untuk memilih gambar 2D daripada galeri peranti. Setelah imej dipilih, pengguna boleh mengklik '*Upload*' untuk memuat naik gambar tersebut ke dalam aplikasi bagi proses pembinaana semula muka 3D. Selepas itu, halaman

pengesahan akan dipaparkan, membolehkan pengguna memilih *'View in AR'* untuk melihat model muka 3D dalam persekitaran mereka. Pengguna juga boleh mengklik *'Save'* untuk menyimpan model muka 3D tersebut dengan memberikan nama bagi projek ini. Rajah 4 di bawah menunjukkan antara muka muat naik dan bina semula bagi aplikasi Reface3D.



Rajah 4 Antara muka muat naik dan bina semula

Pada halaman utama, selain fungsi utama pembinaan semula muka 3D, pengguna juga boleh menguruskan model-model muka 3D yang telah dihasilkan sebelum ini. Halaman utama menyediakan butang *'Recent Work,'* yang memaparkan modul muka 3D yang dihasilkan baru-baru ini. Pengguna juga boleh menguruskan model muka 3D melalui butang *'Manage My Model,'* yang menyediakan pilihan seperti *'View'* dan *'Export.'* Apabila pengguna mengklik butang *'View,'* model 3D akan dipaparkan dalam persekitaran pengguna. Dari paparan *'View,'* pengguna boleh terus ke pilihan *'Export.'* Sementara itu, apabila pengguna mengklik butang *'Export,'* mereka boleh menyimpan model muka 3D dalam format fail *glb*. Rajah 5 di bawah menunjukkan antara muka urus model muka 3D bagi aplikasi Reface3D.



Rajah 5 Antara muka urus model muka 3D

Pengujian unit

Setiap fungsi dalam aplikasi Reface3D akan diuji dengan menggunakan pengujian unit dalam *google form*. Jadual 3 di bawah menunjukkan peratusan penguji berjaya menjalankan fungsi dalam aplikasi Reface3D. Keputusan peratusan ini menunjukkan bahawa semua penguji iaitu 30 orang responden dapat menjalankan setiap fungsi termasuk pendaftaran akaun, penukaran kata laluan dan log masuk, pengimbasan muka, muat naik imej 2D dan pembinaan semula muka 3D, pembinaan model terkini dan pengurusan model muka 3D dengan berjaya serta membuktikan setiap fungsi adalah berfungsi dan beroperasi dengan baik.

Jadual 3 Peratusan penguji berjaya menjalankan fungsi

Fungsi	Peratusan 30 orang Berjaya menjalankan fungsi berikut
Pendaftaran akaun	100%
Penukaran kata laluan dan log masuk	100%
Pengimbasan muka	100%
Muat naik imej 2D dan Pembinaan semula muka 3D	100%
Pembinaan model terkini	100%
Pengurusan model muka 3D	100%

Pengujian Kebolehgunaan

Dalam pengujian kebolehgunaan, faktor ketepatan akan dinilai secara berasingan kerana melibatkan skala likert terdiri daripada 10 pilihan. Tahap prestasi bagi faktor ketepatan akan dinilai berdasarkan ketepatan purata. Berdasarkan skala likert 10 pilihan, ketepatan purata model 3D adalah 90.3% daripada min skor 9.03 yang menunjukkan persepsi pengguna terhadap ketepatan model sangat positif. Majoriti responden memberikan skor antara 8 hingga 10, membuktikan ketepatan model sangat memuaskan dan sesuai digunakan dalam aplikasi Reface3D. Manakala keputusan analisis statistik bagi faktor kegunaan, kemudahan penggunaan, kecekapan dan estetika melibatkan skala likert terdiri daripada 5 pilihan dan jadual 4 di bawah menunjukkan tahap prestasi terhadap setiap faktor yang telah dianalisis.

Jadual 4 Tahap prestasi terhadap setiap faktor

Faktor	Skala Skor Min	Tahap Prestasi
Kegunaan	4.73	Baik
Kemudahan Penggunaan	4.74	Baik
Kecekapan	4.72	Baik
Estetika	4.78	Baik

Faktor pertama yang terlibat adalah faktor kegunaan. Faktor ini penting bagi menentukan sama ada sistem ini benar-benar memberi manfaat kepada pengguna dalam melaksanakan tugas mereka. Berdasarkan statistik yang diperoleh, nilai min bagi faktor ini adalah 4.73 dengan tahap prestasi baik. Ini menunjukkan bahawa majoriti pengguna bersetuju bahawa sistem ini berguna dan memenuhi keperluan mereka dalam penggunaan seharian.

