

PERKEMBANGAN PENGGUNAAN AUGMENTED REALITY (AR) DALAM PENDIDIKAN KIMIA

Mohd Saharizal Mohd Baharuddin

*Mageswary Karpudewan

Pusat Pengajian Ilmu Pendidikan, Universiti Sains Malaysia

*kmageswary@usm.my

Abstract

This study presents a review of research on the use of augmented reality (AR) in Chemistry education. AR has emerged as a valuable pedagogical method that enhances the understanding of complex concepts across various educational levels. The findings of this study highlight the active utilization of AR technology in chemistry education and its proven effectiveness. Typically, AR technology is employed for the 3D visualization of atomic or molecular structures in the field of chemistry. However, there is a lack of AR software or applications specifically tailored for Chemistry education in Malaysia. There is a pressing need for easily accessible AR applications that can be developed without requiring advanced programming skills, to support chemical education in schools and higher education institutions. The exploration of AR technology holds undeniable value in Chemistry teaching and learning, as it has the potential to revolutionize chemistry education by promoting active learning, enhancing interest and motivation, and fostering students' mastery of chemical content and overall performance. The study concludes with the importance of developing AR-based chemical education, along with recommendations and directions for future research.

Keywords: Augmented Reality, Chemistry, Teaching and Learning

PENGENALAN

Perkembangan bidang teknologi yang menjadi lebih pesat adalah antara kesan daripada Revolusi Industri 4.0 yang dipacu oleh teknologi kecerdasan buatan, analitik data raya dan robotik telah menjadikan penguasaan kemahiran teknologi digital menjadi semakin penting ke arah transformasi pendidikan (Jamen et al., 2021). Walau bagaimanapun, kesemua agenda ke arah pembangunan digital ini dilihat hanyalah sebagai satu kenyataan retorik semata-mata sekiranya jurang digital masih meluas dalam negara Malaysia. Dasar pendidikan digital yang telah diterapkan dalam negara memberi tumpuan utama dalam meningkatkan kadar generasi fasih digital, mempertingkatkan pengintegrasian teknologi digital dalam pendidikan dan juga mengenal pasti strategi yang akan dilaksanakan untuk mengurangkan kadar jurang digital dalam pendidikan (Ayob et al., 2021). Penekanan terhadap aspek pendidikan digital ini juga dilihat selaras dengan matlamat pembangunan lestari ke-4 iaitu mendapat akses kepada pendidikan yang berkualiti dan juga matlamat ke-10 iaitu mengurangkan ketidaksamaan (Ayob et al., 2021).

Perkembangan inovasi dalam teknologi berevolusi dari semasa ke semasa telah membawa kepada penggunaan teknologi yang meluas dalam pelbagai sektor termasuk sektor pendidikan yang semakin berkembang pesat di seluruh dunia. Teknologi diperlukan dalam pendidikan kerana teknologi menggalakkan pembelajaran aktif yang bergantung kepada individu dan secara tidak langsung meningkatkan perkembangan intelektual (Romainor et al., 2022). Daripada kajian lepas, pelbagai bentuk integrasi teknologi yang telah dipraktikkan ke dalam pelbagai disiplin pendidikan menunjukkan bahawa teknologi dapat meningkatkan motivasi, minat serta pengalaman dalam pengajaran dan pembelajaran (Muhammad Pozi & Khalid, 2017). Salah satu teknologi dalam dunia pendidikan yang mendapat perhatian dan semakin diminati adalah seperti realiti berperantaraan (AR).

Walaupun AR telah diperkenalkan sekitar 50 tahun belakangan ini, namun penggunaan secara aktif sejak awal tahun 2000 menyebabkan perkembangan perisian mencipta dan mensimulasikan AR dipertingkatkan dengan ketersediaan peranti mudah alih yang menjadikannya berperanan penting dalam bidang pendidikan hari ini (Nechypurenko et al., 2018). Menurut Romainor et al. (2022), terdapat kajian lepas menyatakan penggunaan pertama AR dalam pendidikan kimia dengan membina animasi kimia untuk membantu pelajar memahami konsep kimia yang abstrak diperkenalkan oleh Wu et al. (2001). Kimia adalah salah satu subjek yang mempunyai ciri-ciri abstrak mikroskopik yang jarang digambarkan oleh guru dan memerlukan media pembelajaran seumpama AR untuk membantu memindahkan konsep abstrak dan aktiviti simulasinya (Astuti et al., 2020). Penyelidikan mengenai AR dalam bidang Kimia menjadi semakin popular dan telah menunjukkan potensi besar (Romainor et al., 2022). Oleh kerana AR adalah teknologi yang sedang berkembang, adalah penting untuk kita menyedari bahawa kepentingan dan manfaatnya yang signifikan dalam pendidikan terutama bidang kimia dan berkeperluan untuk membangunkan aplikasi yang sesuai untuk menyokong kurikulum kimia di sekolah.

