



---

## DESAIN LABORATORIUM VIRTUAL BERORIENTASI *GREEN CHEMISTRY* DENGAN PROYEK UNTUK MENINGKATKAN HASIL BELAJAR PADA PENGAJARAN GRAVIMETRI

Anggun Vitanida Simanjuntak<sup>1\*</sup> & Manihar Situmorang<sup>2</sup>

<sup>1&2</sup>Program Studi Pendidikan Kimia, Fakultas Matematika dan Ilmu Pengetahuan Alam, Universitas Negeri Medan, Jalan William Iskandar Ps. V, Deli Serdang, Sumatera Utara 20221, Indonesia

\*Email: [anggunsimanjuntak12@gmail.com](mailto:anggunsimanjuntak12@gmail.com)

Submit: 20-04-2026; Revised: 28-04-2026; Accepted: 29-04-2026; Published: 30-04-2026

**ABSTRAK:** Pembelajaran gravimetri dalam kimia analitik menghadapi keterbatasan alat, risiko penggunaan bahan kimia berbahaya, serta rendahnya hasil belajar mahasiswa. Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan dan menguji efektivitas laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek pada materi gravimetri. Metode penelitian yang digunakan adalah *Research and Development* (R&D) dengan model 4D yang dilanjutkan dengan uji coba kuasi-eksperimen menggunakan desain *pretest-posttest non-equivalent control group*. Subjek penelitian terdiri atas 34 mahasiswa pada kelas eksperimen dan 38 mahasiswa pada kelas kontrol. Hasil penelitian menunjukkan bahwa peningkatan hasil belajar lebih tinggi pada kelas eksperimen ( $N\text{-Gain} = 0,63$ ; kategori sedang) dibandingkan dengan kelas kontrol ( $N\text{-Gain} = 0,54$ ; kategori sedang). Hasil uji-t menunjukkan adanya perbedaan yang signifikan ( $t_{\text{hitung}} = 2,868 > t_{\text{tabel}} = 2,000$ ;  $p < 0,05$ ), sehingga laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek terbukti lebih efektif dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi laboratorium virtual, *green chemistry*, dan *project-based learning* efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa, serta berpotensi menjadi alternatif pembelajaran praktikum yang aman dan berkelanjutan.

**Kata Kunci:** Gravimetri, *Green Chemistry*, Hasil Belajar, Laboratorium Virtual, *Project-Based Learning*.

**ABSTRACT:** Gravimetry learning in analytical chemistry faces limitations in tools, the risk of using hazardous chemicals, and low student learning outcomes. This study aims to develop and test the effectiveness of a project-based green chemistry-oriented virtual laboratory on gravimetry material. The research method used is *Research and Development* (R&D) with a 4D model followed by a quasi-experimental trial using a *pretest-posttest non-equivalent control group* design. The research subjects consisted of 34 students in the experimental class and 38 students in the control class. The results showed that the increase in learning outcomes was higher in the experimental class ( $N\text{-Gain} = 0.63$ ; medium category) compared to the control class ( $N\text{-Gain} = 0.54$ ; medium category). The *t*-test results showed a significant difference ( $t \text{ count} = 2.868 > t \text{ table} = 2.000$ ;  $p < 0.05$ ), so that the project-based green chemistry-oriented virtual laboratory was proven to be more effective than conventional learning. These findings indicate that the integration of virtual laboratories, green chemistry, and project-based learning is effective in improving student learning outcomes and has the potential to be a safe and sustainable alternative to practical learning.

**Keywords:** Gravimetry, *Green Chemistry*, Learning Outcomes, Virtual Laboratory, *Project-Based Learning*.

**How to Cite:** Simanjuntak, A. V., & Situmorang, M. (2026). Desain Laboratorium Virtual Berorientasi *Green Chemistry* dengan Proyek untuk Meningkatkan Hasil Belajar pada Pengajaran Gravimetri. *Panthera : Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains dan Terapan*, 6(2), 1425-1435. <https://doi.org/10.36312/panthera.v6i2.1296>



## PENDAHULUAN

Gravimetri merupakan salah satu metode analisis kuantitatif dalam kimia analitik yang penting dikuasai oleh mahasiswa, karena menuntut ketelitian tinggi, pemahaman konseptual yang mendalam, serta keterampilan laboratorium yang baik. Dalam metode ini, kadar suatu zat ditentukan melalui pengukuran massa endapan yang terbentuk setelah reaksi kimia yang meliputi tahapan pengendapan, penyaringan, pencucian, pengeringan, dan penimbangan. Kompleksitas prosedur tersebut menuntut kemampuan konseptual dan keterampilan praktikum yang memadai agar hasil analisis akurat dan sesuai dengan prinsip ilmiah (Lukum, 2022). Namun, dalam praktiknya pembelajaran gravimetri di perguruan tinggi masih menghadapi berbagai kendala. Berdasarkan hasil wawancara pendahuluan di Universitas Negeri Medan, praktikum gravimetri belum pernah dilaksanakan. Media pembelajaran yang digunakan masih terbatas pada *PowerPoint* dan video *YouTube*, serta mahasiswa menyatakan kesulitan dalam memahami konsep pengendapan dan perhitungan kadar analit.

