

Perbedaan Hasil Belajar, Kesadaran Lingkungan, dan Keterampilan Kolaborasi Siswa antara PjBL Berbasis *Green Chemistry* dan *Direct Instruction*

*Anggi Putri Fadila Hasibuan, Dewi Syafriani

Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan. Jalan Williem Iskandar Ps. V, Kenangan baru, Kec Percut Sei Tuan, Kabupaten Deli Serdang, Sumatera Utara, 20221, Indonesia.

*Correspondence e-mail: anggifadila15@gmail.com

Diterima: Mei 2026; Revisi: Mei 2026; Diterbitkan: Juni 2026

Abstrak

Kesulitan siswa dalam memahami materi asam-basa, rendahnya kesadaran lingkungan, dan belum optimalnya keterampilan kolaborasi menunjukkan perlunya model pembelajaran kimia yang kontekstual dan berorientasi pada masalah nyata. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi siswa yang dibelajarkan menggunakan model Project-Based Learning (PjBL) berbasis green chemistry dan Direct Instruction pada materi asam-basa. Penelitian ini menggunakan desain kuasi-eksperimen dengan rancangan pretest-posttest control group. Populasi penelitian adalah seluruh siswa kelas XI MAN 2 Model Medan tahun ajaran 2025/2026 yang terdiri atas 344 siswa. Sampel penelitian terdiri atas dua kelas yang dipilih menggunakan cluster random sampling, yaitu kelas eksperimen sebanyak 37 siswa dan kelas kontrol sebanyak 30 siswa. Instrumen penelitian meliputi tes hasil belajar berupa 20 soal pilihan ganda, angket kesadaran lingkungan, dan lembar observasi keterampilan kolaborasi. Data dianalisis menggunakan N-Gain, uji normalitas, uji homogenitas, uji-t satu pihak, dan Cohen's d. Hasil penelitian menunjukkan bahwa N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,61 lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 0,48. Uji-t menghasilkan thitung 2,700 > ttabel 1,669, sehingga hasil belajar siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Rata-rata kesadaran lingkungan kelas eksperimen sebesar 77, sedangkan kelas kontrol sebesar 70. Rata-rata keterampilan kolaborasi kelas eksperimen sebesar 72, sedangkan kelas kontrol sebesar 61. Effect size hasil belajar sebesar 0,649, kesadaran lingkungan sebesar 0,378, dan keterampilan kolaborasi sebesar 0,480. Dengan demikian, PjBL berbasis green chemistry efektif meningkatkan hasil belajar dan menunjukkan kecenderungan positif terhadap kesadaran lingkungan serta keterampilan kolaborasi siswa.

Kata kunci: asam-basa; Direct Instruction; green chemistry; hasil belajar; kesadaran lingkungan; keterampilan kolaborasi; Project-Based Learning

Difference In Student Learning Outcomes, Environmental Awareness, and Collaboration Skills Between PjBL Based on Green Chemistry and Direct Instruction

Abstract

Students' difficulties in understanding acid-base concepts, limited environmental awareness, and suboptimal collaboration skills indicate the need for contextual chemistry learning that is connected to real-world problems. This study aimed to analyze differences in students' learning outcomes, environmental awareness, and collaboration skills between those taught using green chemistry-based Project-Based Learning (PjBL) and those taught using Direct Instruction on acid-base material. This research employed a quasi-experimental design with a pretest-posttest control group design. The population consisted of all grade XI students at MAN 2 Model Medan in the 2025/2026 academic year, totaling 344 students. The sample comprised two classes selected using cluster random sampling: an experimental class with 37 students and a control class with 30 students. The research instruments included a 20-item multiple-choice learning outcome test, an environmental awareness questionnaire, and a collaboration skills observation sheet. Data were analyzed using N-Gain, normality test, homogeneity test, right-tailed t-test, and Cohen's d. The results showed that the experimental class obtained an N-Gain score of 0.61, which was higher than the control class score of 0.48. The t-test result showed that $t_{count} 2.700 > t_{table} 1.669$, indicating that students' learning outcomes in the experimental class were higher than those in the control class. The mean environmental awareness score was 77 in the experimental class and 70 in the control class. The mean collaboration skills score was 72 in the experimental class and 61 in the control class. The effect size was 0.649 for learning outcomes, 0.378 for environmental awareness, and 0.480 for collaboration skills. Therefore, green chemistry-based PjBL effectively improved students' learning outcomes and showed positive tendencies toward students' environmental awareness and collaboration skills.

