

Meningkatkan Pengetahuan Konseptual dan Prosedural dalam Persamaan Kimia Yang Seimbang Menggunakan Simulasi Digital (Improving Conceptual and Procedural Knowledge In Balanced Chemical Equations Using Digital Simulations)

NUR DIYANA MOHD DIN* & NURAZIDAWATI MOHAMAD ARSAD

ABSTRAK

Kajian tindakan ini bertujuan meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang melalui penggunaan simulasi digital. Kajian melibatkan 22 orang murid Tingkatan 4 yang dikenal pasti menghadapi kesukaran memahami konsep dan prosedur menulis persamaan kimia yang seimbang. Intervensi dilaksanakan selama dua minggu menggunakan simulasi digital PhET yang menekankan visualisasi interaktif dan penerokaan sendiri murid. Kajian ini menggunakan pendekatan campuran yang melibatkan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif. Data kuantitatif diperolehi melalui ujian pra dan ujian pasca bagi menilai perubahan tahap penguasaan murid, manakala data kualitatif dikumpulkan melalui pemerhatian, temu bual dan analisis lembaran kerja murid. Dapatan kajian menunjukkan skor ujian pasca meningkat antara 10% hingga 45% berbanding ujian pra, dengan peningkatan min skor keseluruhan daripada 55.9% kepada 78.9%. Peningkatan sebanyak 23.0% menunjukkan bahawa simulasi digital membantu meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang. Pemerhatian selepas intervensi turut menunjukkan murid lebih aktif terlibat, mampu menjelaskan konsep dengan lebih tepat dan menunjukkan keyakinan semasa menulis persamaan kimia. Dapatan ini menunjukkan bahawa visualisasi interaktif membantu murid menghubungkan konsep abstrak dengan representasi simbolik kimia secara lebih bermakna. Implikasi kajian menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital berpotensi sebagai pendekatan pedagogi alternatif dalam pengajaran kimia bagi membantu pengajaran guru dan pembelajaran murid. Kesimpulannya, penggunaan simulasi digital merupakan pendekatan pengajaran yang berkesan kepada murid memahami konsep kimia yang abstrak serta meningkatkan kualiti pengajaran dan pembelajaran kimia di bilik darjah.

Kata kunci: pengetahuan konseptual, pengetahuan prosedural, persamaan kimia seimbang, simulasi digital, PhET

ABSTRACT

This action research aimed to improve students' conceptual and procedural knowledge in writing balanced chemical equations through the use of digital simulation. The study involved 22 Form 4 students who were identified as having difficulties in understanding the concepts and procedures involved in writing balanced chemical equations. The intervention was conducted over a two-week period using the PhET digital simulation, which emphasised interactive visualisation and students' self-exploration. This study employed a mixed-method approach involving quantitative and qualitative data collection. Quantitative data were obtained through pre-test and post-test assessments to evaluate changes in students' level of mastery, while qualitative data were collected through observations, interviews and analysis of students' worksheets. The findings showed that post-test scores increased by 10% to 45% compared to the pre-test scores, with the overall mean score increasing from 55.9% to 78.9%. The 23.0% increase indicates that digital simulation helped to improve students' conceptual and procedural knowledge in writing balanced chemical equations. Post-intervention observations also showed that students became more actively engaged, were able to explain concepts more accurately and demonstrated greater confidence when writing chemical equations. The findings indicate that interactive visualisation helps students connect abstract concepts with symbolic chemical representations in a more meaningful way. The implications of this study suggest that the use of digital simulation has the potential to become an effective teaching and learning approach in improving conceptual and procedural mastery in chemistry, while also promoting active and meaningful learning among students. In conclusion, the use of digital simulation is an effective instructional approach in helping students understand abstract chemistry concepts and enhancing the quality of chemistry teaching and learning in the classroom.

Key words: conceptual knowledge, procedural knowledge, balanced chemical equations, digital simulation, PhET