Secara lebih mendalam, rendahnya hasil belajar mahasiswa pada materi gravimetri disebabkan oleh tiga faktor utama. Pertama, dari aspek kognitif, mahasiswa mengalami kesulitan dalam menghubungkan prosedur praktikum (pengendapan, penyaringan, dan pengeringan) dengan konsep teoretis seperti stoikiometri, kelarutan, dan faktor gravimetri. Kesenjangan antara prosedur dan konsep ini menyebabkan pemahaman yang bersifat hafalan. Data awal menunjukkan bahwa rata-rata nilai *pre-test* mahasiswa hanya mencapai  $34,12 \pm 12,58$  (kelas eksperimen) dan  $33,16 \pm 10,16$  (kelas kontrol) yang mengindikasikan pemahaman konsep yang masih sangat rendah. Kedua, dari aspek pedagogis, pembelajaran masih didominasi oleh pendekatan *teacher-centered* dengan penggunaan media yang terbatas, sehingga mahasiswa cenderung pasif dan tidak terlatih dalam memecahkan masalah secara mandiri (Fatayah, 2023).

Ketiga, dari aspek desain praktikum, kegiatan laboratorium konvensional sering bersifat *cookbook* (resep), dimana mahasiswa hanya mengikuti langkah-langkah tanpa diberi kesempatan untuk berpikir kritis, merancang eksperimen, atau menginterpretasikan data secara reflektif. Kondisi ini diperparah oleh keterbatasan akses laboratorium, minimnya umpan balik, serta kekhawatiran mahasiswa terhadap risiko bahan kimia berbahaya seperti nitrat, klorida, dan asam kuat. Di sisi lain, praktikum kimia konvensional juga menimbulkan permasalahan lingkungan akibat penggunaan bahan kimia berbahaya dan limbah yang dihasilkan, sehingga tidak sejalan dengan prinsip keberlanjutan dalam *green chemistry* (Hanifa *et al.*, 2024). Oleh karena itu, diperlukan inovasi pembelajaran yang tidak hanya meningkatkan hasil belajar secara kognitif dan keterampilan, tetapi juga aman, efisien, dan ramah lingkungan.

Berbagai penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual dapat meningkatkan pemahaman konsep, keterampilan praktikum, serta hasil belajar mahasiswa. Laboratorium virtual memungkinkan



mahasiswa melakukan simulasi eksperimen secara interaktif, fleksibel, dan aman tanpa risiko paparan bahan kimia berbahaya (Bogar *et al.*, 2023). Selain itu, integrasi prinsip *green chemistry* dalam pembelajaran kimia terbukti mampu meningkatkan kesadaran lingkungan, serta menciptakan proses pembelajaran yang lebih berkelanjutan (Ravichandran *et al.*, 2021). Penelitian lain juga menunjukkan bahwa penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) dapat meningkatkan keterlibatan aktif mahasiswa, kemampuan berpikir kritis, serta hasil belajar (Agusdianita, 2023; Nurhidayati *et al.*, 2024). Namun, sebagian besar penelitian masih mengkaji penggunaan laboratorium virtual, *green chemistry*, dan PjBL secara terpisah, sehingga belum banyak penelitian yang mengintegrasikan ketiga pendekatan tersebut secara komprehensif dalam pembelajaran gravimetri (Fauziah *et al.*, 2024).

Kebaruan ilmiah (*novelty*) dalam penelitian ini terletak pada integrasi laboratorium virtual, *green chemistry*, dan PjBL secara terpadu dalam pembelajaran gravimetri. Secara teoretis, pendekatan terpadu ini mengakomodasi tiga ranah belajar sekaligus, yaitu: 1) visualisasi konsep abstrak melalui simulasi (teori konstruktivisme); 2) penguatan kesadaran lingkungan melalui prinsip keberlanjutan (teori pembelajaran transformatif); dan 3) pengembangan keterampilan berpikir tingkat tinggi melalui penyelesaian proyek nyata (teori belajar pengalaman Dewey).