LATAR BELAKANG KAJIAN

Kajian lepas telah mendapati bahawa pelajar menghadapi kesukaran menguasai mata pelajaran Kimia (Abdinejad et al., 2021; Eriksen et al., 2020; Mahanan et al., 2021; Rogério da Silva et al., 2019). Kesukaran mata pelajaran Kimia secara keseluruhannya berlaku disebabkan konsep abstrak dan faktor kompleks melibatkan tahap pemahaman yang dibahagikan kepada tiga peringkat (Hardy et al., 2021; Jamen et al., 2021; Shahizah Mahamd Shobri et al., 2021; Talib et al., 2019). Tahap pertama iaitu makroskopik atau peringkat deskriptif menggambarkan fenomena sebenar yang dapat dilihat di dunia sebenar dan ciri-ciri penting memerlukan pemerhatian yang boleh dikesan oleh deria (Hamzah, 2017). Tahap sub-mikroskopik atau peringkat interpretasi pula memerlukan pelajar memberi tumpuan mengenal pasti zarah atau jirim yang tidak boleh dilihat atau dikesan dengan deria. Akhir sekali, peringkat perwakilan atau peringkat simbolik untuk mengetahui formula, persamaan dan perwakilan matematik (stoikiometrik) (Nuraida et al., 2021). Pelajar sering mempunyai masalah memisahkan tahap ini dan secara konseptual memindahkan setiap tiga peringkat kepada yang lain. Konsep kimia menggerunkan pelajar kerana mereka dikehendaki untuk mengimajinasikan secara keseluruhan mikro dan makro. Ini menjadikan pengalaman pembelajaran mereka sangat mencabar. Walau bagaimanapun, kebolehan imaginatif pelajar adalah terhad, dan sukar bagi membayangkan zarah dan atom. Tidak semua pelajar dapat membayangkan objek dengan cara yang sesuai. Realitinya, kaedah tertentu diperlukan dalam proses pengajaran kimia untuk meningkatkan kebolehan visualisasi (Nechypurenko et al., 2018). Dalam hal ini, teknologi moden dibangunkan untuk mengatasi isu yang jelas terutamanya berkaitan visualisasi untuk memahami konsep abstrak dalam kurikulum kimia. Realiti Berperantaraan (AR) ialah teknologi moden yang dijangka menyediakan penyelesaian masalah yang dinamik dan pertama kalinya diperkenalkan oleh Wu, Krajcik, dan Soloway (2001) yang

telah membina animasi kimia untuk membantu pelajar memahami konsep abstrak Kimia. Annetta dan Shapiro (2019) turut menyatakan bahawa implikasi menggabungkan AR ke dalam pendidikan kimia boleh merapatkan jurang antara skala sub-mikroskopik, mikroskopik dan makroskopik dalam pengajaran dan pembelajaran kimia.

Terdapat beberapa kajian lepas yang telah menentukan pelbagai perspektif berkaitan mentakrifkan AR berdasarkan kepakaran individu. Menurut Annetta dan Shapiro (2019), berdasarkan beberapa takrifan penyelidik terdahulu, AR adalah situasi konteks dunia sebenar yang ditindih secara dinamik dengan maklumat maya atau kandungan multimedia sama ada berasaskan penanda atau tidak dan terhad kepada paparan kamera peranti pintar. Berdasarkan sorotan kajian Romainor et al., (2022), Wu et al (2013) percaya bahawa AR harus ditakrifkan sebagai sistem yang mempunyai tiga ciri penting; gabungan dunia dalam maya dan realiti, interaksi masa nyata dan bentuk tiga dimensi tepat objek maya yang disepadukan dengan objek dan persekitaran sebenar. Kebiasaannya, penyelidik memberi definisi AR berdasarkan ciri-ciri seperti yang dinyatakan Azuma (1997). AR mempunyai tiga ciri-ciri iaitu (a) menggabungkan objek sebenar dan maya; (b) menyediakan peluang untuk interaksi masa nyata; dan (c) menyediakan penanda tepat objek maya dan sebenar tiga dimensi (Azuma, 1997). Secara keseluruhannya, AR adalah teknologi yang membolehkan pengguna melihat objek maya dalam paparan imej persekitaran dunia sebenar. Pengguna dapat memberi maklum balas segera secara interaktif terhadap objek maya pada persekitaran dunia sebenar melalui paparan AR yang dipertingkatkan dengan menggabungkan elemen visual (grafik atau animasi), teks dan audio.

Pengalaman AR ini telah menjadi satu trend yang sangat ketara dan dianggarkan tahun 2023 ini terdapat 2.4 bilion pengguna mudah alih AR di seluruh dunia (Sinha, 2021). Para penyelidik pelbagai bidang pengajian dari seluruh dunia banyak memfokuskan kajian mereka terhadap kesesuaian dan kebolegunaan AR (Rogério da Silva et al., 2019) untuk diaplikasikan dalam bidang mereka. Walaupun kelebihan dan potensi AR banyak didedahkan oleh penyelidik terdahulu, namun pengkhususan kegunaan AR dalam proses pengajaran dan pembelajaran masih tidak mencukupi kerana banyak isu yang dihadapi pelajar untuk menguasai kandungan kimia serta motivasi, minat dan sikap mereka terhadap pembelajaran kimia.

Teknologi AR Dalam Pendidikan

Teknologi AR digunakan dalam banyak bidang seperti pendidikan kerana ia membolehkan integrasi kandungan maya dengan dunia sebenar (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Mazzuco et al., 2022; Romainor et al., 2022). Banyak kajian menunjukkan bahawa AR menyediakan kelebihan dalam pendidikan dengan kandungan digital yang ditambahkan pada imej sebenar, AR membolehkan pelajar mempunyai pengalaman pembelajaran berbeza dan berkesan (Akour et al., 2022; Estudante & Dietrich, 2020; Macariu et al., 2020; Mahanan et al., 2021). Pelajar mengalami pengalaman maya dalam bentuk 2D atau 3D serta merasai pembelajaran yang berbeza melalui gabungan objek termasuk teks, gambar dan animasi (Chang, 2021; Macariu et al., 2020; Mazzuco et al., 2022; Romainor et al., 2022). Maka, pelajar dapat memahami konsep pembelajaran dengan cepat melalui paparan format 3D yang terkandung dalam AR (Templeton, 2020).