Keywords: acid-base; collaboration skills; Direct Instruction; environmental awareness; green chemistry; learning outcomes; Project-Based Learning

How to Cite: Hasibuan, A. P. F., & Syafriani, D. (2025). Perbedaan Hasil Belajar, Kesadaran Lingkungan, dan Keterampilan Kolaborasi Siswa antara PjBL Berbasis Green Chemistry dan Direct Instruction. *Reflection Journal*, 6(1), 518-534. <https://doi.org/10.36312/38e4vb74>



<https://doi.org/10.36312/38e4vb74>

Copyright© 2026, Hasibuan & Syafitri

This is an open-access article under the CC-BY-SA License.



PENDAHULUAN

Kegiatan pembelajaran tidak selalu berjalan dengan baik. Setiap siswa memiliki karakteristik, kesiapan belajar, dan gaya belajar yang berbeda, sehingga guru perlu memilih model pembelajaran yang sesuai dengan karakteristik materi dan kebutuhan siswa. Salah satu masalah yang sering terjadi dalam pembelajaran adalah kesulitan belajar (Husein, 2020). Kesulitan belajar berkaitan erat dengan prestasi akademik karena dapat mengganggu kemampuan siswa dalam memahami, mengolah, dan menerapkan materi pelajaran. Apabila kesulitan belajar tidak ditangani dengan tepat, efektivitas pembelajaran akan menurun dan berdampak pada rendahnya pencapaian hasil belajar siswa (Apriyana et al., 2021).

Pembelajaran kimia merupakan salah satu pembelajaran sains yang menuntut kemampuan memahami konsep, menghubungkan konsep dengan fenomena, serta menerapkan konsep tersebut dalam pemecahan masalah. Materi asam-basa termasuk materi penting dalam kimia kelas XI karena menjadi dasar bagi pemahaman konsep pH, indikator, reaksi netralisasi, titrasi, larutan penyangga, dan berbagai fenomena lingkungan. Namun, materi ini sering dianggap sulit karena siswa tidak hanya perlu menghafal konsep, tetapi juga harus memahami hubungan antara sifat zat, reaksi kimia, perhitungan, dan penerapannya dalam kehidupan sehari-hari. Oleh karena itu, pembelajaran asam-basa perlu dirancang agar tidak hanya berpusat pada penjelasan guru, tetapi juga memberi ruang bagi siswa untuk mengamati, berdiskusi, bereksperimen, dan menghasilkan solusi berbasis konsep kimia.

Keterampilan abad ke-21 mencakup kemampuan berpikir kritis, pemecahan masalah, komunikasi, kolaborasi, dan kreativitas (Dhitasarifa et al., 2023). Dalam konteks tersebut, penguatan *soft skills* menjadi aspek penting, terutama keterampilan kolaboratif. Keterampilan kolaborasi mencakup kemampuan bertukar pikiran, menyampaikan gagasan, menghargai pendapat orang lain, berbagi tanggung jawab, serta bekerja sama dengan teman dalam menyelesaikan suatu tugas (Dewi et al., 2020). Keterampilan ini penting dalam pembelajaran kimia karena banyak aktivitas kimia, khususnya praktikum dan proyek, menuntut kerja kelompok yang efektif. Siswa tidak hanya dituntut memahami konsep, tetapi juga mampu membagi peran, mengambil keputusan bersama, menyelesaikan konflik, dan menyusun produk atau laporan secara kolektif.

