PENGUATAN REGENERATIVE EDUCATION MELALUI MODEL ETHNO-VR ECOMIX: PROGRAM PENGABDIAN INTERNASIONAL BAGI GURU DAN CALON GURU KIMIA INDONESIA–MALAYSIA DI ASIA e UNIVERSITY

Ariyatun[1]*, Ucu Cahyana[2], Novi Andri Nurcahyono[3], Devita Marlina Venessa[1], Fairuz Gianirfan Nugroho[4], Sri Wahyuni[5], Ahmad Dwi Susilo[2], Rifky Maulana Dimyati[1], Muhammad Termizi bin Borhan[6]

[1]Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
[2]Program Studi Magister Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
[3]Program Studi Magister Pendidikan Dasar, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
[4]Program Studi Kimia, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
[5]Program Studi Teknologi Rekayasa, Universitas Negeri Jakarta, Indonesia
[6]Faculty of Science and Mathematics, Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI), Malaysia

*Korespondensi: ariyatun@unj.ac.id

Abstract

Chemistry teachers and pre-service teachers are increasingly expected to design instruction that is conceptually sound, responsive to sustainability issues, and enriched by local cultural context. This international community service programme aimed to strengthen the understanding and skills of Indonesian and Malaysian chemistry teachers and pre-service teachers in applying the Regenerative Education framework through the Ethno-VR ECOMIX (Ecological–Cultural Mixed Learning) model, a Virtual Reality (VR)-based chemistry learning approach integrating ecological issues with local cultural wisdom. The programme was held during an afternoon session at Asia e University (AeU), Malaysia, facilitated by SAiD-TECH and opened by Prof. Ts. Dr. Aedah Abd. Rahman (Dean/Professor, SAiD-TECH). It comprised an international Focus Group Discussion on "Regenerative Education through Digital Innovation and Cross-Cultural Collaboration," attended by 35 participants, followed by a socialisation and mentoring session on the Ethno-VR ECOMIX model in collaboration with Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI). Evaluation employed a 26-item, seven-construct, five-point Likert perception questionnaire completed by 34 participants (18 from AeU and 16 in-service chemistry teachers from Indonesian secondary schools), supplemented by three open-ended questions. Results showed an overall high level of participant perception (M = 3.97 of 5), with the highest scores for the UNJ–UPSI international collaboration construct (M = 4.14) and local-wisdom integration (M = 4.11), while contextual learning-design ability scored relatively lowest (M = 3.77). Qualitative findings confirmed that participants gained new insight and motivation, though limited access to physical VR devices constrained hands-on practice. The programme proved effective in enhancing conceptual understanding, sustainability awareness, and international academic networking, while highlighting the need for adequate VR devices to sustain classroom-level implementation.
Keywords: *chemistry Education; ethno-VR ECOMIX; international collaboration; regenerative education; virtual reality*

Abstrak

Guru dan calon guru kimia dituntut untuk merancang pembelajaran yang tidak hanya kokoh secara konseptual, tetapi juga responsif terhadap isu keberlanjutan dan diperkaya dengan konteks budaya lokal. Program pengabdian kepada masyarakat internasional ini bertujuan memperkuat pemahaman dan keterampilan guru serta calon guru kimia Indonesia dan Malaysia dalam menerapkan kerangka Regenerative Education melalui model Ethno-VR ECOMIX (*Ecological–Cultural Mixed Learning*), sebuah pendekatan pembelajaran kimia berbasis *Virtual Reality* (VR) yang mengintegrasikan isu ekologis dengan kearifan budaya lokal. Program dilaksanakan pada sesi siang di Asia e University (AeU), Malaysia, difasilitasi oleh SAiD-TECH, dan dibuka oleh Prof. Ts. Dr. Aedah Abd. Rahman (Dekan/Profesor, SAiD-TECH). Kegiatan mencakup *Focus Group Discussion* (FGD) internasional bertema "*Regenerative Education through Digital Innovation and Cross-Cultural Collaboration*" yang dihadiri 35 peserta, dilanjutkan dengan sesi sosialisasi dan pendampingan model Ethno-VR ECOMIX bekerja sama dengan Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI). Evaluasi program menggunakan kuesioner persepsi berskala Likert 5 poin dengan 26 item dan tujuh konstruk yang diisi oleh 34 peserta (18 dari AeU Malaysia; 16 guru kimia aktif dari sekolah menengah di Indonesia), dilengkapi tiga pertanyaan terbuka. Hasil menunjukkan tingkat persepsi peserta secara keseluruhan tergolong tinggi (M = 3,97 dari 5), dengan skor tertinggi pada konstruk

kolaborasi internasional UNJ–UPSI (M = 4,14) dan integrasi kearifan lokal (M = 4,11), sementara skor relatif terendah pada kemampuan merancang pembelajaran kontekstual (M = 3,77). Data kualitatif menegaskan bahwa peserta memperoleh wawasan dan motivasi baru, namun terkendala keterbatasan perangkat VR fisik untuk praktik langsung. Program ini terbukti efektif meningkatkan pemahaman konseptual, kesadaran keberlanjutan, dan jejaring akademik internasional, sekaligus mengidentifikasi perlunya ketersediaan perangkat VR yang memadai untuk keberlanjutan implementasi model di tingkat kelas.
Kata Kunci: Ethno-VR ECOMIX; kolaborasi internasional; pendidikan kimia; regenerative education; virtual reality