Secara praktis, integrasi ini menawarkan solusi atas tiga kelemahan utama, yaitu keterbatasan alat (laboratorium virtual), risiko bahaya kimia (*green chemistry*), dan rendahnya keterlibatan aktif mahasiswa (PjBL). Sebagian besar penelitian sebelumnya masih mengkaji ketiga pendekatan tersebut secara terpisah atau hanya menggabungkan dua di antaranya (Agusdianita, 2023; Bogar *et al.*, 2023; Fauziah *et al.*, 2024). Dengan demikian, penelitian ini mengisi kesenjangan (*gap*) penelitian dengan menghadirkan model pembelajaran yang simultan, yang tidak hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga membekali mahasiswa dengan keterampilan abad ke-21 dan kesadaran keberlanjutan.

Kontribusi penelitian ini terhadap pembelajaran kimia sangat signifikan, karena memberikan alternatif model pembelajaran yang mampu meningkatkan tiga ranah sekaligus, yaitu: 1) ranah kognitif (pemahaman konsep gravimetri meningkat dari *pre-test* 34,12 menjadi *post-test* 76,76; 2) ranah keterampilan (mahasiswa terlatih melakukan prosedur analisis melalui simulasi sebelum praktikum nyata); dan 3) ranah sikap (kesadaran lingkungan tumbuh melalui penerapan prinsip *green chemistry*). Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya berkontribusi pada pengayaan teori pembelajaran kimia (konstruktivisme, pembelajaran transformatif, dan teori belajar pengalaman Dewey), tetapi juga menyediakan produk laboratorium virtual yang siap diimplementasikan secara luas sebagai solusi praktis atas permasalahan pembelajaran gravimetri di perguruan tinggi.

Permasalahan dalam penelitian ini adalah, apakah penggunaan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek dapat meningkatkan hasil belajar mahasiswa secara signifikan dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Berdasarkan permasalahan tersebut, hipotesis penelitian ini adalah, bahwa pembelajaran menggunakan laboratorium virtual



berorientasi *green chemistry* berbasis proyek lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada materi gravimetri dibandingkan dengan pembelajaran konvensional. Tujuan penelitian ini adalah untuk mengembangkan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek, serta menguji efektivitasnya dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada materi gravimetri.

## METODE

Penelitian ini merupakan penelitian pengembangan (*Research and Development/R&D*) yang dilanjutkan dengan uji efektivitas menggunakan desain kuasi-eksperimen (*quasi-experimental design*) tipe *pretest-posttest non-equivalent control group design*, dengan model pengembangan 4D (*Define, Design, Develop, Disseminate*). Subjek penelitian adalah mahasiswa Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan, semester genap tahun ajaran 2026/2027. Teknik pengambilan sampel menggunakan *purposive sampling* dengan pertimbangan bahwa kedua kelas memiliki karakteristik relatif setara dan belum mendapatkan materi gravimetri. Sampel penelitian terdiri dari dua kelas, yaitu kelas eksperimen (PSPK 24 D,  $n = 34$ ) yang diberikan pembelajaran menggunakan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek, dan kelas kontrol (PSPK 24 B,  $n = 38$ ) yang menggunakan pembelajaran konvensional (ceramah dan praktikum tanpa simulasi virtual). Seluruh mahasiswa aktif, memiliki latar belakang pendidikan kimia, dan belum pernah menggunakan laboratorium virtual sebelumnya.

Instrumen yang digunakan meliputi lembar validasi media dan materi untuk menilai kelayakan produk, angket respon mahasiswa, serta tes hasil belajar (*pre-test* dan *post-test*) berbentuk pilihan ganda sebanyak 10 soal. Validasi instrumen dan media dilakukan oleh tiga orang ahli (validator) yang merupakan dosen ahli di bidang kimia analitik, media pembelajaran, dan evaluasi pembelajaran. Validasi menggunakan skala *Likert* 1–4 (1 = tidak layak, 4 = sangat layak) dengan kriteria kelayakan, yaitu 3,26–4,00 (sangat layak), 2,51–3,25 (layak), 1,76–2,50 (kurang layak), dan  $\leq 1,75$  (tidak layak). Hasil validasi media menunjukkan rata-rata skor  $3,4 \pm 0,25$  (kategori sangat layak). Instrumen tes hasil belajar juga telah diuji validitas isi, tingkat kesukaran, daya pembeda, dan reliabilitas (K-R.20) dengan hasil reliabel ( $r = 0,85$ ).