Salah satu fokus utama Kurikulum Merdeka adalah penguatan Profil Pelajar Pancasila, yang dapat didukung melalui pendekatan Project-Based Learning (PjBL). Model PjBL dianggap sesuai untuk mencapai sasaran pendidikan abad ke-21 karena berfokus pada pengembangan kemampuan berpikir kritis, komunikasi, kolaborasi, kreativitas, dan pemecahan masalah (Dewi, 2023). Dalam pembelajaran berbasis proyek, siswa didorong untuk aktif, kreatif, dan mampu menghasilkan solusi terhadap permasalahan nyata di lingkungannya (Natty et al., 2019). Pada model PjBL, siswa dibimbing oleh guru untuk menemukan pengetahuan melalui pertanyaan mendasar, perencanaan proyek, pelaksanaan investigasi, penyusunan produk, presentasi, dan refleksi. Sementara itu, pada model Direct Instruction, pembelajaran lebih banyak diarahkan oleh guru melalui penjelasan, contoh, latihan, dan evaluasi. Model ini dapat membantu penyampaian materi secara sistematis, tetapi ruang bagi eksplorasi, kolaborasi, dan pemecahan masalah nyata relatif lebih terbatas. Oleh karena itu, PjBL

berpotensi mendorong siswa menjadi lebih aktif, kreatif, dan meningkatkan hasil belajar dibandingkan pembelajaran yang sepenuhnya berpusat pada guru (Pradia et al., 2025).

Dalam pembelajaran kimia, terdapat pokok bahasan yang berkaitan dengan dampak bahan kimia terhadap lingkungan. Konsep *green chemistry* dikembangkan untuk mengurangi dampak negatif aktivitas kimia terhadap lingkungan melalui prinsip penggunaan bahan yang lebih aman, pengurangan limbah, efisiensi energi, dan pencegahan pencemaran (Fadillah, 2022). Kesadaran lingkungan merupakan indikator penting yang menunjukkan kepedulian seseorang terhadap kondisi lingkungan sekitarnya (Fu et al., 2020). Banyak perilaku di sekolah yang menunjukkan rendahnya kepedulian lingkungan, misalnya membuang sampah sembarangan, membiarkan kelas kotor, mencoret meja dan dinding, serta kurang menjaga kebersihan ruang belajar. Perilaku tersebut sering dianggap biasa, padahal dapat membentuk kebiasaan yang tidak ramah lingkungan (Jumirah et al., 2021). Karena itu, pembelajaran kimia perlu diarahkan tidak hanya pada pencapaian kognitif, tetapi juga pada pembentukan kesadaran lingkungan.

Integrasi PjBL dengan *green chemistry* memberikan peluang untuk menghubungkan konsep asam-basa dengan masalah lingkungan nyata. Proyek kimia hijau dapat mengarahkan siswa untuk memahami konsep pH, indikator, netralisasi, dan dampak limbah melalui kegiatan yang menekankan penggunaan bahan aman, pengurangan limbah, dan pemecahan masalah lingkungan di sekitar siswa. Literatur tambahan menunjukkan bahwa PjBL dalam pembelajaran kimia dapat menghubungkan gagasan kimia inti dengan masalah autentik, terutama ketika dikaitkan dengan *green chemistry*, literasi lingkungan, dan keterampilan abad ke-21 seperti kolaborasi, komunikasi, berpikir kritis, dan literasi informasi (Varadarajan & Ladage, 2024; Indriani et al., 2023; Tian et al., 2023; Cao et al., 2025; Ahmad et al., 2023; Bonacci, 2023). PjBL juga dapat menjadi wahana implementasi Education for Sustainable Development karena mendorong siswa memahami hubungan antara konsep kimia, dampak lingkungan, dan tindakan berkelanjutan (Murti & Hernani, 2023; Specialized Manual on Green and Sustainable Chemistry Education and Learning, 2023).