Integrasi AR dalam pendidikan dapat membantu mengurangkan masa pembelajaran kerana penerangan sesuatu maklumat bagi sesuatu objek yang dipaparkan dengan ringkas dan padat. AR menjadikan pembelajaran lebih mudah untuk difahami oleh murid (Estudante & Dietrich, 2020; Macariu et al., 2020) kerana konsep yang abstrak disusun dengan jelas dan teratur khususnya untuk topik-topik yang sukar (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018; Laine et al., 2016). Penyelidikan menunjukkan bahawa AR menarik perhatian pelajar untuk memahami isi kandungan pelajaran (Chen & Liu, 2020; Hsu et al., 2017; Laine et al., 2016; Mystakidis et al., 2022; Sanii, 2020) dan

meningkatkan motivasi untuk belajar dengan konsisten (Chen & Liu, 2020; Estudante & Dietrich, 2020; Hsu et al., 2017; Laine et al., 2016; Romainor et al., 2022; Tschiersch et al., 2021). Menurut Abas dan Badioze Zaman (2010), mata pelajaran yang mengaplikasikan AR menyebabkan suasana pembelajaran lebih menyenangkan dan secara tidak langsung penglibatan pelajar menjadi lebih aktif dan menyumbang kepada peningkatan pemahaman konsep sukar dalam mata pelajaran tersebut (Jamen et al., 2021; Koutromanos et al., 2015).

AR juga berpotensi untuk meningkatkan kemahiran penyelesaian masalah, kerjasama dan komunikasi selain pengetahuan dan pemahaman konsep (Mystakidis et al., 2022). Keberkesanan paling ketara adalah apabila AR diimplementasikan dalam pendidikan dapat menggalakkan penglibatan pelajar lebih ramai berbanding pembelajaran secara tradisional (Estudante & Dietrich, 2020; Rogério da Silva et al., 2019). Ini dapat disimpulkan bahawa, penggunaan AR dalam pendidikan menjadikan proses pengajaran dan pembelajaran (PdP) lebih interaktif, menarik dan menyenangkan (Macariu et al., 2020; Templeton, 2020; Yusof et al., 2022).

Perkembangan AR Dalam Pendidikan Kimia

Menurut Macariu et al. (2020), AR telah diterima sebagai kaedah pembelajaran berkesan dan menjadi pelengkap kepada pembelajaran tradisional, terutamanya dalam bidang kimia. AR menjadi satu kaedah visualisasi yang bersesuaian untuk pembelajaran mata pelajaran kimia kerana dapat meminimumkan aras makroskopik dan sub-mikroskopik. Malkoc (2017) menyatakan bahawa pengajaran visualisasi sama ada animasi atau grafik 3D adalah lebih jelas dan sesuai untuk pengajaran kimia. Proses dalam bidang kimia seperti tindak balas kimia atau gerakan molekul yang digambarkan dalam grafik dan animasi mempunyai keupayaan persembahan visual boleh dilihat secara langsung, seterusnya menjadikan pembelajaran yang menarik dan berkesan. Kandungan dan konsep abstrak seperti struktur kimia, ikatan kimia dan zarah kimia berkemungkinan menjadi sukar untuk difahami bagi sesetengah pelajar yang memerlukan alat bantuan secara sentuhan atau visualisasi untuk membina pengetahuan baharu dan boleh menguatkan pemahaman (Templeton, 2020). Oleh itu, jelas bahawa AR perlu dalam pendidikan kimia untuk membantu pelajar memahami konsep kimia yang sukar.

Selain itu, AR telah menjadi popular dalam pendidikan kerana ia tidak semestinya memerlukan perkakasan dan peralatan futuristik yang terlalu mahal (Ibáñez & Delgado-Kloos, 2018). Beberapa platform yang biasa digunakan untuk membangunkan aplikasi AR mempunyai kelebihan dan ciri yang berbeza serta kebergantungan terhadap kemahiran komputer seseorang pengguna untuk memilih platform berasaskan keperluan dan objektif pembelajaran. Menurut Estudante dan Dietrich, (2020) platform membangunkan aplikasi AR seperti Metaverse Studio mempunyai potensi besar kepada guru-guru kerana ia memberi peluang baru bagi memperkayakan aktiviti pembelajaran. Metaverse studio bukan sahaja platform dalam talian yang boleh digunakan secara percuma, tetapi ia juga membolehkan pengguna membangunkan media pengajaran mereka sendiri dengan mudah tanpa memerlukan kemahiran pengaturcaraan yang tinggi (Callum & Parsons, 2019). Platform seperti Metaverse studio secara tidak langsung membantu guru kimia yang kurang mahir dalam bidang komputer untuk membina aplikasi AR dengan mudah serta mengubah gaya pembelajaran, terutamanya dalam bidang kimia. Metaverse sesuai untuk pembelajaran kimia di Malaysia kerana ia adalah platform percuma dan mudah digunakan yang membantu guru menjadikan AR sebagai kaedah pembelajaran yang menarik minat pelajar, meningkatkan pemahaman mereka serta mewujudkan pembelajaran bermakna.

Terdapat aplikasi AR yang dibangunkan bagi membangkitkan minat dan rasa ingin tahu kanak-kanak dan pelajar untuk mempelajari kimia dengan cara yang interaktif. Macariu et al., (2020) telah mencadangkan *ARChemistry Learning* sebagai aplikasi AR yang digunakan untuk

membantu kanak-kanak atau mereka yang ingin belajar kimia dengan meneroka dunia melalui peranti pintar. Aplikasi AR seumpama ini memberi peluang kepada pelajar bukan sahaja untuk memahami konsep sukar difahami tetapi membolehkan interaksi dengan objek maya dengan perwakilan struktur zarah pelbagai warna, dan mempunyai ciri-ciri pengecaman teks pada mana-mana perkataan dari buku kimia bagi capaian maklumat dari laman atas talian (Macariu et al., 2020). Ciri-ciri bantuan interaktif berdasarkan elemen visual membolehkan pengguna mengetahui jawapan dan membina pengetahuan secara langsung. Guru kimia boleh membantu pelajar untuk memahami konsep sukar dengan media interaktif seperti aplikasi AR dengan lebih cepat berbanding menggunakan buku teks yang memaparkan teks dan grafik statik. Terdapat juga beberapa aplikasi seperti *Arloon Chemistry*, *AR VR Molecules Editor Free* dan lain-lain sebagai alat bantu mengajar kimia menggunakan AR (Nechypurenko et al., 2018). Walaupun terdapat usaha dan kajian yang melibatkan teknologi AR dalam pendidikan, namun penghasilan bahan rujukan yang mengintegrasikan AR seperti buku teks dan aplikasi dalam pendidikan di Malaysia khususnya bidang kimia masih tidak mencukupi dan belum digunakan di dalam bilik darjah.