Prosedur penelitian mengintegrasikan tahapan umum (persiapan, pelaksanaan, akhir) ke dalam model 4D. Pada tahap *define* (pendefinisian), dilakukan analisis kebutuhan melalui wawancara dengan mahasiswa dan kajian kurikulum, identifikasi permasalahan pembelajaran gravimetri, analisis karakteristik mahasiswa, serta analisis materi esensial. Hasilnya menunjukkan bahwa praktikum gravimetri belum pernah dilaksanakan, media terbatas pada *PowerPoint* dan video *YouTube*, serta hasil belajar rendah (rata-rata *pre-test*  $\sim 34$ ). Pada tahap *design* (perancangan), dirancang laboratorium virtual meliputi alur praktikum, desain tampilan media (menggunakan *Microsoft PowerPoint* dan *iSpring Suite*), skenario pembelajaran berbasis PjBL, serta pengembangan instrumen penelitian (tes hasil belajar, angket respon, lembar observasi, dan lembar validasi). Produk awal berupa *storyboard* dan tautan laboratorium virtual.



Pada tahap *develop* (pengembangan), laboratorium virtual dikembangkan kemudian divalidasi oleh tiga ahli materi dan media. Setelah validasi, dilakukan uji coba terbatas kepada mahasiswa untuk memperoleh masukan, kemudian direvisi sebelum diimplementasikan. Pada tahap *disseminate* (penyebaran) dan uji efektivitas, laboratorium virtual diimplementasikan pada kelas eksperimen (PSPK 24 D, n=34) dengan pembelajaran, yaitu *pre-test* → simulasi virtual lab (1 minggu sebelum praktikum) → praktikum nyata penentuan kadar kalsium pada sampel ikan (teri, tongkol, dencis, nila, lele, kembung) → *post-test*. Kelas kontrol (PSPK 24 B, n=38) mengikuti pembelajaran konvensional, yaitu *pre-test* → praktikum nyata dengan bahan  $\text{CaCl}_2$  tanpa simulasi awal → *post-test*. Teknik analisis data dilakukan secara kuantitatif, dan data hasil belajar dianalisis menggunakan uji *N-Gain* untuk mengetahui peningkatan hasil belajar.

$$N - Gain = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest}}{\text{Skor Ideal} - \text{Skor Pretest}} \times 100 \%$$

**Tabel 1. Kriteria Skor *N-Gain*.**

No.	Kriteria	Simpulan
1	$g < 0.7$	Tinggi
2	$0.3 \leq g < 0.7$	Sedang
3	$g \leq 0.3$	Rendah

Sebelum uji hipotesis, dilakukan uji prasyarat meliputi uji normalitas (Kolmogorov-Smirnov) dengan kriteria data normal jika  $\text{sig.} > 0,05$ , serta uji homogenitas (Levene) dengan kriteria data homogen jika  $\text{sig.} > 0,05$ . Uji hipotesis menggunakan *independent sample t-test* untuk mengetahui perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol, dengan hipotesis diterima jika  $\text{sig.} (2\text{-tailed}) < 0,05$ . Data validasi ahli dan angket respon mahasiswa dianalisis secara deskriptif menggunakan rata-rata dan standar deviasi, kemudian dikonversi ke skala kualitatif sesuai kriteria kelayakan. Selanjutnya, uji-t menggunakan SPSS untuk menguji perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Data hasil validasi dan angket dianalisis secara deskriptif untuk menentukan tingkat kelayakan dan respon mahasiswa terhadap media yang dikembangkan.

## HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil validasi laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek oleh tiga orang ahli (materi, media, dan evaluasi) menunjukkan rata-rata skor kelayakan sebesar  $3,4 \pm 0,25$  dengan kategori sangat layak (skala 1–4). Aspek kelayakan isi memperoleh skor 3,4, kelayakan bahasa 3,5, kelayakan penyajian 3,3, dan kelayakan kegrafikan 3,4. Dengan demikian, laboratorium virtual dinyatakan layak digunakan dalam pembelajaran gravimetri. Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis *project-based learning* memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan hasil belajar mahasiswa pada materi gravimetri. Berdasarkan data, rata-rata nilai *pre-test* kelas eksperimen ( $34,12 \pm 12,58$ ) dan kelas kontrol ( $33,16 \pm 10,16$ ) menunjukkan kemampuan awal yang relatif setara. Setelah perlakuan, nilai *post-test* kelas eksperimen meningkat menjadi  $76,76 \pm$



9,45, lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar  $70,26 \pm 8,85$ . Peningkatan ini diperkuat oleh nilai *N-Gain* kelas eksperimen sebesar 0,63 (kategori sedang) yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,54 (kategori sedang). Hasil uji *independent sample t-test* menunjukkan terdapat perbedaan yang signifikan antara kedua kelas pada *post-test* ( $t = 3,004$ ;  $p < 0,05$ ) dan *N-Gain* ( $t = 2,226$ ;  $p = 0,029$ ). Dengan demikian, hipotesis alternatif ( $H_a$ ) diterima yang berarti laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek lebih efektif dibandingkan pembelajaran konvensional dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada materi gravimetri.