Beberapa penelitian sebelumnya telah melaporkan efektivitas PjBL dalam meningkatkan hasil belajar, keterampilan pemecahan masalah, literasi sains, dan kolaborasi siswa. Penelitian lain juga menunjukkan bahwa *green chemistry* dapat memperkuat kesadaran lingkungan dalam pembelajaran kimia. Namun, kajian yang secara simultan mengintegrasikan PjBL berbasis *green chemistry* pada materi asam-basa untuk mengukur hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi siswa masih terbatas, khususnya pada konteks pembelajaran kimia di madrasah. Kesenjangan ini penting karena materi asam-basa tidak hanya bersifat konseptual dan numerik, tetapi juga memiliki keterkaitan langsung dengan isu lingkungan, seperti kualitas air, limbah laboratorium, dan penggunaan bahan kimia yang aman. Dengan demikian, penelitian ini tidak hanya membandingkan dua model pembelajaran, tetapi juga menguji bagaimana proyek berbasis *green chemistry* dapat memberi pengalaman belajar yang lebih kontekstual dan kolaboratif.

Sesuai dengan hasil wawancara dengan salah satu guru kimia di MAN 2 Model Medan, siswa kelas XI masih mengalami kesulitan dalam pembelajaran kimia, terutama pada materi asam-basa. Masih terdapat beberapa siswa yang nilainya belum mencapai KKTP. Kondisi ini terjadi karena guru masih sering menggunakan model dan metode mengajar konvensional atau model yang belum sepenuhnya sesuai dengan karakteristik materi yang diajarkan. Guru juga menyatakan bahwa masih terdapat siswa yang mengalami kesulitan bekerja sama dengan teman saat kerja kelompok. Akibatnya, sebagian siswa kurang berkontribusi ketika kegiatan kelompok berlangsung.

Kebaruan penelitian ini terletak pada integrasi prinsip green chemistry dalam proyek pembelajaran asam-basa, pengukuran simultan terhadap hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi, serta penerapannya pada konteks pembelajaran kimia di MAN 2 Model Medan. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis perbedaan hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi siswa yang dibelajarkan menggunakan model PjBL berbasis green chemistry dan Direct Instruction pada materi asam-basa. Hipotesis penelitian ini adalah siswa yang dibelajarkan dengan PjBL berbasis green chemistry memiliki hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi yang lebih tinggi dibandingkan siswa yang dibelajarkan dengan Direct Instruction.

METODE

Penelitian ini dilaksanakan di MAN 2 Model Medan yang berlokasi di Jalan Williem Iskandar No. 7A, Bantan Timur, Kecamatan Medan Tembung, Kota Medan, Sumatera Utara. Penelitian dilaksanakan pada semester genap tahun ajaran 2025/2026. Jenis penelitian ini adalah penelitian kuasi-eksperimen dengan desain pretest-posttest control group design. Desain ini digunakan karena penelitian dilakukan pada kelas yang sudah terbentuk di sekolah, sehingga peneliti tidak memungkinkan untuk mengacak siswa secara individual ke dalam kelompok eksperimen dan kontrol.

Populasi dalam penelitian ini adalah seluruh siswa kelas XI MAN 2 Model Medan semester genap tahun ajaran 2025/2026, yang terdiri atas sepuluh kelas dengan total 344 siswa. Sampel penelitian terdiri atas dua kelas, yaitu kelas eksperimen yang diajarkan menggunakan model PjBL berbasis green chemistry dan kelas kontrol yang diajarkan menggunakan model Direct Instruction. Pemilihan sampel dilakukan pada tingkat kelas sehingga teknik yang digunakan dinyatakan sebagai cluster random sampling. Kelas eksperimen terdiri atas 37 siswa, sedangkan kelas kontrol terdiri atas 30 siswa. Perbedaan jumlah siswa antarkelas dicatat sebagai karakteristik desain lapangan dan dipertimbangkan dalam interpretasi hasil penelitian.