MoleculArWeb turut menawarkan aplikasi web AR interaktif untuk pendidikan kimia yang membolehkan guru membangunkan aktiviti menarik bagi pelajar meneroka kimia secara interaktif serta dapat diakses secara meluas tanpa batasan perkakasan atau kos yang tinggi (Rodríguez et al., 2021). Hasil tinjauan Rodríguez et al. (2021) menunjukkan bahawa ribuan akses ke MoleculArWeb membuktikan kemudahan penggunaannya sebagai aplikasi web berasaskan AR dapat digunakan dengan berkesan oleh guru untuk mengajar kimia dalam meneroka struktur molekul secara dinamik, kreatif dan interaktif. Aplikasi web AR seumpama MoleculArWeb juga boleh digunakan oleh pelajar dan guru di Malaysia sebagai sumber rujukan interaktif dalam pembelajaran kimia. Sekurang-kurangnya, ia memberi peluang kepada pelajar dan guru dengan pengalaman pembelajaran yang lebih berkesan.

Hasil penemuan Yang et al. (2018) dalam kajian persepsi bakal siswazah guru kimia di sebuah universiti di China terhadap pendidikan kimia dalam penyelesaian beberapa aktiviti sendiri dan amali menggunakan bantuan platform AR mudah alih, *Mobility Augmented Reality* (MAR) telah mendedahkan sikap positif terhadap pengalaman pembelajaran kimia yang mendalam dan keberkesanan pembelajaran kimia dibantu aplikasi MAR. Implikasi kajian ini menekankan kepentingan bantuan teknologi seperti peranti pintar membolehkan pengguna mengikuti aktiviti pembelajaran tanpa kehadiran guru (Estudante & Dietrich, 2020; Yang et al., 2018). Pembelajaran sendiri membolehkan pelajar mempelajari kimia dengan lebih mendalam dan berkesan dengan membina pengalaman pembelajaran yang lebih bermakna. Pembelajaran sendiri adalah penting, terutamanya semasa pengajaran dan pembelajaran di rumah (PdPR), kerana pelajar akan bersendirian tanpa kehadiran guru atau rakan secara fizikal untuk membantu mereka belajar (Mohd Amin & Mohamad Nasri, 2021). Sekiranya pelajar kurang atau tidak memahami isi pembelajaran, mereka boleh mengulang isi pembelajaran dengan menggunakan peranti dan aplikasi AR sendiri. Kemampuan teknologi seumpama MAR dalam pendidikan kimia boleh digunakan pada masa akan datang dan boleh dipercayai serta komprehensif, yang membolehkan pemikiran pedagogi sebagai elemen penting yang perlu diambil kira (Yang et al., 2018). Penyelidikan Schmid et al (2020) turut membuktikan bahawa pemahaman mengenai struktur kompleks termasuk struktur atom orbital dan alotrop unsur melalui model kiub 3D AR adalah lebih baik dan boleh digunakan sebagai alternatif pelajar untuk belajar sendiri.

Dalam peringkat pengetahuan sains (kimia), penggunaan multimedia melalui simulasi membolehkan pelajar memahami dan menguasai konsep yang tidak dapat dilihat oleh mata kasar seperti atom, pembentukan ion dan struktur molekul (Doyle et al., 2019; Nor et al., 2019). Kebanyakan aplikasi AR yang tersedia dalam bidang kimia mempersembahkan struktur zarah dan

kekisi hablur dalam visual tiga dimensi dan empat dimensi (Annetta & Shapiro, 2019; Cai et al., 2014; Nechypurenko et al., 2018; Yang et al., 2018). Menurut kajian Annetta & Shapiro (2019), mengenai penggunaan aplikasi AR dalam kelas untuk mengajar kimia dengan intervensi elemen 4D Daqri, menunjukkan bahawa AR adalah cara yang menarik bagi melibatkan kedua-dua pelajar dan pengajar di seluruh kurikulum K-20 untuk menggunakan teknologi baru dan inovatif. Aplikasi AR Daqri Elemen 4D dilengkapi dengan rancangan pelajaran yang boleh berfungsi sebagai penyelesaian pembelajaran bersesuaian dalam kurikulum kimia (Annetta & Shapiro, 2019). Begitu juga Su Cai et al. (2014) yang telah memberi tumpuan perkembangan imaginatif pelajar untuk menggambarkan dan mentafsir struktur tiga dimensi zarah molekul menggunakan set pembelajaran AR melalui penanda yang dinamakan AR Tool. Strategi pembelajaran dengan pendekatan AR secara *hands-on* membolehkan pelajar mengekalkan pemahaman konseptual mengenai topik unsur kimia (Chen & Liu, 2020). Hasil penemuan ini disokong Nechypurenko et al (2018) yang juga percaya bahawa teknologi AR diperlukan untuk meningkatkan imaginasi pelajar bagi menggambarkan struktur zarah seperti atom dan molekul, kerana tidak semua pelajar dapat menggambarkan struktur zarah dengan tepat melalui imaginasi mereka yang terhad. Oleh itu, pengintegrasian AR dalam strategi pengajaran mampu membantu menyelesaikan isu pembelajaran kimia kerana keupayaannya membolehkan pelajar memerhati objek maya yang mewakili struktur zarah tanpa imaginasi sendiri. Hasil penyelidikan mereka telah membuktikan pengaruh positif bahawa AR dapat meningkatkan pengetahuan konsep (Chen & Liu, 2020) dan prestasi kimia (Cai et al., 2014; Jamen et al., 2021) serta membangkitkan minat (Chen & Liu, 2020; Macariu et al., 2020) dan memberi pengalaman penerokaan yang bermakna (Cai et al., 2014).