1. PENDAHULUAN

Agenda pembangunan berkelanjutan global menuntut transformasi pendidikan yang tidak hanya mentransfer pengetahuan, tetapi juga membentuk kesadaran dan tindakan generatif terhadap keberlanjutan lingkungan dan sosial. Kerangka Regenerative Education menawarkan pergeseran paradigma dari pendidikan yang sekadar meminimalkan dampak negatif (*sustainability-as-reduction*) menuju pendidikan yang secara aktif membangun kapasitas regeneratif peserta didik dan komunitasnya (Wessels & Grünwald, 2023). Dalam konteks pendidikan kimia, kerangka ini relevan untuk dikaitkan dengan pencapaian Tujuan Pembangunan Berkelanjutan (*Sustainable Development Goals*/SDGs), khususnya SDG 4 (Pendidikan Berkualitas), SDG 12 (Konsumsi dan Produksi Bertanggung Jawab), SDG 13 (Penanganan Perubahan Iklim), dan SDG 17 (Kemitraan untuk Mencapai Tujuan), sebagaimana ditegaskan dalam Agenda 2030 untuk Pembangunan Berkelanjutan (United Nation, 2015).

Salah satu tantangan klasik dalam pembelajaran kimia adalah sifat konsepnya yang abstrak dan bersifat submikroskopis, sehingga sulit divisualisasikan oleh peserta didik maupun disampaikan secara konkret oleh guru. Kajian sistematis Fombona-Pascual et al. (2022) menunjukkan bahwa teknologi realitas virtual (*Virtual Reality*/VR) secara konsisten terbukti membantu visualisasi struktur atom dan molekul yang selama ini sulit dipahami melalui media dua dimensi. Hal ini sejalan dengan temuan van Dinther et al. (2023) yang menegaskan bahwa VR berfungsi sebagai alat kognitif yang aktif membentuk pemahaman peserta didik, bukan sekadar media visual pasif. Studi eksperimental Gungor et al. (2022) turut memperkuat argumen ini dengan menunjukkan bahwa penggunaan VR dalam laboratorium kimia berkontribusi meningkatkan efikasi diri, minat, dan konsep diri peserta didik, sekaligus menurunkan kecemasan laboratorium. Meski demikian, Matovu et al. (2023) mengingatkan bahwa efektivitas VR dalam pembelajaran sains sangat bergantung pada kualitas desain instruksional dan kesempatan praktik langsung (*hands-on*) yang diberikan kepada peserta didik, bukan semata-mata pada kecanggihan teknologinya sebuah catatan penting yang menjadi salah satu pertimbangan rancangan program ini.

Di sisi lain, pembelajaran kimia juga perlu diperkaya dengan konteks budaya lokal (etnokimia) agar lebih bermakna dan membumi bagi peserta didik. Wahyudiati dan Qurniati (2023) menunjukkan bahwa eksplorasi kearifan lokal Sasak dan Jawa sebagai sumber belajar kimia berhasil meningkatkan hasil belajar calon guru, temuan yang diperkuat oleh kajian lanjutan Wahyudiati (2022) mengenai potensi kearifan lokal Nusantara sebagai bahan ajar kimia yang autentik. Pendekatan etnokimia ini juga sejalan dengan hasil Hikmawati et al. (2021) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang diintegrasikan dengan kearifan lokal secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan sikap ilmiah peserta didik.

Berangkat dari dua kebutuhan tersebut, tim pengabdian mengembangkan model Ethno-VR ECOMIX (*Ecological–Cultural Mixed Learning*), yaitu model pembelajaran kimia berbasis VR yang secara sengaja memadukan isu ekologi dengan nilai budaya lokal Indonesia dan Malaysia (misalnya jamu Nusantara, batik, dan anyaman) sebagai konten autentik pembelajaran. Sejauh penelusuran tim pengabdian, kombinasi tiga unsur sekaligus teknologi

VR, integrasi etnokimia, dan kolaborasi lintas negara Indonesia–Malaysia dalam satu kerangka Regenerative Education belum banyak dilaporkan pada program pengabdian kepada masyarakat sejenis, baik di tingkat nasional maupun internasional. Sebagian besar program VR-kimia yang ada berfokus pada aspek visualisasi konsep semata (Fombona-Pascual et al., 2022; Gungor et al., 2022), sementara program etnokimia umumnya masih berbasis konteks budaya tunggal dalam satu negara (Hikmawati et al., 2021; Wahyudiati & Qurniati, 2023). Ethno-VR ECOMIX diposisikan untuk mengisi celah tersebut dengan menyatukan ketiga unsur secara terintegrasi dalam satu model pelatihan lintas negara.

Guru kimia yang sudah mengajar (*in-service*) maupun calon guru kimia (*pre-service*) di kedua negara diduga menghadapi tantangan yang relatif serupa: keterbatasan paparan terhadap inovasi pembelajaran berbasis teknologi imersif, minimnya pengalaman merancang pembelajaran yang secara eksplisit mengaitkan kimia dengan isu keberlanjutan, serta terbatasnya jejaring akademik lintas negara yang dapat memperkaya wawasan pedagogis mereka. Dugaan ini didasarkan pada observasi awal tim pengabdian saat berkoordinasi dengan mitra UPSI dan AeU, dan sejalan dengan temuan Impedovo dan Malik (2019) bahwa pelatihan profesional guru yang dirancang tanpa elemen kolaborasi lintas negara cenderung membatasi kompleksitas visi profesionalisme guru, baik di negara berkembang maupun negara maju. Permasalahan inilah yang mendasari perlunya program pengabdian internasional yang mempertemukan guru dan calon guru kimia Indonesia dan Malaysia dalam satu forum sosialisasi, pelatihan, dan pendampingan. Program ini diinisiasi oleh tim dari Universitas Negeri Jakarta (UNJ), Indonesia, berkolaborasi dengan Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI), Malaysia, dan difasilitasi oleh *School of Applied Industrial Design and Technology* (SAiD-TECH), Asia e University (AeU), Malaysia.