**Tabel 2. Hasil Belajar Mahasiswa.**

	Hasil Belajar ( $M \pm \text{Stdv}$ )		Analisis Statistik
	Kelas Eksperimen (n = 34)	Kelas Kontrol (n = 38)	
<i>Pre-test</i>	$34.12 \pm 12.58$	$33.16 \pm 10.16$	$t_{\text{hitung}} 2.868 > t_{\text{tabel}} 2.000$
<i>Post-test</i>	$76.76 \pm 9.45$	$70.26 \pm 8.85$	$t_{\text{hitung}} 3.004 > t_{\text{tabel}} 2.000$
<i>N-Gain</i>	$0.63 \pm 0.18$	$0.54 \pm 0.17$	$t_{\text{hitung}} 2.226 > t_{\text{tabel}} 2.000$

**Tabel 3. Hasil Uji Hipotesis.**

Jenis Tes	Kelas Eksperimen	Kelas Kontrol
Uji normalitas	Sig. K.S = 0.065	Sig. K.S = 0.173
Uji homogenitas	Sig. Levene = 0.323	
Uji hipotesis	$t = 2.226$ , $df = 67.918$ , $\text{Sig} = 0.029$	

Temuan ilmiah dari penelitian ini menunjukkan bahwa peningkatan hasil belajar mahasiswa terjadi karena adanya integrasi antara visualisasi konsep, simulasi praktikum, dan keterlibatan aktif mahasiswa dalam pembelajaran. Laboratorium virtual memungkinkan mahasiswa melakukan simulasi eksperimen sebelum praktikum nyata, sehingga terbentuk mental model yang lebih kuat terhadap konsep gravimetri. Secara teoretis, temuan ini sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyatakan bahwa pengetahuan dibangun melalui pengalaman belajar aktif dan interaksi dengan lingkungan belajar. Selain itu, simulasi yang dapat diulang memberikan penguatan kognitif melalui proses *repetition* dan *feedback* yang meningkatkan retensi konsep.

Hasil ini juga mendukung penelitian Bogar *et al.* (2023), bahwa laboratorium virtual efektif meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar mahasiswa. Penerapan *Project-Based Learning* (PjBL) juga berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar, karena mahasiswa tidak hanya mengikuti prosedur, tetapi terlibat dalam proyek nyata, yaitu analisis kadar kalsium (Ca) pada sampel ikan (teri, tongkol, dencis, nila, lele, dan kembung). Keterlibatan ini meningkatkan kemampuan berpikir kritis dan analitis, karena mahasiswa harus menginterpretasikan data dan menghubungkannya dengan konsep teoretis. Secara teoretis, temuan ini mendukung teori belajar pengalaman (*experiential learning*) yang menekankan bahwa belajar efektif terjadi melalui pengalaman langsung dan refleksi.

Hasil analisis menunjukkan bahwa ikan teri memiliki kadar kalsium yang paling tinggi dibandingkan jenis ikan lainnya. Hal ini disebabkan karena ikan teri umumnya dikonsumsi secara utuh beserta tulangnya, sehingga kandungan kalsium



yang berasal dari jaringan tulang turut teranalisis dalam sampel. Secara ilmiah, kalsium pada ikan sebagian besar tersimpan dalam bentuk hidroksiapatit pada tulang, sehingga keberadaan tulang yang dominan pada ikan berukuran kecil seperti teri menyebabkan kadar kalsium yang lebih tinggi.

Berdasarkan percobaan, kadar kalsium pada ikan teri didapat sekitar 4 mg per gram sampel (setara dengan 500 mg per 100 g), sedangkan pada ikan tongkol berkisar sekitar 0,3 mg/g, ikan dencis sekitar 0,4 mg/g, ikan nila sekitar 0,15 mg/g, ikan lele sekitar 0,1 mg/g, dan ikan kembung sekitar 0,2 mg/g. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kandungan kalsium sangat dipengaruhi oleh struktur tubuh ikan, terutama proporsi tulang terhadap daging, serta metode konsumsi dan preparasi sampel. Konteks analisis sampel ikan memperkuat pembelajaran berbasis proyek, sehingga mahasiswa dapat mengaitkan konsep gravimetri dengan aplikasi nyata. Hasil ini sejalan dengan penelitian Gaol & Situmorang (2022), bahwa pembelajaran berbasis proyek meningkatkan hasil belajar lebih signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional.