PENGENALAN

Pendidikan kimia memainkan peranan penting dalam membentuk literasi saintifik dan kemahiran berfikir aras tinggi murid. Dalam Kurikulum Standard Sekolah Menengah (KSSM), mata pelajaran Kimia menekankan penguasaan konsep, penyelesaian masalah dan pembelajaran berasaskan inkuiri selaras dengan Dasar Pendidikan Digital (KPM 2023). Walau bagaimanapun, penguasaan konsep abstrak dalam kimia masih menjadi cabaran utama, khususnya bagi topik persamaan kimia yang seimbang. Kemahiran menulis persamaan kimia yang seimbang merupakan asas penting dalam topik stoikiometri, elektrokimia dan termokimia. Namun demikian, murid sering mengalami miskonsepsi dalam memahami hukum pemuliharaan jisim, formula kimia dan penggunaan koefisien dalam persamaan kimia (Verangel & Prudente 2023; Hamerská et al. 2024). Kebanyakan murid cenderung menghafal langkah prosedural tanpa memahami konsep yang mendasari proses penyeimbangan persamaan kimia. Penggunaan simulasi digital didapati dapat meningkatkan pemahaman konseptual, kemahiran prosedural dan motivasi murid dalam pembelajaran kimia (Liang et al. 2024; Francisco Jr. et al. 2025). Pendekatan ini juga selaras dengan Teori Konstruktivisme yang menekankan pembinaan pengetahuan secara aktif melalui pengalaman dan penerokaan sendiri. Walau bagaimanapun, kajian berkaitan penggunaan simulasi digital PhET dalam meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural bagi topik persamaan kimia seimbang dalam konteks sekolah menengah Malaysia masih terhad.

Berdasarkan refleksi pengajaran dan pembelajaran yang lalu, pengkaji mendapati majoriti murid Tingkatan 4 menghadapi kesukaran dalam menulis persamaan kimia yang seimbang dengan tepat. Oleh itu, kajian tindakan ini dijalankan bagi mengenal pasti keberkesanan penggunaan simulasi digital PhET dalam meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid terhadap kemahiran menulis persamaan kimia yang seimbang. Kajian ini dijalankan bagi menjawab persoalan berikut: (i) Adakah penggunaan strategi simulasi digital dapat meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural dalam kemahiran menulis persamaan kimia yang seimbang bagi murid Tingkatan 4? (ii) Apakah perubahan yang berlaku terhadap penguasaan dan tahap keyakinan murid selepas intervensi simulasi digital dilaksanakan?

SOROTAN LITERATUR

PENGETAHUAN KONSEPTUAL DAN PROSEDURAL DALAM KIMIA

Pengetahuan konseptual dan prosedural merupakan komponen penting dalam pembelajaran kimia. Pengetahuan konseptual merujuk kepada kefahaman terhadap prinsip

dan hubungan antara konsep saintifik, manakala pengetahuan prosedural melibatkan keupayaan melaksanakan langkah penyelesaian masalah (Sabrina Jannah & Noly Shofiyah 2023). Dalam topik persamaan kimia, murid perlu memahami hukum pemuliharaan jisim serta menguasai penggunaan koefisien bagi menghasilkan persamaan kimia yang seimbang.

Walaupun bagaimanapun, kajian menunjukkan bahawa murid sering mengalami kesukaran mengintegrasikan kedua-dua jenis pengetahuan ini. Kebanyakan murid hanya menghafal prosedur penyeimbangan persamaan kimia tanpa memahami konsep yang mendasarinya, sekali gus menyebabkan miskonsepsi dan kesilapan dalam penggunaan formula kimia (Verangel & Prudente 2023; Hamerská et al. 2024). Kajian lepas turut menunjukkan bahawa murid Malaysia menghadapi kesukaran memahami konsep sebenar penyeimbangan persamaan kimia serta sering mengalami miskonsepsi dalam penulisan formula dan persamaan kimia (Deleña & Marasigan 2023). Murid juga sering mengalami miskonsepsi dalam konsep stoikiometri dan penyeimbangan persamaan kimia (Amani et al. 2025).

SIMULASI DIGITAL DALAM PEMBELAJARAN KIMIA

Perkembangan teknologi digital telah mempengaruhi pendekatan pengajaran dan pembelajaran kimia, khususnya bagi konsep yang bersifat abstrak. Penggunaan simulasi digital membolehkan murid memvisualisasikan konsep secara interaktif serta meningkatkan kefahaman konseptual, kemahiran prosedural dan motivasi pembelajaran (Liang et al. 2024; Antonelli et al. 2023). Penggunaan teknologi digital turut didapati membantu meningkatkan kefahaman murid terhadap persamaan kimia (Seliwati 2021).

PhET (*Physics Education Technology*) merupakan simulasi digital interaktif yang membantu murid memahami hubungan antara bilangan atom dan penggunaan koefisien dalam persamaan kimia melalui persembahan visual. Kajian menunjukkan bahawa penggunaan simulasi PhET dapat meningkatkan penguasaan konseptual dan prosedural murid serta mengurangkan miskonsepsi dalam pembelajaran kimia (Francisco Jr. et al. 2025). Penggunaan simulasi digital juga selaras dengan prinsip pembelajaran multimedia yang menekankan integrasi elemen visual dan interaktif bagi membantu meningkatkan kefahaman murid terhadap konsep abstrak (Mayer & Fiorella 2022).