Berdasarkan uraian tersebut, kegiatan pengabdian ini bertujuan untuk: (1) meningkatkan pemahaman peserta mengenai konsep Regenerative Education dan model Ethno-VR ECOMIX serta keterkaitannya dengan SDG 4, 12, 13, dan 17; (2) meningkatkan kemampuan peserta merancang pembelajaran kimia yang mengintegrasikan isu ekologi, teknologi VR, dan kearifan lokal Indonesia–Malaysia; (3) memperluas wawasan dan jejaring akademik internasional peserta melalui kolaborasi lintas negara UNJ–UPSI; dan (4) mengevaluasi persepsi peserta terhadap pelaksanaan program sebagai dasar perbaikan keberlanjutan program serupa di masa mendatang.

2. TINJAUAN LITERATUR

Regenerative Education dan Keterkaitannya dengan SDGs

Regenerative Education merupakan pergeseran paradigma dari pendidikan keberlanjutan yang sekadar bersifat reduktif (*sustainability-as-reduction*) menuju pendidikan yang secara aktif membangun kapasitas regeneratif peserta didik dan komunitasnya (Wessels & Grünwald, 2023). Kerangka ini menempatkan pendidik dan peserta didik bukan hanya sebagai penerima pengetahuan, tetapi juga sebagai agen perubahan yang mampu merancang solusi bagi tantangan ekologis dan sosial di sekitarnya. Dalam konteks pendidikan tinggi dan pelatihan guru, prinsip ini relevan dikaitkan dengan capaian Agenda 2030, khususnya SDG 4 (Pendidikan Berkualitas) dan SDG 17 (Kemitraan untuk Mencapai Tujuan), yang menegaskan pentingnya kolaborasi lintas institusi dan lintas negara dalam mendukung transformasi pendidikan (United Nation, 2015).

Virtual Reality dalam Pembelajaran Kimia

Sifat konsep kimia yang abstrak dan submikroskopis menjadi tantangan klasik dalam pembelajaran, sehingga memerlukan media yang mampu memvisualisasikan fenomena tersebut secara konkret. Kajian sistematis oleh Fombona-Pascual et al. (2022) menunjukkan bahwa VR secara konsisten terbukti membantu visualisasi struktur atom dan molekul yang

sulit dipahami melalui media dua dimensi. Sejalan dengan hal tersebut, van Dinther et al. (2023) menegaskan bahwa VR berfungsi sebagai alat kognitif yang aktif membentuk pemahaman peserta didik, bukan sekadar media visual pasif. Studi eksperimental Gungor et al. (2022) turut memperkuat temuan ini dengan menunjukkan bahwa penggunaan VR dalam laboratorium kimia berkontribusi meningkatkan efikasi diri, minat, dan konsep diri peserta didik, sekaligus menurunkan kecemasan laboratorium. Namun demikian, tinjauan Matovu et al. (2023) mengingatkan bahwa efektivitas VR dalam pembelajaran sains sangat bergantung pada kualitas desain instruksional dan kesempatan praktik langsung (*hands-on*) yang diberikan kepada peserta didik, bukan semata-mata pada kecanggihan teknologinya.

Etnokimia dan Integrasi Kearifan Lokal

Selain aspek teknologi, pembelajaran kimia juga perlu diperkaya dengan konteks budaya lokal agar lebih bermakna dan membumi bagi peserta didik. Wahyudiati dan Qurniati (2023) menunjukkan bahwa eksplorasi kearifan lokal Sasak dan Jawa sebagai sumber belajar kimia berhasil meningkatkan hasil belajar calon guru, sementara kajian lanjutan Wahyudiati (2022) mengonfirmasi potensi kearifan lokal Nusantara sebagai bahan ajar kimia yang autentik. Pendekatan etnokimia ini sejalan dengan temuan Hikmawati et al. (2021) yang menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis masalah yang diintegrasikan dengan kearifan lokal secara signifikan meningkatkan keterampilan berpikir tingkat tinggi dan sikap ilmiah peserta didik. Temuan-temuan ini menjadi dasar konseptual pengembangan model Ethno-VR ECOMIX, yang secara sengaja memadukan isu ekologi dan kearifan budaya lokal Indonesia–Malaysia sebagai konten autentik dalam lingkungan belajar berbasis VR.

Kolaborasi Internasional dalam Pengembangan Profesional Guru

Kolaborasi lintas negara terbukti memperluas wawasan dan kompetensi profesional guru, khususnya ketika dirancang dalam bentuk pelatihan yang melibatkan interaksi lintas budaya secara langsung. Impedovo dan Malik (2019) menunjukkan bahwa pembelajaran profesional guru melalui kursus internasional berbasis kolaborasi Asia–Eropa memberikan dampak positif terhadap kompleksitas visi profesionalisme guru, baik bagi negara berkembang maupun negara maju. Temuan ini mendukung asumsi bahwa forum kolaboratif Indonesia–Malaysia dalam program ini berpotensi memperkaya perspektif pedagogis peserta melalui pertukaran pengalaman lintas institusi dan lintas budaya.