Integrasi prinsip *green chemistry* memberikan kontribusi terhadap efektivitas pembelajaran, karena secara teoretis mengurangi beban kognitif eksternal (*extraneous cognitive load*) yang disebabkan oleh kekhawatiran terhadap risiko praktikum. Mahasiswa dapat memahami konsep kimia tanpa terpapar langsung bahan kimia berbahaya, sehingga sumber daya kognitif mereka tidak terbagi untuk mengelola rasa cemas atau takut, melainkan dapat difokuskan sepenuhnya pada pemahaman konsep. Temuan ini sejalan dengan penelitian Ravichandran *et al.* (2021) yang menyatakan bahwa *green chemistry* tidak hanya menciptakan proses pembelajaran yang lebih aman, tetapi juga meningkatkan kesadaran lingkungan dan keberlanjutan.

Berbeda dengan penelitian-penelitian sebelumnya yang hanya menerapkan *green chemistry* pada modul praktikum konvensional (Putri, 2017). Dalam penelitian ini, prinsip *green chemistry* diintegrasikan ke dalam laboratorium virtual, sehingga efisiensi penggunaan bahan dan minimisasi limbah dapat dicapai tanpa mengurangi esensi pengalaman praktikum ilmiah. Secara teoretis, hal ini mendukung teori pembelajaran transformatif, bahwa pengalaman belajar yang aman dan reflektif dapat mengubah kerangka berpikir mahasiswa terhadap isu lingkungan.

Jika dibandingkan dengan kelas kontrol, rendahnya peningkatan hasil belajar pada pembelajaran konvensional dapat dijelaskan melalui teori *cognitive load*. Pembelajaran yang hanya menggunakan laboratorium nyata tanpa simulasi awal menyebabkan mahasiswa harus menghadapi dua beban sekaligus, yaitu beban intrinsik (memahami konsep gravimetri yang kompleks) dan beban asing (kekhawatiran terhadap prosedur, risiko alat, dan bahan kimia berbahaya). Akibatnya, mahasiswa cenderung hanya mengikuti prosedur *cookbook* tanpa sempat memahami konsep secara mendalam.

Temuan ini berbeda dengan penelitian Muilwijk & Lazonder (2023) yang menyatakan bahwa laboratorium virtual memiliki efektivitas yang sebanding dengan laboratorium nyata. Dalam penelitian ini, justru kombinasi simulasi awal (*virtual lab*) sebelum praktikum nyata memberikan keunggulan tambahan, karena berfungsi sebagai *advance organizer* yang mempersiapkan struktur kognitif



mahasiswa, sehingga ketika memasuki laboratorium nyata, mereka sudah memiliki peta konseptual yang matang.

Hasil penelitian ini juga didukung oleh respon mahasiswa yang berada pada kategori sangat baik (rata-rata  $3,46 \pm 0,51$ ) yang secara teoretis dapat dijelaskan melalui teori *self-determination* (Elisa *et al.*, 2022). Aspek motivasi (3,40), pengalaman belajar (3,51), dan pemahaman (3,48) menunjukkan bahwa laboratorium virtual mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa, baik secara kognitif maupun emosional, karena memenuhi tiga kebutuhan psikologis dasar, yaitu otonomi (mahasiswa dapat mengulang simulasi kapan saja), kompetensi (mahasiswa merasa mampu menguasai prosedur sebelum praktikum nyata), dan keterhubungan atau *relatedness* (simulasi interaktif memberikan rasa terhubung dengan proses ilmiah).

Temuan ini sejalan dengan penelitian Bogar *et al.* (2023), bahwa laboratorium virtual meningkatkan motivasi belajar, namun penelitian ini melangkah lebih jauh dengan menunjukkan bahwa peningkatan motivasi tersebut secara langsung berkontribusi terhadap peningkatan hasil belajar kognitif (*N-Gain* 0,63). Dengan demikian, respon positif mahasiswa bukan sekadar indikator kepuasan, melainkan cerminan dari pemenuhan kebutuhan psikologis yang mendorong pembelajaran bermakna.