HUBUNGKAIT SIMULASI DIGITAL DENGAN TEORI PEMBELAJARAN

Simulasi digital seperti PhET direka untuk menyokong pembelajaran sains melalui pendekatan visual, animasi dan interaktif. Dalam konteks penulisan persamaan kimia yang seimbang, simulasi ini membolehkan murid memvisualisasikan bilangan zarah, membina persamaan kimia yang seimbang serta menerima maklum balas segera.

Keupayaan ini membantu murid memahami konsep abstrak dengan lebih jelas dan mengurangkan beban kognitif. Penggunaan simulasi digital dalam kajian ini turut disokong oleh Teori Kognitif Multimedia oleh Richard Mayer yang menyatakan bahawa murid belajar dengan lebih berkesan apabila maklumat disampaikan melalui gabungan elemen visual dan verbal (Mayer & Fiorella 2022).

Selain itu, simulasi digital juga selari dengan Teori Konstruktivisme yang menekankan pembinaan pengetahuan secara aktif melalui pengalaman dan penerokaan sendiri (Piaget 1977). Dalam masa yang sama, penggunaan simulasi digital menepati Teori Pembelajaran Pengalaman Kolb, di mana murid melalui pengalaman konkrit, refleksi dan eksperimen aktif semasa menggunakan simulasi (Kolb & Kolb 2011). Kajian oleh Sabrina Jannah dan Noly Shofiyah (2023) serta Liang et al. (2024) turut menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital dapat meningkatkan penguasaan konsep, kemahiran prosedural, motivasi dan penglibatan murid dalam pembelajaran sains. Secara keseluruhannya, penggunaan simulasi digital berpotensi meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang.

METODOLOGI

REKA BENTUK KAJIAN

Kajian ini menggunakan reka bentuk kajian tindakan bagi meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang melalui penggunaan simulasi digital PhET. Reka bentuk kajian tindakan sesuai digunakan bagi menyelesaikan masalah pembelajaran dalam konteks bilik darjah sebenar (Cohen, Manion & Morrison 2017). Model kajian tindakan yang digunakan adalah Model Lewin yang melibatkan empat fasa utama iaitu (i) merancang, (ii) bertindak, (iii) memerhati dan (iv) mereflek (Siti Sarah Muhammad Raflee & Lilia Halim 2021). Pada peringkat merancang, pengkaji mengenal pasti masalah penguasaan murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang serta menyediakan Rancangan Pengajaran Harian dan instrumen kajian. Pada peringkat bertindak, intervensi menggunakan simulasi digital PhET dilaksanakan dalam dua sesi pengajaran dan pembelajaran. Seterusnya, pada peringkat memerhati, data dikumpulkan melalui ujian pra dan pasca, pemerhatian guru serta temu bual murid. Akhir sekali, pada peringkat mereflek, pengkaji menilai keberkesanan intervensi terhadap penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid serta mengenal pasti penambahbaikan bagi amalan pengajaran seterusnya. Kajian ini turut menggunakan pendekatan campuran yang melibatkan pengumpulan data kuantitatif dan kualitatif bagi memperoleh gambaran yang lebih menyeluruh terhadap keberkesanan intervensi. Pendekatan campuran membolehkan pengkaji memperoleh dapatan yang lebih

menyeluruh melalui gabungan data kuantitatif dan kualitatif (Fraenkel, Wallen & Hyun 2019).

PESERTA KAJIAN

Kajian ini melibatkan 22 orang murid Tingkatan 4 daripada sebuah sekolah menengah di daerah Petaling Utama, Selangor. Peserta dipilih secara persampelan bertujuan berdasarkan pencapaian rendah murid dalam topik persamaan kimia yang seimbang melalui analisis item Peperiksaan Pertengahan Sesi Akademik (PPSA) Kimia Tingkatan 4. Murid dikenal pasti menghadapi kesukaran dalam memahami hukum pemuliharaan jisim, penggunaan formula kimia dan prosedur menulis persamaan kimia yang seimbang. Intervensi dijalankan dalam sesi pengajaran dan pembelajaran Kimia secara bersemuka di dalam bilik darjah.