3. METODE PELAKSANAAN

Waktu, Tempat, dan Partisipan

Kegiatan dilaksanakan pada sesi siang (14.00–15.15 waktu setempat) bertempat di Asia e University (AeU), Malaysia, difasilitasi oleh SAiD-TECH. Partisipan program berjumlah 35 peserta yang mengikuti *Focus Group Discussion* (FGD) bertema "*Regenerative Education through Digital Innovation and Cross-Cultural Collaboration*", terdiri atas calon guru/mahasiswa pascasarjana di lingkungan AeU, Malaysia, dan guru kimia in-service dari sejumlah SMA/SMK di Indonesia yang mengikuti kegiatan secara kolaboratif. Dari jumlah tersebut, 34 peserta mengisi angket evaluasi persepsi secara lengkap dan menjadi responden dalam analisis pada artikel ini, terdiri atas 18 peserta berbasis di AeU, Malaysia (status non-ASN, rentang usia 22–49 tahun, rerata 37,1 tahun) dan 16 guru kimia *in-service* dari sekolah menengah di Indonesia, sebagian besar berstatus Aparatur Sipil Negara/ASN (rentang usia 34–59 tahun, rerata 46,2 tahun, dengan pengalaman mengajar kimia hingga 36 tahun).

Tahapan Pelaksanaan

Kegiatan dilaksanakan melalui tahapan sebagai berikut: (1) Pembukaan (14.00–14.15), berupa sambutan selamat datang oleh Prof. Ts. Dr. Aedah Abd. Rahman selaku Dekan dan Profesor SAiD-TECH, dilanjutkan sesi foto bersama sebagai dokumentasi kegiatan; (2) *Focus Group Discussion* dan Sosialisasi Program Pengabdian (14.15–15.15), berupa diskusi terstruktur mengenai riset dan pengabdian internasional bertema "Regenerative Education through Digital Innovation and Cross-Cultural Collaboration" yang diikuti 35 peserta, dilanjutkan dengan sosialisasi program pengabdian "*Strengthening Regenerative Education through Ethno-VR* ECOMIX (*Ecological-Cultural Mixed Learning*): *International Community Service Program for Indonesian-Malaysian Prospective Chemistry Teachers Facilitated by SAiD-TECH Academic Leads*" oleh panel narasumber, termasuk Dr. Ariyatun, M.Pd. dari Universitas Negeri Jakarta, Indonesia; (3) demonstrasi dan pelatihan penggunaan model serta materi Ethno-VR ECOMIX, mencakup pengenalan aplikasi VR untuk visualisasi fenomena kimia yang diintegrasikan dengan konteks budaya lokal Indonesia–Malaysia; dan (4) pendampingan (mentoring) kepada peserta dalam merancang skenario pembelajaran kimia berbasis model tersebut.

Instrumen dan Analisis Data

Evaluasi program dilakukan menggunakan Angket Persepsi Guru/Calon Guru Kimia (*Teacher*/*Pre-Service Chemistry Teacher Perception Questionnaire*) berbahasa ganda (Indonesia–Inggris) yang dikembangkan mengacu pada logika evaluasi program pelatihan bertingkat (reaksi, pembelajaran, dan niat perilaku) sebagaimana dikemukakan Kirkpatrick dan Kirkpatrick (2008). Angket terdiri atas data demografis (institusi asal, status kepegawaian, jenis kelamin, usia, dan pengalaman mengajar), 26 butir pernyataan tertutup berskala Likert 1–5 (1 = sangat tidak setuju/sangat rendah, 5 = sangat setuju/sangat tinggi) yang dikelompokkan ke dalam tujuh konstruk (pemahaman konseptual, kemampuan merancang pembelajaran, kompetensi teknologi VR, integrasi kearifan lokal, kolaborasi internasional, kualitas pelaksanaan program, serta keberlanjutan dan niat implementasi), dan tiga pertanyaan terbuka mengenai manfaat, kendala, dan saran perbaikan program. Data kuantitatif dianalisis secara deskriptif (rerata dan simpangan baku) dan diinterpretasikan menggunakan lima kategori interval yang membagi rentang skor 1–5 secara proporsional (1,00–1,80 sangat rendah; 1,81–2,60 rendah; 2,61–3,40 sedang; 3,41–4,20 tinggi; 4,21–5,00 sangat tinggi). Data kualitatif dari pertanyaan terbuka dianalisis menggunakan analisis tematik mengikuti prosedur Braun dan Clarke (2021), yang meliputi tahapan familiarisasi data, pembuatan kode awal, pencarian tema, peninjauan tema, penamaan tema, dan penyusunan laporan tematik, untuk mengonfirmasi dan memperkaya interpretasi data kuantitatif.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Pelaksanaan Kegiatan

Kegiatan berlangsung sesuai jadwal yang direncanakan dan mendapat sambutan positif dari pihak tuan rumah. Sambutan pembuka oleh Prof. Ts. Dr. Aedah Abd. Rahman menegaskan pentingnya kolaborasi lintas negara dalam merespons tantangan pendidikan berkelanjutan di kawasan Asia Tenggara, sekaligus menyampaikan apresiasi atas inisiatif kolaborasi UNJ–UPSI yang difasilitasi SAiD-TECH. Sesi FGD berjalan interaktif dengan partisipasi aktif dari 35 peserta lintas latar belakang institusi, diikuti dengan pemaparan model Ethno-VR ECOMIX oleh panel narasumber. Antusiasme peserta tampak tinggi selama sesi demonstrasi VR, meskipun keterbatasan jumlah perangkat keras (*headset* VR) menyebabkan sebagian besar peserta hanya dapat mengamati demonstrasi melalui

tayangan video, bukan mencoba secara langsung sebuah catatan penting yang akan dibahas lebih lanjut pada bagian analisis kualitatif.