Faktor yang kedua ialah kemudahan penggunaan. Faktor ini menilai sejauh mana pengguna merasakan sistem ini mudah untuk digunakan tanpa memerlukan latihan intensif. Nilai min yang diperoleh bagi faktor ini adalah 4.74, yang juga berada pada tahap baik. Ini menunjukkan bahawa kebanyakan pengguna tidak menghadapi kesukaran semasa berinteraksi dengan sistem dan dapat menggunakannya dengan lancar.

Seterusnya ialah faktor kecekapan. Faktor ini menguji sejauh mana sistem mampu membantu pengguna menyelesaikan tugas mereka dengan cepat dan berkesan. Daripada statistik, nilai min bagi kecekapan adalah 4.72, dengan tahap prestasi baik. Ini membuktikan bahawa sistem telah direka bentuk dengan baik dari segi aliran kerja dan keupayaan untuk meningkatkan produktiviti pengguna.

Faktor terakhir yang dinilai ialah Estetika. Faktor estetika merujuk kepada penampilan visual dan susun atur antara muka pengguna dalam sistem. Berdasarkan dapatan kajian, nilai min bagi estetika adalah 4.78, iaitu yang tertinggi antara semua faktor, dengan tahap prestasi baik. Ini menunjukkan bahawa pengguna amat menghargai reka bentuk visual sistem dan merasakan bahawa ia menarik serta menyumbang kepada pengalaman pengguna yang positif.

Cadangan penambahbaikan

Jadual 5 di bawah menunjukkan cadangan dan penambahbaikan diberi oleh pengguna bagi aplikasi Reface3D.

Jadual 5 Cadangan dan penambahbaikan diberi oleh pengguna

Soalan Terbuka	Kekerapan	Peratus
Cadangan dan penambahbaikan diberi oleh pengguna		
Masa pemprosesan muka 3D yang lebih laju	1	3.33
Menjadikan antara muka pengguna lebih responsif dan warna yang lebih menarik	2	6.67
Menyediakan panduan manual untuk pengguna	1	3.33
Meningkatkan interaktiviti dan visualisasi model muka 3D secara menyeluruh	4	13.33
Meningkatkan securiti akaun pengguna	1	3.33

Sebanyak 21 orang responden iaitu 70 pratus tidak memberi sebarang saranan. Namun, antara cadangan paling banyak adalah meningkatkan interaktiviti dan visualisasi model muka 3D secara menyeluruh yang dikemukakan oleh 4 orang responden iaitu 13.33 peratus. Cadangan ini berkemungkinan timbul kerana pengguna mengharapkan pengalaman yang lebih realistik dan dinamik semasa berinteraksi dengan model muka 3D, seperti fungsi putaran, zoom, dan animasi yang lebih lancar. Cadangan lain termasuk penambahbaikan antara muka agar lebih responsif dan menarik 6.67 peratus kerana ada sesetengah pengguna mendapati antara muka aplikasi tidak serasi dengan peranti mereka. Seterusnya, terdapat 3.33 peratus pengguna mencadangkan untuk mempercepatkan masa pemprosesan muka 3D kerana masa menunggu yang lama boleh mengganggu kelancaran penggunaan aplikasi Reface3D ini.

Selain itu, terdapat juga 3.33 peratus pengguna memberi cadangan berkaitan penyediaan panduan manual untuk pengguna yang menunjukkan bahawa sesetengah pengguna memerlukan bantuan atau arahan yang lebih jelas tentang cara menggunakan fungsi aplikasi, terutamanya bagi pengguna baharu. Akhir sekali, sebanyak 3.33 peratus pengguna mencadangkan agar sekuriti akaun pengguna ditingkatkan, seperti dengan menetapkan keperluan khas untuk kata laluan. Ini menunjukkan kebimbangan terhadap aspek keselamatan data peribadi dan akses akaun pengguna. Secara keseluruhannya, cadangan-cadangan ini menunjukkan bahawa pengguna mengutamakan aspek prestasi, pengalaman pengguna dan keselamatan dalam penggunaan aplikasi Reface3D.