INSTRUMEN KAJIAN

Instrumen kajian terdiri daripada ujian pra dan ujian pasca, borang pemerhatian guru, temu bual separa berstruktur dan analisis lembaran kerja murid. Instrumen utama kajian ialah ujian pra dan ujian pasca yang digunakan untuk menilai tahap penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid sebelum dan selepas intervensi dilaksanakan. Ujian ini mengandungi sepuluh item berstruktur pendek dengan jumlah 20 markah yang dibina berdasarkan format SPM Kimia Kertas 2. Lima item (item1, item3, item5, item9 dan item 10) dikelaskan dalam domain pengetahuan konseptual bagi menilai kefahaman murid terhadap konsep persamaan kimia yang seimbang, manakala lima item lagi (item2, item 4, item6, item7 dan item8) dikelaskan dalam domain pengetahuan prosedural bagi menilai keupayaan murid menulis persamaan kimia dengan seimbang. Soalan turut disusun mengikut aras kognitif rendah, sederhana dan tinggi berdasarkan Jadual Spesifikasi Ujian (JSU). Item ujian pra dan ujian pasca telah disemak oleh Guru Kanan Mata Pelajaran (GKMP) Sains dan Matematik bagi memastikan kesahan kandungan dan kejelasan item. Kebolehpercayaan instrumen pula diperkukuhkan melalui penggunaan skema pemarkahan Sijil Pelajaran Malaysia (SPM) yang standard, jelas dan konsisten bagi memastikan keseragaman dalam proses pemarkahan.

Selain itu, borang pemerhatian guru, temu bual separa berstruktur dan analisis lembaran kerja murid turut digunakan bagi mengumpulkan data berkaitan keyakinan dan kefahaman murid semasa intervensi dijalankan. Temu bual separa berstruktur dijalankan terhadap dua orang murid yang dipilih secara bertujuan berdasarkan perubahan pencapaian dan penglibatan mereka sepanjang intervensi bagi mendapatkan maklumat yang lebih mendalam berkaitan pengalaman pembelajaran selepas menggunakan simulasi digital PhET.

PROSEDUR INTERVENSI

Intervensi dilaksanakan selama dua minggu menggunakan simulasi digital PhET bertajuk *Balancing Chemical Equations*. Murid menjalankan aktiviti pembelajaran secara individu dan berkumpulan dengan meneroka simulasi, memanipulasi bilangan atom dan menyeimbangkan persamaan kimia secara interaktif. Guru bertindak sebagai fasilitator dengan memberi bimbingan dan sokongan pembelajaran sepanjang aktiviti dijalankan. Sebelum intervensi, murid diberikan ujian pra, manakala ujian pasca dilaksanakan selepas intervensi bagi menilai perubahan tahap penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid.

KAEDAH ANALISIS DATA

Data kuantitatif daripada ujian pra dan ujian pasca dianalisis secara deskriptif menggunakan skor markah, peratus dan min pencapaian murid bagi mengenal pasti

perubahan tahap penguasaan selepas intervensi. Data kualitatif daripada pemerhatian, temu bual dan analisis lembaran kerja pula dianalisis secara tematik bagi mengenal pasti tema berkaitan keyakinan dan kefahaman murid sepanjang pelaksanaan intervensi.

DAPATAN DAN PERBINCANGAN

Analisis Persoalan Kajian Pertama (Kuantitatif) : Adakah penggunaan strategi simulasi digital dapat meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural dalam kemahiran menulis persamaan kimia yang seimbang bagi murid Tingkatan 4?

Ujian pra dan ujian pasca dijalankan bagi mengenal pasti perubahan tahap penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang selepas penggunaan simulasi digital PhET. Jadual 1 menunjukkan peratusan perbezaan perbandingan ujian pra dan pasca bagi pengetahuan konseptual dan pengetahuan procedural.

JADUAL 1. Skor markah perbandingan Ujian Pra dan Ujian Pasca berdasarkan pengetahuan konseptual dan prosedural