Gambar 1. Aktivitas Peserta Selama Pelatihan

Profil Peserta

Sebanyak 34 peserta mengisi angket evaluasi secara lengkap, terdiri atas 20 perempuan (58,8%) dan 14 laki-laki (41,2%), dengan rentang usia 22–59 tahun (M = 41,1 tahun). Tabel 1 merangkum profil peserta berdasarkan kelompok asal institusi.

Tabel 1. Profil Peserta Berdasarkan Kelompok Institusi

Kelompok	**n**	**Status**	**Rentang Usia (M)**	**Keterangan**
Asia e University (AeU), Malaysia	18	Non-ASN (mahasiswa pascasarjana/calon guru)	22–49 (37,1)	12 laki-laki, 6 perempuan
Guru kimia in-service, sekolah menengah Indonesia	16	Mayoritas ASN (12 dari 16)	34–59 (46,2)	Pengalaman mengajar hingga 36 tahun
Total	**34**	22 Non-ASN, 12 ASN	22–59 (41,1)	20 perempuan, 14 laki-laki

Komposisi peserta yang menggabungkan calon guru (mahasiswa pascasarjana AeU) dengan guru in-service Indonesia mencerminkan karakteristik sasaran program sebagaimana tercantum dalam judul kegiatan, yaitu "*Indonesian-Malaysian Prospective Chemistry Teachers*", sekaligus memperkaya diskusi lintas generasi dan lintas pengalaman mengajar selama FGD berlangsung.

Persepsi Peserta terhadap Program (Analisis Kuantitatif)

Secara keseluruhan, rerata persepsi peserta terhadap seluruh 26 butir angket berada pada kategori tinggi (M = 3,97; skala 1–5). Tabel 2 menyajikan rekapitulasi skor rerata per konstruk.

Tabel 2. Rekapitulasi Persepsi Peserta per Konstruk (n = 34)

No	Konstruk	Jumlah Butir	Rerata (M)	Kategori
1	Pemahaman Konseptual (Regenerative Education & Ethno-VR ECOMIX)	4	3.93	Tinggi
2	Kemampuan Merancang Pembelajaran Kontekstual	4	3.77	Tinggi
3	Kompetensi Teknologi VR (Operasional & Kognitif)	4	3.82	Tinggi
4	Integrasi Kearifan Lokal Indonesia–Malaysia	3	4.11	Tinggi
5	Kolaborasi Internasional UNJ–UPSI	4	4.14	Tinggi
6	Kualitas Pelaksanaan Program	4	4.12	Tinggi
7	Keberlanjutan & Niat Implementasi	3	3.90	Tinggi
	Rerata Keseluruhan	**26**	**3.97**	**Tinggi**

Konstruk dengan skor tertinggi adalah Kolaborasi Internasional UNJ–UPSI (M = 4,14) dan Integrasi Kearifan Lokal (M = 4,11), yang keduanya berada pada kategori sangat tinggi mendekati batas atas kategori tinggi. Temuan ini konsisten dengan butir-butir individual seperti "Interaksi lintas budaya membantu memahami perspektif pendidikan sains dari negara lain" (M = 4,21) dan "Integrasi kearifan lokal membuat materi kimia terasa lebih bermakna" (M = 4,21), yang keduanya menempati skor tertinggi di antara seluruh 26 butir angket. Hal ini mengonfirmasi bahwa pendekatan etnokimia yang memadukan konteks budaya lokal Indonesia dan Malaysia berhasil membuat pembelajaran kimia terasa lebih relevan dan bermakna bagi peserta, sejalan dengan temuan Wahyudiati dan Qurniati (2023) bahwa integrasi kearifan lokal Sasak dan Jawa secara empiris meningkatkan hasil belajar calon guru kimia.

Sebaliknya, konstruk dengan skor relatif terendah adalah Kemampuan Merancang Pembelajaran Kontekstual (M = 3,77), khususnya pada butir "Mampu merancang skenario pembelajaran kimia yang mengaitkan konsep kimia dengan isu ekologi" (M = 3,65), yang merupakan salah satu skor terendah di antara seluruh butir. Skor ini menunjukkan bahwa meskipun peserta memahami konsep secara kognitif, penerjemahan pemahaman tersebut ke dalam rancangan pembelajaran konkret masih memerlukan pendampingan lanjutan hal yang wajar mengingat durasi sosialisasi dan pelatihan yang relatif singkat (satu sesi siang). Skor pada Kompetensi Teknologi VR (M = 3,82) juga menunjukkan pola serupa: butir pemahaman konseptual tentang VR sebagai alat kognitif (M = 3,97) dan manfaat VR untuk visualisasi (M = 4,03) memperoleh skor tinggi, tetapi butir keterampilan operasional "Mampu mengoperasikan perangkat dan aplikasi Ethno-VR ECOMIX dengan baik" memperoleh skor terendah di antara seluruh 26 butir angket (M = 3,56; SD = 0,99, simpangan baku terbesar di antara seluruh butir). Pola ini konsisten dengan temuan tinjauan literatur bahwa VR efektif mendukung visualisasi konsep kimia yang abstrak (van Dinther et al., 2023), namun penguasaan keterampilan teknis penggunaannya tetap memerlukan waktu latihan langsung yang memadai sebuah kebutuhan yang secara eksplisit dikonfirmasi oleh data kualitatif pada bagian berikut.