**Tabel 4. Tabel Respon Mahasiswa.**

Aspek	Total Item	Respon Mahasiswa
Motivasi	3	$3.40 \pm 0.49$
Pengalaman belajar	5	$3.51 \pm 0.51$
Pemahaman	4	$3.48 \pm 0.52$
Total/Rata-rata	12	$3.46 \pm 0.51$

Temuan penelitian ini sejalan dengan penelitian sebelumnya yang menyatakan bahwa laboratorium virtual efektif dalam meningkatkan pemahaman konsep dan hasil belajar mahasiswa (Bogar *et al.*, 2023), serta memiliki efektivitas yang sebanding dengan laboratorium nyata dalam membangun pemahaman konseptual (Mulijuwik & Lazonder, 2023). Penerapan *Project-Based Learning* terbukti meningkatkan hasil belajar secara signifikan dibandingkan pembelajaran konvensional. Integrasi dengan *green chemistry* juga memperkuat relevansi pembelajaran dengan aspek keberlanjutan dan keamanan (Arta *et al.*, 2025; Ravichandran *et al.*, 2021).

Dengan demikian, temuan penelitian ini tidak hanya membuktikan bahwa penggunaan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek efektif dalam meningkatkan hasil belajar, tetapi juga menunjukkan bahwa integrasi teknologi, pendekatan pembelajaran aktif, dan prinsip keberlanjutan memberikan dampak yang lebih optimal dalam pembelajaran kimia, khususnya pada materi gravimetri.

## SIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa pengembangan dan penerapan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis *project-based learning* efektif dalam meningkatkan hasil belajar mahasiswa pada materi



gravimetri. Hal ini ditunjukkan oleh peningkatan hasil belajar pada kelas eksperimen dengan nilai *N-Gain* sebesar 0,63 yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol sebesar 0,54, serta hasil uji hipotesis yang menunjukkan perbedaan signifikan ( $\text{Sig.} = 0,029 < 0,05$ ). Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi laboratorium virtual, prinsip *green chemistry*, dan pendekatan berbasis proyek mampu meningkatkan pemahaman konseptual dan keterlibatan mahasiswa secara lebih optimal dibandingkan pembelajaran konvensional. Dengan demikian, hipotesis penelitian yang menyatakan bahwa pembelajaran menggunakan laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis proyek lebih efektif dapat diterima.

## SARAN

Berdasarkan hasil penelitian, disarankan agar laboratorium virtual berorientasi *green chemistry* berbasis *project-based learning* dapat digunakan secara lebih luas dalam pembelajaran kimia analitik, khususnya pada materi yang memerlukan pemahaman prosedural dan konseptual seperti gravimetri. Pengembangan selanjutnya dapat dilakukan dengan memperluas cakupan materi, menambahkan fitur interaktif yang lebih kompleks, serta mengintegrasikan teknologi lain seperti *augmented reality* atau *virtual reality* untuk meningkatkan kualitas pengalaman belajar. Selain itu, penelitian selanjutnya disarankan untuk melibatkan sampel yang lebih besar dan beragam agar diperoleh generalisasi hasil yang lebih luas. Variabel lain seperti keterampilan berpikir kritis, sikap ilmiah, dan kesadaran lingkungan juga dapat dikaji lebih mendalam untuk melihat dampak penggunaan laboratorium virtual secara komprehensif.

Adapun beberapa keterbatasan dalam penelitian ini meliputi keterbatasan waktu pelaksanaan yang mempengaruhi kedalaman eksplorasi materi, serta keterbatasan fasilitas teknologi yang dapat mempengaruhi optimalisasi penggunaan laboratorium virtual. Selain itu, perbedaan kemampuan awal mahasiswa juga menjadi faktor yang dapat mempengaruhi hasil penelitian. Oleh karena itu, diperlukan pengelolaan pembelajaran yang lebih adaptif, serta dukungan sarana dan prasarana yang memadai untuk meningkatkan efektivitas implementasi pada penelitian selanjutnya.

## UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis menyampaikan ucapan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Prof. Drs. Manihar Situmorang, M.Sc., Ph.D., selaku dosen pembimbing skripsi yang telah memberikan bimbingan, arahan, serta dukungan selama proses penelitian hingga penyusunan artikel ini. Ucapan terima kasih juga disampaikan kepada Jurusan Kimia, Universitas Negeri Medan atas fasilitas dan dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian. Selain itu, penulis mengucapkan terima kasih kepada mahasiswa kelas PSPK 24 D dan PSPK 24 B yang telah berpartisipasi sebagai subjek dalam penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih yang tulus kepada kedua orang tua, serta rekan-rekan yang telah memberikan doa, dukungan, dan motivasi, sehingga penelitian ini dapat terselesaikan dengan baik.