Murid	Pengetahuan konseptual (%) (Maksimum 50%)			Pengetahuan Prosedural (%) (Maksimum 50%)			Perbezaan keseluruhan
	Ujian pra	Ujian pasca	Perbezaan	Ujian pra	Ujian pasca	Perbezaan	
Murid A	30	50	20	20	20	0	20
Murid B	40	50	10	20	40	20	30
Murid C	30	40	10	20	50	30	40
Murid D	50	50	0	25	40	15	15
Murid E	25	30	5	20	25	5	10
Murid F	15	30	15	20	20	0	15
Murid G	30	35	5	20	30	10	15
Murid H	30	40	10	20	25	5	15
Murid I	45	50	5	30	40	10	15
Murid J	0	35	35	40	40	0	35
Murid K	30	40	10	20	40	20	30
Murid L	30	45	15	20	25	5	20
Murid M	40	45	5	45	50	5	10
Murid N	50	50	0	40	50	10	10
Murid O	35	45	10	25	40	15	25
Murid P	20	45	25	30	50	20	45
Murid Q	20	40	20	20	20	0	20
Murid R	40	50	10	20	45	25	35
Murid S	40	50	10	20	20	0	10
Murid T	25	50	25	25	40	15	40
Murid U	30	40	10	20	50	30	40
Murid V	25	35	10	30	30	0	10

Berdasarkan Jadual 1, analisis deskriptif menunjukkan terdapat peningkatan dalam pencapaian murid bagi pengetahuan konseptual dan pengetahuan prosedural selepas intervensi dijalankan dalam kemahiran menulis persamaan kimia seimbang. Secara keseluruhannya, majoriti murid menunjukkan peningkatan skor dalam ujian pasca berbanding ujian pra. Bagi pengetahuan konseptual, peningkatan markah murid adalah antara 0% hingga 35%. Murid J menunjukkan peningkatan tertinggi iaitu sebanyak 35%, daripada 0% dalam ujian pra kepada 35% dalam ujian pasca. Selain itu, murid P dan murid T turut mencatat peningkatan yang tinggi iaitu sebanyak 25%. Walau bagaimanapun, terdapat beberapa murid seperti murid D dan murid N yang tidak menunjukkan peningkatan bagi pengetahuan konseptual kerana memperoleh skor yang sama dalam ujian pra dan pasca.

Bagi pengetahuan prosedural pula, peningkatan markah murid adalah antara 0% hingga 30%. Murid C dan murid U mencatat peningkatan tertinggi sebanyak 30%, diikuti oleh murid R dengan peningkatan sebanyak 25%. Namun demikian, beberapa murid seperti murid A, F, J, Q, S dan V tidak menunjukkan perubahan skor dalam ujian prosedural selepas intervensi dijalankan. Dari aspek perbezaan keseluruhan, majoriti murid menunjukkan peningkatan positif dalam penguasaan kemahiran menulis persamaan kimia seimbang. Murid P memperoleh peningkatan keseluruhan tertinggi iaitu sebanyak 45%, diikuti oleh murid C, T dan U yang masing-masing menunjukkan peningkatan sebanyak 40%. Selain itu, murid R dan J juga menunjukkan peningkatan yang ketara iaitu sebanyak 35%. Sebaliknya, murid E, M, N, S dan V mencatat peningkatan keseluruhan yang rendah iaitu sekitar 10% sahaja.

Secara keseluruhannya, dapatan deskriptif ini menunjukkan bahawa intervensi yang dijalankan berjaya meningkatkan penguasaan murid dalam pengetahuan konseptual dan prosedural berkaitan kemahiran menulis persamaan kimia seimbang. Peningkatan yang berlaku membuktikan bahawa pendekatan pengajaran yang digunakan berupaya membantu murid memahami konsep dan prosedur penulisan persamaan kimia dengan lebih baik.

JADUAL 2. Perbandingan Min Ujian Pra dan Ujian Pasca

Ujian	Jenis pengetahuan	Min (%) (Maksimum 50%)
Pra	Konseptual	30.9
	Prosedural	25
Pasca	Konseptual	42.9
	Prosedural	35.9

Berdasarkan Jadual 2, analisis deskriptif menunjukkan terdapat peningkatan min skor murid dalam ujian pasca

berbanding ujian pra bagi kedua-dua jenis pengetahuan iaitu pengetahuan konseptual dan pengetahuan prosedural dalam kemahiran menulis persamaan kimia seimbang. Bagi pengetahuan konseptual, min skor meningkat daripada 30.9% dalam ujian pra kepada 42.9% dalam ujian pasca, iaitu peningkatan sebanyak 12.0%. Dapatan ini menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital PhET berjaya membantu murid memahami konsep abstrak dalam persamaan kimia melalui visualisasi interaktif dan penerokaan sendiri. Penemuan ini selari dengan kajian Francisco Jr. et al. (2025) dan Liang et al. (2024) yang menyatakan bahawa simulasi digital dapat meningkatkan kefahaman konseptual murid terhadap konsep abstrak dalam pembelajaran kimia.