Konstruk Kualitas Pelaksanaan Program (M = 4,12) dan kepuasan keseluruhan peserta (butir "Secara keseluruhan, saya puas dengan pelaksanaan program ini", M = 4,15) menunjukkan bahwa dari sisi manajemen kegiatan, sosialisasi, dan pendampingan tim pelaksana, program dinilai peserta terlaksana dengan baik. Adapun konstruk Keberlanjutan dan Niat Implementasi (M = 3,90) termasuk niat menerapkan model dalam praktik mengajar (M = 3,82) dan kesediaan menyebarluaskan pengetahuan kepada rekan sejawat (M = 3,91) berada pada kategori tinggi, mengindikasikan potensi keberlanjutan dampak

program di luar forum kegiatan itu sendiri, meskipun skor pada aspek ini konsisten sedikit lebih rendah dibandingkan aspek kepuasan dan kolaborasi, sejalan dengan pola umum evaluasi pelatihan bahwa transfer niat menjadi perilaku nyata (level 3 dalam model evaluasi Kirkpatrick dan Kirkpatrick, (2008) cenderung lebih rendah dibandingkan reaksi kepuasan pada level pertama.

Analisis Data Kualitatif: Manfaat, Kendala, dan Saran

Analisis tematik terhadap tiga pertanyaan terbuka memperkuat dan memperkaya temuan kuantitatif di atas. Pada aspek manfaat, mayoritas peserta menyatakan memperoleh wawasan (*insight*) baru mengenai pemanfaatan VR dalam pembelajaran kimia dan inspirasi untuk merancang pembelajaran yang lebih kontekstual, interaktif, dan relevan dengan kehidupan sehari-hari; sebagian peserta juga menyebutkan manfaat pada aspek afektif (rasa senang, motivasi) dan peningkatan kepercayaan diri serta kemampuan kerja sama tim.

Pada aspek kendala, tema yang paling dominan dan berulang adalah keterbatasan perangkat keras VR (*headset*/oculus) sehingga sebagian besar peserta hanya menyaksikan demonstrasi VR melalui video dan belum berkesempatan mencoba secara langsung, sebagaimana diungkapkan salah satu peserta: "Tidak ada kendala yang berarti. Namun, karena penggunaan VR masih berupa demonstrasi melalui video, peserta belum memperoleh pengalaman mencoba VR secara langsung." Kendala lain yang muncul meliputi keterbatasan kemampuan literasi digital sebagian peserta, kebutuhan waktu adaptasi terhadap kontrol perangkat VR, gangguan teknis (jaringan/spesifikasi komputer), serta satu laporan gejala *motion sickness*. Temuan kualitatif ini secara langsung menjelaskan mengapa butir "Mampu mengoperasikan perangkat dan aplikasi Ethno-VR ECOMIX" memperoleh skor terendah dan simpangan baku terbesar pada data kuantitatif sebuah contoh baik dari triangulasi data kuantitatif dan kualitatif dalam evaluasi program pengabdian ini.

Pada aspek saran perbaikan, peserta secara konsisten mengusulkan: (1) penyediaan perangkat VR fisik dalam jumlah memadai agar peserta dapat mencoba secara langsung (*hands-on*), bukan hanya menyaksikan demonstrasi; (2) penambahan durasi sesi diskusi dan praktik, mengingat waktu satu sesi siang dirasakan terlalu singkat untuk eksplorasi materi secara mendalam; (3) penyediaan panduan pengguna (user guide) yang lebih jelas dan sederhana; (4) penambahan contoh penerapan praktis dalam pembelajaran di kelas; serta (5) penyelenggaraan sesi tindak lanjut (follow-up) dan penyebarluasan program ke cakupan peserta yang lebih luas.

Diskusi

Secara umum, hasil evaluasi menunjukkan bahwa model Ethno-VR ECOMIX berhasil menjembatani tiga capaian utama sekaligus penguatan literasi keberlanjutan (*regenerative education*) yang terhubung dengan SDGs, penguatan identitas budaya lokal Indonesia–Malaysia dalam pembelajaran kimia, dan penguatan jejaring akademik internasional antara UNJ dan UPSI yang difasilitasi SAiD-TECH, AeU. Pembahasan berikut mengurai capaian tersebut secara lebih rinci berdasarkan keempat tujuan kegiatan yang telah dirumuskan.

Pertama, terkait peningkatan pemahaman peserta mengenai konsep *Regenerative Education* dan keterkaitannya dengan SDG 4, 12, 13, dan 17, tingginya skor persepsi keseluruhan (M = 3,97 dari 5) mengindikasikan bahwa forum FGD internasional cukup efektif mentransfer pemahaman konseptual tersebut kepada peserta. Temuan ini konsisten dengan gagasan Wessels dan Grünwald (2023) bahwa pergeseran dari paradigma *sustainability-as-reduction* menuju kapasitas regeneratif peserta didik memerlukan ruang dialogis dan reflektif yang dalam konteks program ini diwujudkan melalui sesi FGD "*Regenerative Education through Digital Innovation and Cross-Cultural Collaboration*".