Perlakuan pembelajaran dilakukan pada materi asam-basa. Pada kelas eksperimen, pembelajaran dilaksanakan menggunakan sintaks PjBL berbasis green chemistry, yaitu: (1) pemberian pertanyaan mendasar yang menghubungkan konsep asam-basa dengan masalah lingkungan; (2) perencanaan proyek secara berkelompok; (3) penyusunan jadwal dan pembagian tugas; (4) pelaksanaan investigasi atau kegiatan proyek dengan memperhatikan prinsip green chemistry; (5) pemantauan proses proyek oleh guru; (6) penyusunan produk atau laporan proyek; dan (7) presentasi serta refleksi hasil proyek. Prinsip green chemistry yang ditekankan dalam pembelajaran meliputi pengurangan limbah, penggunaan bahan yang lebih aman, efisiensi penggunaan bahan, dan kepedulian terhadap dampak lingkungan dari aktivitas kimia. Pada kelas kontrol, pembelajaran dilakukan dengan Direct Instruction melalui tahapan penyampaian tujuan pembelajaran, penjelasan konsep oleh guru, pemberian contoh, latihan terstruktur, tanya jawab, dan evaluasi. Dengan demikian, perbedaan utama antara kedua kelas terletak pada intensitas keterlibatan siswa dalam proyek, pemecahan masalah lingkungan, dan kerja kolaboratif.

Instrumen tes yang digunakan adalah 20 soal pilihan ganda untuk mengukur hasil belajar siswa pada materi asam-basa. Soal tersebut telah diuji tingkat kesukaran, daya beda, validitas, distraktor, dan reliabilitasnya sebelum digunakan dalam penelitian. Instrumen non-tes yang digunakan berupa angket kesadaran lingkungan dan lembar observasi keterampilan kolaborasi yang telah divalidasi oleh validator ahli. Angket kesadaran lingkungan siswa terdiri atas enam indikator, yaitu konservasi energi, mobilitas dan transportasi, daur ulang, menghindari limbah, konsumerisme, dan perilaku konservasi. Lembar observasi keterampilan kolaborasi siswa terdiri atas tiga indikator, yaitu kemampuan bekerja efektif dan menghargai perbedaan dalam kelompok,

kemampuan menerima pendapat orang lain demi tujuan bersama, serta tanggung jawab dan kontribusi setiap anggota kelompok.

Data hasil belajar diperoleh melalui pretest dan posttest. Pretest diberikan sebelum perlakuan untuk mengetahui kemampuan awal siswa, sedangkan posttest diberikan setelah perlakuan untuk mengetahui capaian hasil belajar setelah pembelajaran. Data kesadaran lingkungan diperoleh melalui angket yang diberikan setelah pembelajaran, sedangkan data keterampilan kolaborasi diperoleh melalui observasi selama proses pembelajaran pada setiap pertemuan. Observasi dilakukan dengan menggunakan rubrik yang memuat indikator keterampilan kolaborasi agar penilaian tidak hanya berfokus pada produk akhir, tetapi juga pada proses kerja kelompok.

Data yang diperoleh dianalisis secara kuantitatif. Peningkatan hasil belajar siswa dianalisis menggunakan nilai N-Gain. Selanjutnya dilakukan uji normalitas menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov dan uji homogenitas menggunakan uji Levene sebagai uji prasyarat. Setelah data dinyatakan normal dan homogen, pengujian hipotesis hasil belajar dilakukan menggunakan uji-t satu pihak, yaitu pihak kanan, untuk mengetahui apakah hasil belajar siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi daripada kelas kontrol. Besarnya pengaruh model pembelajaran dianalisis menggunakan Cohen's d. Interpretasi effect size dilakukan untuk melihat kekuatan perbedaan antara kelas eksperimen dan kontrol pada variabel hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi. Karena variabel kesadaran lingkungan dan keterampilan kolaborasi dalam penelitian ini dianalisis berdasarkan rata-rata dan effect size, interpretasi hasil pada kedua variabel tersebut disampaikan secara hati-hati sebagai kecenderungan perbedaan deskriptif, kecuali jika dilakukan uji inferensial tambahan.

HASIL DAN DISKUSI

Penelitian ini dilakukan berdasarkan hasil wawancara awal dengan guru kimia yang menunjukkan bahwa hasil belajar, keterampilan kolaborasi, dan kesadaran lingkungan siswa masih perlu ditingkatkan. Salah satu faktor yang diduga berpengaruh adalah penggunaan model pembelajaran yang belum sepenuhnya sesuai dengan karakteristik materi asam-basa. Penelitian ini mengamati hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi siswa kelas XI melalui penerapan model PjBL berbasis green chemistry pada kelas eksperimen dan Direct Instruction pada kelas kontrol. Data hasil belajar diperoleh dari nilai pretest, posttest, dan N-Gain, sedangkan data kesadaran lingkungan dan keterampilan kolaborasi diperoleh dari angket dan lembar observasi.