Jadual 1: Aplikasi AR dalam pendidikan Kimia

Aplikasi AR	Sub topik kimia	Sampel kajian
<i>AR Tool</i>	Struktur 3D Zarah	Cai et al., (2014)
<i>AR-oriented Model-Based Inquiry (MBI)</i>	Tindak balas asid dan bes	Boonterng & Srisawasdi (2015)
<i>Mobility Augmented Reality (MAR)</i>	Struktur 4D atom dan molekul	Yang et al. (2018)
<i>4D Elements Daqri</i>	Struktur 4D atom dan molekul	Annetta & Shapiro (2019)
<i>Merge Cube: Structural Chemistry 2.0</i>	Struktur kekisi hablur dan model kompleks	Schmid et al. (2020)
<i>ARChemistry Learning</i>	Struktur atom Unsur 3D	Macariu et al. (2020)
<i>3-D Molecular Visualization Augmented Reality (V-MAX)</i>	Ikatan kimia	Jamen et al., (2021)
Modul ProCAR	Perubahan Keadaan Jirim	Mahanan et al., (2021)
<i>AR Lab</i>	Penggunaan Radas Makmal	Rogério da Silva et al., (2019)

Terdapat juga hasil kajian lepas yang mendedahkan bahawa modul pembelajaran inkuiri yang dipertingkatkan teknologi AR menunjukkan persepsi positif pelajar terhadap pembelajaran tindak balas kimia asid-bes (Boonterng & Srisawasdi, 2015). Menurut Boonterng dan Srisawasdi (2015), teknologi AR membantu pelajar meningkatkan kemahiran berfikir kritis mereka dengan memperoleh model saintifik yang betul, membolehkan pelajar membanding dan menilai model lain seterusnya membina model mereka sendiri berdasarkan fenomena yang berlaku. Ini menunjukkan bahawa persekitaran pembelajaran berasaskan inkuiri yang berorientasikan AR mempunyai keupayaan untuk meningkatkan cara pelajar mempelajari kimia dan membawa mereka untuk memikirkan dan mengkritik fenomena asid-bes dengan cara yang bermakna.

Pembelajaran melalui aktiviti amali dalam makmal turut membantu pelajar memahami konsep kimia yang sukar. Makmal maya yang dipertingkatkan dengan teknologi AR turut diberi perhatian dengan tujuan untuk mengatasi cabaran pengurusan makmal seperti pengendalian bahan kimia makmal yang terhad, saiz kelas yang besar dan kekurangan peralatan dan radas makmal (Rogério da Silva et al., 2019; Tee et al., 2018). Alat pentitratan AR yang dikendalikan oleh peranti pintar menggunakan maklum balas pantas secara interaktif untuk menggambarkan dengan tepat perubahan warna pada penunjuk. Ini menjimatkan wang dan mengurangkan penggunaan bahan cecair, mengurangkan risiko kecederaan makmal dan kesan buruk kepada alam sekitar (Tee et al., 2018). Rogério da Silva et al. (2019) juga menghasilkan aplikasi makmal AR untuk mengkaji keberkesanan makmal AR sebagai alat bantu pengajaran untuk menggantikan kelas konvensional di makmal kimia. Mereka juga mengkaji sama ada aplikasi ini boleh digunakan di sekolah yang tidak mempunyai dana untuk makmal kimia. Walaupun objektif penyelidikan menggunakan AR Lab untuk menilai seberapa baik pelajar memahami arahan prosedur dan aplikasi, ciri-ciri yang lebih baik seperti tindak balas kimia, air dan api perlu dipertimbangkan untuk penambahbaikan aplikasi pada masa hadapan (Rogério da Silva et al., 2019). Makmal maya yang dipertingkatkan menggunakan teknologi AR adalah alternatif yang sesuai di Malaysia ialah kerana ia menangani isu pengurusan makmal seperti pengendalian bahan kimia yang terhad, saiz kelas yang besar, dan kekurangan peralatan dan alatan.

Di Malaysia, terdapat beberapa penyelidikan AR sebagai teknologi yang dibangunkan membantu dalam kajian STEM dengan menggabungkan AR dan STEM dalam bidang kimia (Ajit et al., 2021). Modul ProCAR dibangunkan dengan pendekatan pembelajaran berasaskan projek dalam pembelajaran perubahan keadaan jirim bagi mendedahkan potensi penglibatan aktif pelajar untuk membina pengetahuan dalam STEM (Mahanan et al., 2021). Begitu juga penyelidikan Jamen et al., (2021) yang menggunakan teknologi AR dalam permainan 3-D *Molecular Visualization Augmented Reality (V-MAX)* untuk membantu pelajar meningkatkan visualisasi topik ikatan kimia telah menunjukkan lonjakan drastik dengan peningkatan markah bagi semua pelajar.

Kajian yang dijalankan oleh Jamen et al., (2021) menggunakan kaedah permainan kad yang dipertingkatkan dengan teknologi AR untuk memaparkan visualisasi geometri molekul secara 3 dimensi sebagai intervensi pembelajaran topik ikatan kimia. Menurut Jamen et al., (2012) pembelajaran berasaskan permainan dengan AR sebagai aktiviti pengukuhan membantu pelajar menghubungkaitkan konsep asas kimia seperti jadual berkala unsur, mengimbangi persamaan dan pengiraan mol. Aktiviti pembelajaran berasaskan permainan AR sangat merangsang pelajar untuk menemui konsep saintifik serta meningkatkan perhatian dan motivasi pelajar menjadi aktif (Estudante & Dietrich, 2020). Ini menunjukkan AR telah mendatangkan impak yang positif dalam meningkatkan penglibatan murid serta prestasi pencapaian murid dalam pembelajaran topik kimia. Keberkesanan AR dalam pembelajaran kimia seharusnya diberi perhatian mengenai salah satu inovasi strategi pembelajaran yang bersesuaian dalam bilik darjah.