Keterkaitan eksplisit dengan SDG 4, 12, 13, dan 17 yang ditegaskan dalam Agenda 2030 (United Nation, 2015) juga tampak terinternalisasi oleh peserta, sebagaimana tercermin dari respons kualitatif yang menyebut adanya "wawasan baru" mengenai hubungan antara isu ekologi dan praktik pembelajaran kimia sehari-hari.

Kedua, tujuan meningkatkan kemampuan peserta merancang pembelajaran kimia yang mengintegrasikan isu ekologi, teknologi VR, dan kearifan lokal Indonesia–Malaysia menunjukkan capaian yang lebih beragam. Skor tinggi pada konstruk integrasi kearifan lokal (M = 4,11) sejalan dengan temuan Wahyudiati dan Qurniati (2023) bahwa eksplorasi kearifan lokal Nusantara dalam hal ini jamu, batik, dan anyaman dapat menjadi sumber belajar kimia yang autentik dan mudah diterima peserta, sekaligus memperkuat sikap ilmiah sebagaimana ditunjukkan Hikmawati et al. (2021) pada pembelajaran berbasis kearifan lokal. Namun demikian, skor relatif lebih rendah pada kemampuan merancang pembelajaran kontekstual secara operasional (M = 3,77) menunjukkan adanya kesenjangan antara pemahaman konseptual dan keterampilan teknis-praktis. Kesenjangan ini sejalan dengan peringatan (Matovu et al., (2023) bahwa efektivitas VR dalam pembelajaran sains sangat bergantung pada kualitas desain instruksional dan kesempatan praktik langsung (*hands-on*), bukan semata-mata pada kecanggihan teknologinya semata. Keterbatasan jumlah perangkat VR fisik yang dikonfirmasi dalam data kualitatif juga konsisten dengan tantangan infrastruktur yang banyak dilaporkan dalam kajian sistematis integrasi laboratorium VR di ruang kelas (Guruloo & Osman, 2023), di mana keterbatasan akses perangkat kerap menjadi kendala utama replikasi praktik VR secara mandiri oleh guru setelah pelatihan berakhir.

Ketiga, tujuan memperluas wawasan dan jejaring akademik internasional peserta melalui kolaborasi UNJ–UPSI tercermin dari skor tertinggi pada seluruh konstruk yang diukur (M = 4,14). Temuan ini memperkuat argumen Impedovo dan Malik (2019) bahwa pembelajaran profesional guru melalui forum kolaboratif lintas negara memberikan dampak positif terhadap kompleksitas visi profesionalisme guru, baik bagi peserta dari negara berkembang maupun negara maju, karena membuka ruang pertukaran perspektif pedagogis yang jarang diperoleh dalam pelatihan berskala nasional semata. Tingginya apresiasi peserta terhadap dimensi kolaborasi internasional ini juga mengindikasikan bahwa format program lintas institusi (UNJ, UPSI, dan SAiD-TECH AeU) berhasil menciptakan ruang jejaring yang dirasakan bermakna, sejalan dengan semangat SDG 17 mengenai kemitraan untuk mencapai tujuan pembangunan berkelanjutan (United Nation, 2015).

Keempat, evaluasi persepsi peserta secara keseluruhan menjadi dasar penting bagi perbaikan keberlanjutan program serupa di masa mendatang. Merujuk pada model evaluasi pelatihan bertingkat Kirkpatrick dan Kirkpatrick (2008), skor tinggi pada level reaksi dan pembelajaran (pemahaman konseptual dan apresiasi program) belum tentu berbanding lurus dengan level perilaku, yakni penerapan nyata di kelas. Kesenjangan antara pemahaman konseptual yang tinggi dan keterampilan operasional-teknis yang masih perlu ditingkatkan khususnya pada aspek penggunaan perangkat VR dan perancangan skenario pembelajaran konkret menunjukkan bahwa program sosialisasi satu sesi tatap muka (*one-shot*) berisiko tidak cukup untuk mendorong perubahan praktik mengajar yang berkelanjutan. Hal ini sejalan dengan tinjauan komprehensif Darling-Hammond, et.al (2017) terhadap 35 studi tentang efektivitas pengembangan profesional guru, yang menyimpulkan bahwa program pengembangan profesional yang efektif memerlukan durasi berkelanjutan, pendampingan (*coaching*) dan dukungan ahli, serta kesempatan umpan balik dan refleksi bukan aktivitas tunggal yang berdiri sendiri. Dengan demikian, temuan kualitatif maupun kuantitatif program ini secara konsisten menegaskan perlunya tindak lanjut berupa program pendampingan berkelanjutan pascapelatihan, penyediaan perangkat VR yang lebih memadai untuk latihan mandiri, serta mekanisme evaluasi berkala guna memastikan bahwa

peningkatan pemahaman konseptual yang telah dicapai benar-benar bertransformasi menjadi perubahan praktik pembelajaran kimia di kelas masing-masing peserta.

Secara keseluruhan, keempat tujuan kegiatan terpenuhi dengan tingkat capaian yang bervariasi: capaian tertinggi pada dimensi kolaborasi internasional dan integrasi kearifan lokal, sementara capaian yang masih memerlukan penguatan lebih lanjut terletak pada kemampuan operasional-teknis peserta dalam merancang dan mengimplementasikan pembelajaran berbasis VR secara mandiri di kelas.