Manakala bagi pengetahuan prosedural, min skor meningkat daripada 25.0% kepada 35.9%, dengan peningkatan sebanyak 10.9%. Peningkatan ini membuktikan bahawa murid semakin mahir dalam mengenal pasti formula kimia, menentukan bilangan atom serta menyeimbangkan persamaan kimia dengan betul selepas mengikuti intervensi pembelajaran. Pengetahuan prosedural amat penting dalam pembelajaran kimia kerana ia melibatkan keupayaan murid mengaplikasikan langkah dan prosedur secara teratur untuk menyelesaikan sesuatu masalah. Dalam konteks persamaan kimia seimbang, murid bukan sahaja perlu memahami konsep, malah perlu menguasai prosedur pengiraan dan penyusunan pekali secara tepat.

Secara keseluruhannya, dapatan ini menunjukkan bahawa intervensi yang dijalankan berjaya meningkatkan penguasaan murid dalam kedua-dua aspek pengetahuan. Peningkatan yang lebih tinggi dalam pengetahuan konseptual menunjukkan bahawa murid lebih memahami konsep asas penulisan persamaan kimia seimbang, manakala peningkatan dalam pengetahuan prosedural membuktikan murid semakin mahir mengaplikasikan langkah-langkah menulis persamaan kimia selepas intervensi dilaksanakan.

ANALISIS PERSOALAN KAJIAN KEDUA (KUALITATIF) : APAKAH PERUBAHAN YANG BERLAKU TERHADAP PENGUASAAN DAN TAHAP KEYAKINAN MURID SELEPAS INTERVENSI SIMULASI DIGITAL DILAKSANAKAN?

ANALISIS PENINGKATAN PEMAHAMAN KONSEPTUAL PERSAMAAN KIMIA

Pada pemerhatian awal bagi melihat peningkatan pemahaman konseptual persamaan kimia, hanya beberapa murid mampu menulis persamaan lengkap dengan betul

dan menjelaskan hukum pemuliharaan jisim manakala murid lain masih memerlukan bantuan guru. Namun demikian, pada pemerhatian berikutnya semua murid berjaya menulis persamaan lengkap, dapat menjelaskan konsep pemuliharaan jisim serta menyelesaikan latihan tanpa banyak bantuan. Hal ini menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital PhET membantu murid memvisualisasikan tindak balas kimia dan memahami hubungan antara bahan tindak balas dengan hasil tindak balas secara lebih jelas. Dapatan ini selari dengan kajian Sabrina Jannah dan Noly Shofiyah (2023) yang mendapati bahawa simulasi digital membantu murid memahami konsep abstrak melalui visualisasi interaktif dan penerokaan sendiri.

Dapatan temu bual bersama murid J dan murid Q turut menyokong pemerhatian guru. Kedua-dua murid menyatakan bahawa sebelum menggunakan simulasi digital, mereka sukar membayangkan tindak balas kimia pada aras zarah dan sering keliru semasa menulis persamaan kimia yang seimbang. Selepas menggunakan simulasi digital, mereka dapat melihat perubahan bilangan atom sebelum dan selepas tindak balas sekali gus membantu memahami konsep pemuliharaan jisim dengan lebih jelas. Murid J menyatakan bahawa “*Sekarang apabila saya membuat revision, saya mampu menjawab apa-apa soalan yang melibatkan pengimbangan persamaan kimia*”. Dapatan ini menunjukkan bahawa simulasi digital berkesan dalam membantu murid membina pemahaman konseptual terhadap konsep persamaan kimia yang sebelum ini dianggap abstrak dan sukar difahami.

ANALISIS PENINGKATAN PENGUASAAN PROSEDURAL MENULIS PERSAMAAN KIMIA

Daripada aspek prosedural, pemerhatian guru menunjukkan bahawa murid semakin cekap menggunakan langkah-langkah menulis persamaan kimia yang seimbang selepas intervensi dijalankan. Pada pemerhatian awal, terdapat murid yang mengambil masa untuk mengendalikan simulasi dan masih keliru dalam menentukan pekali yang betul. Namun demikian, pada pemerhatian berikutnya semua murid dapat menggunakan simulasi dengan lebih lancar dan mengikuti langkah-langkah menulis persamaan kimia yang seimbang secara sistematik.