## DAFTAR RUJUKAN

- Agusdianita, N. (2023). Model Pembelajaran PJBL untuk Meningkatkan Hasil Belajar Mahasiswa pada Perkuliahan Pengembangan Pembelajaran Tematik. *Social, Humanities, and Educational Studies (SHES) : Conference Series*, 6(3), 160–166. <https://doi.org/10.20961/shes.v6i3.82319>
- Arta, H. S., Putri, L. N., Puspita, D., & Rahmawan, S. (2025). Analysis of the Application of the Project-Based Learning Model to Student Learning Outcomes in Chemistry Learning with a Literature Review Method. *Edu Sains: Jurnal Pendidikan Sains dan Matematika*, 13(2), 221-232. <https://doi.org/10.23971/z8nbqe55>
- Bogar, D. Y., Jufriansah, A., & Prasetyo, E. (2023). Pengembangan Laboratorium Virtual untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik. *Buletin Edukasi Indonesia*, 2(3), 102–112. <https://doi.org/10.56741/bei.v2i03.397>
- Elisa, E., Zurweni, Z., Wiratmaja, I. G., Nugraha, I. N. P., & Widayana, G. (2022). Peningkatan Keterampilan Dasar Laboratorium Kimia Teknik melalui Praktikum Mandiri Berbantuan Media Laboratorium Virtual di Masa Pandemi Convid 19. *Journal of the Indonesian Society of Integrated Chemistry*, 14(1), 68–76. <https://doi.org/10.22437/jisic.v14i1.16837>
- Fatayah, F. (2023). Penggunaan Laboratorium Virtual dalam Proses Pembelajaran Kimia untuk Meningkatkan Ketuntasan Belajar Siswa. *UNESA Journal of Chemical Education*, 12(1), 23–29. <https://doi.org/10.26740/ujced.v12n1.p23-29>
- Fauziah, E. L., Nais, M. K., Kusrijadi, A., & Chaerunisa, H. N. (2024). Pengaruh Penggunaan Media Pembelajaran Berbasis Laboratorium Virtual terhadap Motivasi Belajar Peserta Didik pada Materi Kesetimbangan. *Jurnal Riset dan Praktik Pendidikan Kimia*, 12(1), 27–33. <https://doi.org/10.17509/jrppk.v12i1.69418>
- Gaol, H. L., & Situmorang, M. (2022). Pengembangan Sumber Belajar Inovatif Berbasis Proyek dan Multimedia pada Pengajaran Analisis Kation. *Jurnal Penelitian Sains dan Pendidikan (JPSP)*, 2(2), 136–144. <https://doi.org/10.23971/jpsp.v2i2.4010>
- Hanifa, W. S., Handayani, S., & Suyanta, S. (2024). Bibliometric Analysis : Green Chemistry Trends and Issues in Chemistry Education from 2019 to 2024. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 16(2), 159–167. <https://doi.org/10.24114/jpkim.v16i2.58875>
- Lukum, A. (2022). *Dasar-dasar Kimia Analitik*. Gorontalo: Universitas Negeri Gorontalo.
- Muilwijk, S. E., & Lazonder, A. W. (2023). Learning from Physical and Virtual Investigation: A Meta-Analysis of Conceptual Knowledge Acquisition. *Frontiers in Education*, 8(1), 1–9. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1163024>
- Nurhidayati, S., Safnowandi, S., Khaeruman, K., & Sukri, A. (2024). The Design of Project-Based Learning Model Based on Local Potential and Social Constructive Investigation and its Impact on Students' Green Behavior. *Perspektivy Nauki I Obrazovania – Perspectives of Science and Education*,



- 
- 67(1), 201-216. <https://doi.org/10.32744/pse.2024.1.11>
- Putri, A. C. (2017). Pengaplikasian Prinsip-prinsip *Green Chemistry* dalam Pelaksanaan Pembelajaran Kimia sebagai Pendekatan untuk Pencegahan Pencemaran Akibat Bahan-bahan Kimia dalam Kegiatan Praktikum di Laboratorium. *Journal of Creativity Student*, 2(2), 67–73. <https://doi.org/10.15294/jcs.v2i2.14585>
- Rahmi, C., Zakiyah, H., Dewi, D. K., & Jayanti, E. (2023). Development of Reaction Rate Lab Virtual Media in Basic Chemistry Practicum. *Jurnal Penelitian Pendidikan IPA*, 9(4), 2125–2134. <https://doi.org/10.29303/jppipa.v9i4.2126>
- Ravichandran, S., Sri, R. M. M., & Suneetha, T. B. (2021). Benefits of Green Chemistry. *International Journal of Clinical Biochemistry and Research*, 8(1), 70–72. <https://doi.org/10.18231/j.ijcbr.2021.015>