5. KESIMPULAN

Program pengabdian internasional *"Strengthening Regenerative Education through Ethno-VR ECOMIX"* di Asia e University, Malaysia, hasil kolaborasi Universitas Negeri Jakarta dan Universiti Pendidikan Sultan Idris yang difasilitasi SAiD-TECH, terbukti efektif meningkatkan pemahaman dan persepsi positif 34 guru dan calon guru kimia Indonesia–Malaysia terhadap integrasi Regenerative Education, teknologi VR, dan kearifan lokal dalam pembelajaran kimia, dengan rerata persepsi keseluruhan berkategori tinggi (M = 3,97 dari skala 5). Skor tertinggi diperoleh pada aspek kolaborasi internasional dan integrasi kearifan lokal, sementara kemampuan operasional VR dan perancangan pembelajaran kontekstual masih memerlukan penguatan, terutama akibat terbatasnya kesempatan praktik langsung dengan perangkat VR fisik. Disarankan agar program serupa ke depan menyediakan perangkat VR dalam jumlah memadai, memperpanjang durasi praktik dan pendampingan, menyusun panduan implementasi mandiri yang sederhana, serta merancang program tindak lanjut untuk mengawal penerapan model di kelas nyata. Implikasinya, keberlanjutan kolaborasi UNJ–UPSI perlu diperluas ke lebih banyak institusi mitra di Asia Tenggara guna memperkuat dampak jangka panjang model Ethno-VR ECOMIX.

6. UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pengabdian menyampaikan terima kasih kepada Prof. Ts. Dr. Aedah Abd. Rahman selaku Dekan dan Profesor SAiD-TECH, Asia e University (AeU), Malaysia, atas dukungan dan fasilitasi penyelenggaraan kegiatan; kepada mitra Universiti Pendidikan Sultan Idris (UPSI) atas kolaborasi yang terjalin; serta kepada seluruh peserta FGD dan program pengabdian yang telah berpartisipasi aktif dan mengisi angket evaluasi.
Pengabdian kepada masyarakat ini didanai oleh LPPM Universitas Negeri Jakarta (Nomor 31/PPM-KI/LPPM/III/2026).

7. DAFTAR PUSTAKA

Braun, V., & Clarke, V. (2021). *Thematic analysis: A practical guide*. SAGE Publications.

Darling-Hammond, Linda; Hyler, Maria E.; Gardner, M. (2017). *Effective teacher professional development*. https://doi.org/https://doi.org/10.54300/122.311

Fombona-Pascual, A., Fombona, J., & Vázquez-Cano, E. (2022). VR in chemistry, a review of scientific research on advanced atomic/molecular visualization. *Chemistry Education Research and Practice*, *23*, 300–312. https://doi.org/https://doi.org/10.1039/D1RP00317H

Gungor, A., Kool, D., Lee, M., Avraamidou, L., Eisink, N., Albada, B., van der Kolk, K., Tromp, M., & Bitter, J. H. (2022). The use of virtual reality in a chemistry lab and its impact on students' self efficacy, interest, self-concept and laboratory anxiety. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *18*(3). https://doi.org/10.29333/ejmste/11814

Guruloo, T. N. M., & Osman, K. (2023). Integrating Virtual Reality Laboratories (VRLs) in chemistry education: A systematic literature review. *International Journal of Education*, *15*(4), 127–142. https://doi.org/https://doi.org/10.5296/ije.v15i4.21372

Hikmawati, H., Suastra, I. W., Suma, K., Sudiatmika, A. A. I. A. R., & Rohani, R. (2021). The effect of problem-based learning integrated local wisdom on student hots and scientific attitude. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, *7*(SpecialIssue), 233–239. https://doi.org/10.29303/jppipa.v7iSpecialIssue.1118

Impedovo, M. A., & Malik, S. K. (2019). Pakistani teacher-educator professional learning through an international blended course. *Open Praxis*, *11*(2), 157–166. https://doi.org/10.5944/openpraxis.11.2.928

Kirkpatrick, D. L., & Kirkpatrick, J. D. (2008). *Evaluating training programs: The four levels* (3rd ed.). Berrett-Koehler Publishers Inc.

Matovu, H., Ungu, D. A. K., Won, M., Tsai, C.-C., Treagust, D. F., Mocerino, M., & Tasker, R. (2023). Immersive virtual reality for science learning: Design, implementation, and evaluation. *Studies in Science Education*, *59*(2), 205–244. https://doi.org/10.1080/03057267.2022.2082680

United Nation. (2015). *Transforming our world: The 2030 agenda for sustainable development*. United Nations General Assembly. https://sdgs.un.org/2030agenda

van Dinther, R., de Putter, L., & Pepin, B. (2023). Features of immersive virtual reality to support meaningful chemistry education. *Journal of Chemical Education*, *100*(4), 1537–1546. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01069

Wahyudiati, D. (2022). Ethnochemistry: Exploring the potential of Sasak and Java local wisdom as a teaching materials. *Jurnal Pendidikan Kimia Indonesia*, *6*(2), 116–122. https://doi.org/https://doi.org/10.23887/jpki.v6i2.49890

Wahyudiati, D., & Qurniati, D. (2023). Ethnochemistry: Exploring the potential of Sasak and Javanese local wisdom as a source of chemistry learning to improve the learning outcomes of pre-service teachers. *Jurnal Pendidikan Sains Indonesia*, *11*(1), 12–24. https://doi.org/https://doi.org/10.24815/jpsi.v11i1.26790

Wessels, K. R., & Grünwald, L. (2023). Fulfilling the regenerative potential of higher education: A collaborative auto-ethnography. *Education Sciences*, *13*(10). https://doi.org/10.3390/educsci13101037