Dapatan daripada lembaran kerja turut menyokong pemerhatian tersebut. Perbandingan antara kedua-dua lembaran kerja menunjukkan peningkatan penguasaan prosedural murid selepas penggunaan simulasi digital. Temu bual bersama murid J dan murid Q turut menunjukkan bahawa simulasi digital membantu mereka mengikuti langkah demi langkah menulis persamaan kimia yang

seimbang secara lebih teratur. Murid J menyatakan bahawa “*simulasi menjadikan konsep abstrak lebih visual, membimbing pengguna langkah demi langkah dan memberi maklum balas segera terhadap kesilapan*”. Murid Q pula menyatakan bahawa simulasi membantu beliau mengenal pasti kesilapan dan membetulkannya dengan lebih cepat.

Selain itu, visualisasi interaktif membantu murid menghubungkan konsep abstrak dengan representasi simbolik kimia secara lebih bermakna. Penemuan ini turut disokong oleh Liang et al. (2024) yang menunjukkan bahawa simulasi digital membantu meningkatkan kemahiran prosedural murid dalam pembelajaran sains secara lebih sistematik.

ANALISIS PENINGKATAN KEYAKINAN MENULIS PERSAMAAN KIMIA

Daripada aspek keyakinan, pemerhatian guru menunjukkan perubahan positif terhadap penglibatan murid sepanjang intervensi dijalankan. Pada pemerhatian awal, hanya beberapa murid berani menjawab soalan dan menulis persamaan kimia tanpa bantuan guru. Namun demikian, pada pemerhatian berikutnya semua murid didapati lebih aktif bertanya soalan, berbincang dengan rakan dan cuba membetulkan kesilapan sendiri semasa aktiviti pembelajaran dijalankan. Dapatan ini selari dengan kajian Antonelli et al. (2023) yang menyatakan bahawa penggunaan simulasi digital dapat meningkatkan motivasi, keyakinan dan penglibatan aktif murid dalam pembelajaran sains.

Dapatan temu bual turut menunjukkan bahawa simulasi digital membantu meningkatkan keyakinan murid dalam menulis persamaan kimia. Murid J menyatakan bahawa sebelum ini beliau kurang yakin kerana sering memperoleh markah rendah, namun selepas menggunakan simulasi digital beliau lebih yakin untuk menjawab soalan dan terlibat secara aktif dalam pembelajaran. Murid Q pula menyatakan bahawa beliau kini lebih yakin membantu rakan-rakan lain semasa aktiviti kelas dijalankan.

Selain itu, peningkatan markah dalam ujian pasca turut mempengaruhi tahap keyakinan murid. Kejayaan memperoleh skor yang lebih baik menyebabkan murid lebih bermotivasi dan yakin terhadap kemampuan diri mereka dalam memahami dan menulis persamaan kimia yang seimbang. Secara keseluruhannya, dapatan ini menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital PhET bukan sahaja membantu meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid, malah turut meningkatkan keyakinan serta penglibatan aktif murid dalam pembelajaran kimia.

KESIMPULAN

Secara keseluruhannya, kajian tindakan ini menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital PhET berkesan dalam meningkatkan penguasaan pengetahuan konseptual dan prosedural murid dalam menulis persamaan kimia yang seimbang. Kajian ini turut menyokong aspirasi pendigitalan pendidikan dalam Dasar Pendidikan Digital KPM. Simulasi digital membantu murid memahami konsep abstrak seperti hukum pemuliharaan jisim, penggunaan formula kimia dan penyeimbangan persamaan kimia dengan lebih jelas dan sistematik. Selain meningkatkan pencapaian akademik, penggunaan simulasi digital turut meningkatkan penglibatan aktif, motivasi dan keyakinan murid dalam pembelajaran kimia. Dapatan kajian ini juga menyokong Teori Konstruktivisme dan Teori Pembelajaran Pengalaman Kolb yang menekankan pembelajaran aktif melalui pengalaman dan penerokaan sendiri.

Implikasi kajian ini menunjukkan bahawa penggunaan simulasi digital PhET boleh dijadikan sebagai pendekatan pedagogi alternatif dalam pengajaran kimia bagi membantu guru menerangkan konsep abstrak secara lebih visual, interaktif dan berpusatkan murid. Penggunaan teknologi digital dalam PdP juga dapat menyokong pelaksanaan pembelajaran abad ke-21 serta meningkatkan keberkesanan pengajaran kimia di bilik darjah. Walau bagaimanapun, kajian ini terhad kepada saiz sampel yang kecil dan tempoh intervensi yang singkat. Oleh itu, kajian lanjutan dicadangkan dengan melibatkan sampel yang lebih besar serta penggunaan simulasi digital dalam topik kimia yang lain. Secara keseluruhannya, simulasi digital PhET merupakan pendekatan pedagogi yang relevan dan berkesan dalam menyokong pembelajaran kimia yang lebih interaktif dan bermakna.