5.0 KESIMPULAN

Aplikasi *Reface3D* telah berjaya dibangunkan mengikut objektif dan pernyataan masalah yang ditetapkan. Aplikasi ini bertujuan membina semula model muka 3D yang realistik daripada imej 2D menggunakan teknologi GAN, dan memaparkannya dalam persekitaran realiti terimbuh (AR). Keperluan pengguna telah dianalisis sebagai panduan sepanjang proses pembangunan. Aplikasi ini dijangka memberi manfaat dalam pelbagai bidang seperti pendidikan, forensik, hiburan, dan pengecaman wajah.

Kekangan

Sepanjang pembangunan aplikasi ini, beberapa kekangan telah dihadapi. Antaranya ialah kekurangan pengalaman teknikal dalam penggunaan GAN dan pembangunan AR, yang memerlukan masa pembelajaran yang panjang. Selain itu, plugin *ar_flutter_plugin* yang digunakan mempunyai had dari segi pengesanan permukaan serta tidak menyokong interaksi model 3D seperti putaran dan perubahan saiz. Tambahan pula, plugin ini tidak serasi dengan semua versi Flutter, menyebabkan isu semasa

pembangunan. Aplikasi ini juga bergantung kepada API pihak ketiga untuk menjana model 3D, namun pautan yang dijana hanya sah selama satu jam, menyukarkan proses pengujian dan pembangunan. Kekangan lain termasuklah keperluan kepada peranti yang menyokong Google Play Services for AR serta sambungan internet yang stabil bagi memastikan kelancaran fungsi aplikasi.

Cadangan Penambahbaikan

Beberapa penambahbaikan dicadangkan untuk meningkatkan prestasi dan keselamatan aplikasi. Antaranya ialah peningkatan dari segi privasi dan keselamatan data pengguna melalui penggunaan kata laluan kompleks dan pengesahan dua faktor. Dari sudut fungsi, aplikasi boleh ditambah dengan ciri penyelarasan model muka yang lebih terperinci seperti pelarasan kedutan, bentuk hidung dan bibir. Selain itu, penambahan elemen rambut pada model muka 3D juga dicadangkan bagi menjadikan model lebih realistik dan menyerupai imej asal. Penambahbaikan ini diharap dapat meningkatkan pengalaman pengguna serta menjadikan aplikasi Reface3D lebih lengkap dan praktikal untuk digunakan dalam pelbagai bidang.

6.0 PRNGHARGAAN

Penulis kajian ini ingin mengucapkan terima kasih kepada penyelia projek saya, Dr. Tan Siok Yee atas segala sokongan, tunjuk ajar, nasihat, dan bimbingan yang tidak pernah putus sepanjang perjalanan projek ini. Tanpa panduan dan kesabaran beliau, projek ini mungkin tidak dapat disempurnakan dengan baik.

Penulis kajian ini juga ingin mengucapkan terima kasih kepada seluruh warga Fakulti Teknologi dan Sains Maklumat (FTSM) yang telah membantu saya sama ada secara langsung atau tidak langsung, terutamanya warga yang sudi menjadi penguji aplikasi ini. Semoga setiap usaha kita diberkati dan memberi manfaat kepada semua. Terima kasih!

7.0 RUJUKAN

- A. R. Priyadharshini & R. Annamalai. (2024). Identification and Reconstruction of Human Faces into 3D Models Using SSD-Based and Attention Mesh Models in Real-Time. *SN COMPUT. SCI.*5.
- Berar, M., Tilotta, F., Glaunès, J. A., Rozenholc, Y., Desvignes, M., Bucki, M., & Payan, Y. (2011). *Facial Reconstruction as a Regression Problem* (pp. 68–87). <https://doi.org/10.4018/978-1-60960-483-7.ch005>
- Diao, H., Jiang, X., Fan, Y., Li, M., & Wu, H. (2024). 3D Face Reconstruction Based on a Single Image: A Review. *IEEE Access*, 12, 59450–59473. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2024.3381975>
- Egger, B., Smith, W. A. P., Tewari, A., Wuhler, S., Zollhoefer, M., Beeler, T., Bernard, F., Bolkart, T., Kortylewski, A., Romdhani, S., Theobalt, C., Blanz, V., & Vetter, T. (2019). *3D Morphable Face Models -- Past, Present and Future*. <http://arxiv.org/abs/1909.01815>