KESIMPULAN

Penerapan penggunaan AR yang semakin meningkat dan diterima di Malaysia, khususnya dalam bidang pendidikan, membuka peluang baharu untuk menambah baik pembelajaran secara lebih interaktif dan sebagai alat bantu pembelajaran yang berkesan dan inovatif. Pembangunan perisian dan aplikasi AR lebih mudah didapati dan lebih murah. Terdapat lebih banyak peranti AR di pasaran, termasuk telefon pintar, tablet dan set kepala AR yang membolehkan lebih ramai pelajar dan guru mengakses teknologi AR dan menggunakannya untuk pembelajaran. AR semakin digunakan dalam pendidikan untuk mengajar pelbagai mata pelajaran, termasuk matematik, sains, sejarah dan bahasa.

Penggunaan AR dalam pendidikan kimia boleh membantu pelajar mempelajari konsep kimia dengan lebih interaktif dan visual, yang boleh meningkatkan pemahaman dan minat mereka dalam bidang kimia. Dalam pembelajaran kimia, AR digunakan untuk mencipta model molekul 3D, simulasi makmal maya, dan tutorial pembelajaran interaktif. Guru boleh mencipta model molekul 3D yang interaktif dan realistik. Model ini boleh dimanipulasikan oleh pelajar supaya mereka boleh belajar tentang struktur molekul dan cara ia berinteraksi. AR membolehkan pelajar berinteraksi dan meneroka dunia kimia dengan cara yang mengasyikkan dan menghiburkan berbanding sebelum ini.

Dalam pendidikan kimia, sebahagian eksperimen mungkin berbahaya atau mahal. Menggunakan AR, guru boleh mencipta makmal maya yang membolehkan pelajar menjalankan eksperimen dengan selamat dan bebas risiko. AR boleh digunakan untuk mencipta simulasi interaktif tindak balas kimia. Pelajar boleh memanipulasi pemboleh ubah seperti kepekatan dan suhu untuk menyiasat bagaimana tindak balas kimia berubah. Selain itu, AR boleh memberikan pengalaman pembelajaran yang lebih interaktif kerana pelajar boleh menggunakan tangan mereka sendiri untuk memanipulasi objek maya dan menjalankan eksperimen.

Pembelajaran berasaskan permainan menggunakan AR juga boleh diwujudkan, di mana pelajar boleh mempelajari konsep kimia dengan berinteraksi dengan dunia maya berasaskan AR. Permainan ini membantu pelajar belajar tentang struktur molekul, tindak balas kimia dan konsep kimia lain dengan cara yang menyeronokkan dan menghiburkan. Dengan menggunakan AR, pelajar boleh memahami konsep dan prinsip kimia dengan lebih baik, serta dapat menggambarkan dan berinteraksi dengan molekul kompleks dan tindak balas kimia.

Guru boleh menggunakan AR untuk membuat tutorial pembelajaran interaktif yang membantu pelajar mempelajari konsep kimia dengan lebih mendalam. Tutorial ini membolehkan pelajar melihat dan memanipulasi molekul secara langsung dan memahami cara molekul berinteraksi dalam tindak balas kimia. AR boleh memberikan maklum balas masa segera kepada pelajar, bagi membolehkan pelajar mengenal pasti dan membetulkan sebarang kesilapan yang mungkin telah dilakukan dengan cepat.

Secara keseluruhan, tinjauan literatur ini menunjukkan bahawa AR memiliki potensi yang tidak ternilai untuk meningkatkan keberkesanan pendidikan kimia dan penggunaannya harus digalakkan untuk memaksimumkan potensi dan motivasi pembelajaran pelajar. AR boleh membantu meningkatkan pembelajaran dengan cara yang lebih interaktif dan menarik serta menyediakan pelajar untuk masa depan dengan meningkatkan kadar generasi fasih digital.

Cadangan Penyelidikan

Secara keseluruhan, tinjauan literatur ini menunjukkan bahawa menggunakan AR dapat menjadikan pembelajaran menyenangkan dan menarik sambil menangani beberapa batasan yang berkaitan dengan media tradisional yang digunakan untuk mengajar konsep kimia. Memandangkan teknologi AR akan terus berkembang, kami menjangkakan bahawa lebih banyak inovasi dan penyelidikan diperlukan untuk mengenal pasti keberkesanan AR dalam kurikulum kimia dan faktor yang mempengaruhi keberkesanan AR dalam pendidikan Kimia. Penyelidikan lanjut juga boleh meneroka kesan jangka panjang AR terhadap hasil pembelajaran pelajar dan keberkesanan AR dalam disiplin pendidikan yang berbeza.

Selain itu, integrasi AR dalam kaedah pengajaran memerlukan keupayaan guru menguasai penggunaan aplikasi AR. Penyelidikan masa depan seharusnya memberi tumpuan kepada membangunkan perisian atau aplikasi AR baharu atau meningkatkan yang sedia ada dengan ciri-

ciri yang lebih baik untuk memberi peluang kepada guru membangunkan sendiri media pembelajaran berasaskan AR untuk mengajar konsep kompleks dalam kimia.

Kerjasama penyelidik dan pembangun kurikulum kimia dapat menambah baik penggunaan buku teks dengan menyediakan teknologi AR di dalam bahagian buku teks yang memerlukan pemahaman secara visual serta pembelajaran simulasi AR menggunakan buku teks boleh diberi tumpuan.