RUJUKAN

- Amani, V., Akrami, Z. & Omidvar, M. 2025. Investigation of Misconception of 10th High School Students About the Concepts of Stoichiometry and Balancing of Chemical Equations Using Conceptual Evaluation Method. *Educational and Scholastic Studies* 13 (4): 317–337.
- Antonelli, D., Christopoulos, A., Laakso, M.-J., Dagienė, V., Juškevičienė, A., Masiulionytė-Dagienė, V., Mądział, M., Stadnicka, D. & Stylios, C. 2023. A Virtual Reality Laboratory for Blended Learning Education: Design, Implementation and Evaluation. *Education Sciences* 13: 528.
- Cohen, L., Manion, L. & Morrison, K. 2017. *Research Methods in Education* (8th ed.). London: Routledge.
- Deleña, R. F. & Marasigan, A. C. 2023. Understanding Students' Misconceptions about Chemical Formula Writing and Naming Ionic Compounds. *International Journal of Academic Studies in Technology and Education (IJASTE)* 1(2): 156–173.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E. & Hyun, H. H. 2019. *How to Design and Evaluate Research in Education* (10th ed.). New York: McGraw-Hill Education.
- Francisco Jr., L. M., Garcia, F. & Mirabueno, D. C. 2025. The Effects of PhET Simulations on Students' Experienced Immersion and Understanding of Molecule Shapes. *International Journal of Multidisciplinary Research and Publications (IJMRAP)* 7 (12): 32–37.
- Hamerská, L., Matěcha, T., Tóthová, M. & Rusek, M. 2024. Between Symbols and Particles: Investigating the Complexity of Learning Chemical Equations. *Education Sciences* 14(6): 570.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. 2018. *Dokumen Standard Kurikulum dan Pentaksiran (DSKP) Kimia Tingkatan 4 dan 5*.
- Kementerian Pendidikan Malaysia. 2023. *Dasar Pendidikan Digital*.
- Kolb, A. Y. & Kolb, D. A. 2011. *Experiential Learning Theory: A Dynamic, Holistic Approach to Management Learning, Education and Development*. Dlm. Armstrong, S. J. & Fukami, C. (pnyt.). *Handbook of Management Learning, Education and Development*. London: Sage
- Liang, Y., Chen, S., Abeysekera, R., O'Sullivan, H., Bray, J. & Keevill-Savage, I. 2024. Examining the Adoption of Technology-Enhanced Learning in Universities and Its Effects on Student Performance, Satisfaction, and Motivation. *Computers and Education Open* 7: 100223.
- Mayer, R. E. & Fiorella, L. (pnyt.). 2022. *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning*. Ed. Ke-3. Cambridge: Cambridge University Press.
- Piaget, J. (1977). *The Development of Thought. Equilibration of Cognitive Structures*. Oxford: Basil Blackwell.
- Sabrina Jannah & Noly Shofiyah, N. 2023. Implementation of Experiential Learning Model to Improve Science Process Skills. *Edunesia: Jurnal Ilmiah Pendidikan* 5: 377–389.
- Seliwati. 2021. Kemampuan Memahami Persamaan Reaksi Kimia di Era Pembelajaran Digital pada Siswa Kelas X MIPA SMAN 5 Palangka Raya. *Jurnal Riset Pendidikan Kimia* 11 (2): 107–112.
- Siti Sarah Muhammad Raflee & Lilia Halim. 2021. Keberkesanan Pemikiran Kritis dalam Meningkatkan Kemahiran Dalam Penyelesaian Masalah KBAT. *Jurnal Pendidikan Sains dan Matematik Malaysia*, 11(1), 60–76.
- Verangel, G. & Prudente, M. 2023. Students' Conceptual Understanding and Confidence on Balancing Chemical Equations Using Particulate Drawings. *The Normal Lights* 16 (1).

Nur Diyana Mohd Din*
Pusat Kajian Pembudayaan STEM
Fakulti Pendidikan
Universiti Kebangsaan Malaysia
p144858@siswa.ukm.edu.my

Nurazidawati Mohamad Arsad
Pusat Kajian Pembudayaan STEM
Fakulti Pendidikan
Universiti Kebangsaan Malaysia
azidarsad@ukm.edu.my

*Pengarang koresponden: p144858@siswa.ukm.edu.my

Dihantar: 28 November 2025
Dinilai: 15 Januari 2026
Diterima: 2 Mei 2026
Diterbitkan: 30 Mei 2026