- Enesi, I., & Kuqi, A. (2023). Performance Analysis for 3D Reconstruction Objects in Meshroom and Agisoft—A Comparative Study. *International Journal of Online and Biomedical Engineering*, 19(5), 22–41. <https://doi.org/10.3991/ijoe.v19i05.37257>
- Gandhi, A., Zhou, C., & Calabrese, S. (n.d.). *Full Body 3D Scanning 3D Photography: Final Project Report Full Body 3D Scanning*. <https://www.researchgate.net/publication/265205391>
- Gecer, B., Ploumpis, S., Kotsia, I., & Zafeiriou, S. (2019). *GANFIT: Generative Adversarial Network Fitting for High Fidelity 3D Face Reconstruction*. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2019.00125>
- George, S., Arockiasamy, I., Duraivel, S., & Masilamani, V. (2024). *GANs in Nursing Education*. <https://ssrn.com/abstract=4992163>
- Ibáñez-Sánchez, S., Orús, C., & Flavián, C. (2022). Augmented reality filters on social media. Analyzing the drivers of playability based on uses and gratifications theory. *Psychology and Marketing*, 39(3), 559–578. <https://doi.org/10.1002/mar.21639>
- Indrit Enesi, B., & Kuqi, A. (n.d.). Evaluation of the 3D Reconstruction Performance of Objects in Meshroom: A Case Study. *Athens Journal of Technology & Engineering*, 2023, 1–21. <https://doi.org/10.30958/ajte.X-Y-Z>
- Islam, M. R., & Mazumder, T. A. (2010). Mobile Application and Its Global Impact. In *Article in International Journal of Engineering and Technology*. <https://www.researchgate.net/publication/308022297>
- Malah, M., Abbas, F., Agaba, R., Bardou, D., & Babahenini, M. C. (2024). MPF-GAN: an enhanced architecture for 3D face reconstruction. *Multimedia Tools and Applications*. <https://doi.org/10.1007/s11042-024-20326-4>
- Patel, M., & Patel, N. (2019). Exploring Research Methodology: Review Article. *International Journal of Research and Review Keywords: Research, Methodology, Research Methodology*, 6. www.ijrjournal.com
- Rasheed, A. S., Finjan, R. H., Hashim, A. A., & Al-Saeedi, M. M. (2021). 3D face creation via 2D images within blender virtual environment. *Indonesian Journal of Electrical Engineering and Computer Science*, 21(1), 457–464. <https://doi.org/10.11591/ijeecs.v21.i1>
- Rasnacis, A., & Berzisa, S. (2017). Method for adaptation and implementation of agile project management methodology. *Procedia Computer Science*, 104, 43–50. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2017.01.055>
- Sadhukhan, M., Bhattacharya, I., & Dutta, P. (2025). *FUGAN: A GAN Based Facial Reconstructor for Accurate Unveiling of Hidden Faces* (pp. 114–129). https://doi.org/10.1007/978-3-031-78172-8_8
- Sharma, S., & Kumar, V. (2022). 3D Face Reconstruction in Deep Learning Era: A Survey. In *Archives of Computational Methods in Engineering* (Vol. 29, Issue 5, pp. 3475–3507). Springer Science and Business Media B.V. <https://doi.org/10.1007/s11831-021-09705-4>
- Towner, H., & Slater, M. (n.d.). *Reconstruction and Recognition of Occluded Facial Expressions Using PCA*.

- Widanagamaachchi, W. N., & Dharmaratne, A. T. (2008). 3D Face reconstruction from 2D images a survey. *Proceedings - Digital Image Computing: Techniques and Applications, DICTA 2008*, 365–371. <https://doi.org/10.1109/DICTA.2008.83>
- Yuen, S. C.-Y., Yaoyuneyong, G., & Johnson, E. (2011). Augmented Reality: An Overview and Five Directions for AR in Education. *Journal of Educational Technology Development and Exchange*, 4(1). <https://doi.org/10.18785/jetde.0401.10>
- Zhou, L., Wu, G., Zuo, Y., Chen, X., & Hu, H. (2024). A Comprehensive Review of Vision-Based 3D Reconstruction Methods. In *Sensors* (Vol. 24, Issue 7). Multidisciplinary Digital Publishing Institute (MDPI). <https://doi.org/10.3390/s24072314>

Khew Lee Yee (A193067)

Dr. Tan Siok Yee

Fakulti Teknologi & Sains Maklumat

Universiti Kebangsaan Malaysia