RUJUKAN

- Abdinejad, M., Talaie, B., Qorbani, H. S., & Dalili, S. (2021). Student Perceptions Using Augmented Reality and 3D Visualization Technologies in Chemistry Education. *Journal of Science Education and Technology, 30*(1), 87–96. <https://doi.org/10.1007/s10956-020-09880-2>
- Ajit, G., Lucas, T., & Kanyan, R. (2021). A systematic review of augmented reality in stem education. In *Estudios de Economia Aplicada* (Vol. 39, Issue 1). <https://doi.org/10.25115/eea.v39i1.4280>
- Akour, I. A., Al-Marroof, R. S., Alfaisal, R., & Salloum, S. A. (2022). A conceptual framework for determining metaverse adoption in higher institutions of gulf area: An empirical study using hybrid SEM-ANN approach. *Computers and Education: Artificial Intelligence, 3*. <https://doi.org/10.1016/j.caeai.2022.100052>
- Annetta, L. A., & Shapiro, M. (2019). Augmented Reality Applications for Teaching Chemistry across the K-20 Curriculum [Chapter]. *ACS Symposium Series, 1318*, 23–30. <https://doi.org/10.1021/bk-2019-1318.ch002>
- Astuti, A. P., Mawarsari, V. D., Purnomo, H., & Sedyono, E. (2020). The use of augmented reality-based learning media to develop the technology literacy of chemistry teachers in the 21st century. *AIP Conference Proceedings, 2215*. <https://doi.org/10.1063/5.0000745>
- Ayob, N. H., Hamzah, I. S., & Aziz, M. A. (2021). BRIDGING THE DIGITAL DIVIDE IN EDUCATION: POLICIES AND STRATEGIES IN MALAYSIA. *Journal of Tourism, Hospitality and Environment Management, 6*(25), 157–170. <https://doi.org/10.35631/JTHEM.625012>
- Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. In *Presence: Teleoperators and Virtual Environments* (Vol. 6, Issue 4). <https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355>
- Boonterng, L., & Srisawasdi, N. (2015). Monitoring gender participation with augmented reality represented chemistry phenomena and promoting critical thinking. *Workshop Proceedings of the 23rd International Conference on Computers in Education, ICCE 2015*.
- Cai, S., Wang, X., & Chiang, F. K. (2014). A case study of Augmented Reality simulation system application in a chemistry course. *Computers in Human Behavior, 37*, 31–40. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.04.018>
- Callum, K. Mac, & Parsons, D. (2019). Teacher Perspectives on Mobile Augmented Reality : The Potential of Metaverse for Learning. *World Conference on Mobile and Contextual Learning, September*, 21–28.
- Chang, Y. S. (2021). Applying the arcs motivation theory for the assessment of ar digital media design learning effectiveness. *Sustainability (Switzerland), 13*(21). <https://doi.org/10.3390/su132112296>
- Chen, S. Y., & Liu, S. Y. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior, 111*, 106418. <https://doi.org/10.1016/J.CHB.2020.106418>
- Doyle, A., Seery, N., Canty, D., & Buckley, J. (2019). Agendas, influences, and capability: Perspectives on practice in design and technology education. *International Journal of*

- Technology and Design Education*, 29(1), 143–159. <https://doi.org/10.1007/s10798-017-9433-0>
- Eriksen, K., Nielsen, B. E., & Pittelkow, M. (2020). Visualizing 3D Molecular Structures Using an Augmented Reality App. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1487–1490. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b01033>
- Estudiante, A., & Dietrich, N. (2020). Using Augmented Reality to Stimulate Students and Diffuse Escape Game Activities to Larger Audiences. *Journal of Chemical Education*, 97(5), 1368–1374. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00933>
- Hamzah, M. M. (2017). *Analisis Pencapaian Dan Tahap Motivasi Pelajar Menggunakan Koswer Friend Rescue Game Bagi Tajuk Asid Dan Bes*. Universiti Pendidikan Sultan Idris.
- Hardy, J. G., Sdepanian, S., Stowell, A. F., Aljohani, A. D., Allen, M. J., Anwar, A., Barton, D., Baum, J. V., Bird, D., Blaney, A., Brewster, L., Cheneler, D., Efremova, O., Entwistle, M., Esfahani, R. N., Firlak, M., Foito, A., Forciniti, L., Geissler, S. A., ... Wright, K. L. (2021). Potential for Chemistry in Multidisciplinary, Interdisciplinary, and Transdisciplinary Teaching Activities in Higher Education. *Journal of Chemical Education*, 98(4), 1124–1145. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c01363>
- Hsu, Y. S., Lin, Y. H., & Yang, B. (2017). Impact of augmented reality lessons on students' STEM interest. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 12(1). <https://doi.org/10.1186/s41039-016-0039-z>
- Ibáñez, M. B., & Delgado-Kloos, C. (2018). Augmented reality for STEM learning: A systematic review. *Computers and Education*, 123. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.05.002>
- Jamen, K. J., Ghani, N. S. H. A., Nordin, S. Z., Kamel, I. M., Kedah, K. M., Kimia, I., Reality, A., & Permainan, P. B. (2021). Keberkesanan 3-D Molecular Visualization Augmented Reality (V-Max) Terhadap Pencapaian dan Kemahiran Visualisasi Pelajar dalam Topik Ikatan Kimia. *Journal on Technical and Vocational Education (JTVE)*, 6(2), 42–68.
- Koutromanos, G., Sofos, A., & Avraamidou, L. (2015). The use of augmented reality games in education: a review of the literature. *Educational Media International*, 52(4), 253–271. <https://doi.org/10.1080/09523987.2015.1125988>
- Laine, T. H., Nygren, E., Dirin, A., & Suk, H. J. (2016). Science Spots AR: a platform for science learning games with augmented reality. *Educational Technology Research and Development*, 64(3). <https://doi.org/10.1007/s11423-015-9419-0>
- Macariu, C., Iftene, A., & Gîfu, D. (2020). Learn chemistry with augmented reality. *Procedia Computer Science*, 176, 2133–2142. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2020.09.250>
- Mahanan, M. S., Ibrahim, N. H., Surif, J., & Nee, C. K. (2021). AR Module for Learning Changes of Matter in Chemistry. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, 15(23). <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i23.27343>
- Mazucco, A., Krassmann, A. L., Reategui, E., & Gomes, R. S. (2022). A systematic review of augmented reality in chemistry education. In *Review of Education* (Vol. 10, Issue 1). <https://doi.org/10.1002/rev3.3325>
- Muhammad Pozi, F. N. S., & Khalid, F. (2017). Kesan Teknologi Augmented Reality dalam Pendidikan Terhadap Peningkatan Motivasi Pelajar. *International Conference on Global Education V "Global Education, Common Wealth, and Cultural Diversity."*
- Mystakidis, S., Christopoulos, A., & Pellas, N. (2022). A systematic mapping review of augmented reality applications to support STEM learning in higher education. *Education and Information Technologies*, 27(2), 1883–1927. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10682-1>
- Nechypurenko, P. P., Starova, T. V., Selivanova, T. V., Tomilina, A. O., & Uchitel, A. D. (2018). Use of augmented reality in chemistry education. *CEUR Workshop Proceedings*, 2257, 15–23. <https://doi.org/10.31812/pedag.v51i0.3650>

- Nor, N. M., Talib, C. A., Abd Hakim, N. W., Ali, M., Osman, S., & Ibrahim, N. H. (2019). Penggunaan sumber ICT dalam pengajaran kimia: Cabaran kepada guru masa kini. *Innovative Teaching and Learning Journal (ITLJ)*, 2(2), 82–88.
- Nuraida, O., Akbar, G. S., Farida, I., & Rahmatullah, S. (2021). Using PhET simulation to learning the concept of acid-base. *Journal of Physics: Conference Series*, 1869(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1869/1/012020>
- Rodríguez, F. C., Frattini, G., Krapp, L. F., Martinez-Hung, H., Moreno, D. M., Roldán, M., Salomón, J., Stenkoski, L., Traeger, S., Dal Peraro, M., & Abriata, L. A. (2021). MoleculARweb: A Web Site for Chemistry and Structural Biology Education through Interactive Augmented Reality out of the Box in Commodity Devices. *Journal of Chemical Education*, 98(7), 2243–2255. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00179>
- Rogério da Silva, B., Hercílio Zuchi, J., Kremer Vicente, L., Ronald Perin Rauta, L., Bizzotto Nunes, M., Augusto Schramm Pancrácio, V., & Beck Junior, W. (2019). AR Lab: Augmented Reality App for Chemistry Education. *Nuevas Ideas En Informática Educativa*, 15, 71–77. <https://doi.org/10.1145/3306307.3328180>
- Romainor, N., Abdul Talib, C., & Aliyu, F. (2022). Augmented Reality in Chemistry Education: A Literature Review of Advantages on Learners. *Journal of Natural Science and Integration*, 5(1), 126–135. <https://doi.org/10.24014/JNSI.V5I1.16805>
- Sanii, B. (2020). Creating Augmented Reality USDZ Files to Visualize 3D Objects on Student Phones in the Classroom. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 253–257. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.9b00577>
- Shahizah Mahamd Shobri, N. N., Surif, J., Ibrahim, N. H., Nursiwan, W. A., & Bunyamin, M. A. H. (2021). Online Module for Acid and Base Topic Based on 5E Model. *International Journal of Interactive Mobile Technologies (IJIM)*, 15(23), 18–29. <https://doi.org/10.3991/ijim.v15i23.27407>
- Sinha, S. (2021). *Augmented Reality In Education: A Staggering Insight Into The Future*. ELearning Industry.
- Talib, C. A., Aliyu, H., Malik, A. M. A., Siang, K. H., & Ali, M. (2019). Interactive Courseware as an effective strategy to overcome misconceptions in Acid-base Chemistry. *Proceedings of the 2018 IEEE 10th International Conference on Engineering Education, ICEED 2018*, 240–245. <https://doi.org/10.1109/ICEED.2018.8626941>
- Tee, N. Y. K., Gan, H. S., Li, J., Cheong, B. H. P., Tan, H. Y., Liew, O. W., & Ng, T. W. (2018). Developing and Demonstrating an Augmented Reality Colorimetric Titration Tool. *Journal of Chemical Education*, 95(3), 393–399. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.7b00618>
- Templeton, T. (2020). Getting real: Learning with (and about) augmented reality. *Scan: The Journal for Education*, 39(10), 6–15.
- Tschiersch, A., Krug, M., Huwer, J., & Banerji, A. (2021). Augmented Reality in chemistry education – an overview. *CHEMKON*, 28(6), 241–244. <https://doi.org/10.1002/ckon.202100009>
- Wu, H. K., Krajcik, J. S., & Soloway, E. (2001). Promoting understanding of chemical representations: Students' use of a visualization tool in the classroom. *Journal of Research in Science Teaching*, 38(7). <https://doi.org/10.1002/tea.1033>
- Yang, S., Mei, B., & Yue, X. (2018). Mobile Augmented Reality Assisted Chemical Education: Insights from Elements 4D. *Journal of Chemical Education*, 95(6), 1060–1062. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00017>
- Yusof, A. S., Ajmain @ Jima'ain, M. T., Rahim, S. A., & Abuhassna, H. (2022). Implementation of Augmented Reality (AR) in Malaysian Education System. *International Journal of Academic Research in Progressive Education and Development*, 11(3). <https://doi.org/10.6007/IJARPED/V11-I3/14660>