Hasil Belajar Siswa

Berdasarkan hasil penelitian, diperoleh nilai rata-rata pretest dan posttest kelas eksperimen sebesar 39,46 dan 76,35. Pada kelas kontrol, nilai rata-rata pretest dan posttest sebesar 28,00 dan 63,67. Data ini menunjukkan bahwa kedua kelas mengalami peningkatan hasil belajar setelah pembelajaran. Namun, peningkatan pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,61, sedangkan kelas kontrol sebesar 0,48.

Tabel 1. Deskripsi Statistik Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelas	Sumber Data	Nilai Rata-Rata	Standar Deviasi	Varians	N-Gain
Eksperimen	Pretest	39,46	17,51	306,64	0,61
Eksperimen	Posttest	76,35	13,00	168,96	
Kontrol	Pretest	28,00	16,33	266,55	0,48
Kontrol	Posttest	63,67	15,86	251,609	

Nilai rata-rata nilai posttest kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, rata-rata nilai meningkat dari 39,46 menjadi 76,35, sedangkan pada kelas kontrol meningkat dari 28,00 menjadi 63,67. Meskipun kelas eksperimen memiliki rata-rata pretest yang lebih tinggi daripada kelas kontrol, penggunaan N-Gain membantu menunjukkan tingkat peningkatan hasil belajar pada masing-masing kelompok. Namun, perbedaan kemampuan awal ini tetap perlu diperhatikan dalam interpretasi hasil karena dapat memengaruhi besarnya capaian akhir.

Uji normalitas dilakukan untuk memastikan bahwa data yang dianalisis memenuhi asumsi distribusi normal. Pelaporan uji normalitas diselaraskan dengan metode, yaitu menggunakan uji Shapiro wilk pada taraf signifikansi 0,05. Hasil uji normalitas disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Uji Normalitas

Data	Kelas	Statistic	df	Sig.
Hasil Belajar	Eksperimen	0,090	37	0,146
Hasil Belajar	Kontrol	0,129	30	0,237

Berdasarkan Tabel 2, nilai signifikansi kelas eksperimen sebesar 0,146 dan kelas kontrol sebesar 0,237. Kedua nilai tersebut lebih besar dari 0,05, sehingga data hasil belajar pada kedua kelas berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji homogenitas menggunakan uji Levene.

Tabel 3. Hasil Uji Homogenitas

Data	Levene Statistics	df1	df2	Sig.
Hasil Belajar	1,004	1	65	0,320

Berdasarkan Tabel 3, nilai signifikansi uji homogenitas sebesar 0,320. Karena nilai tersebut lebih besar dari 0,05, data hasil belajar pada kelas eksperimen dan kontrol dinyatakan homogen. Setelah data memenuhi asumsi normalitas dan homogenitas, dilakukan uji hipotesis menggunakan uji-t satu pihak.

Tabel 4. Hasil Uji Hipotesis pada Hasil Belajar Siswa

Data Kelas	Eksperimen	Kontrol	thitung	ttabel	Keterangan
N-Gain	$\bar{X}_1 = 0,61$	$\bar{X}_2 = 0,48$	2,700	1,669	Ha diterima
Standar Deviasi	$S = 0,19$	$S = 0,21$			
Varians	$S^2 = 0,04$	$S^2 = 0,05$			

Hasil uji-t satu pihak menunjukkan bahwa nilai thitung sebesar 2,700 lebih besar daripada ttabel sebesar 1,669. Dengan demikian, Ha diterima dan H0 ditolak. Artinya, hasil belajar siswa yang dibelajarkan menggunakan model PjBL berbasis green chemistry lebih tinggi dibandingkan siswa yang dibelajarkan menggunakan model Direct Instruction.

Kesadaran Lingkungan

Kesadaran lingkungan siswa diukur menggunakan angket yang diberikan setelah pembelajaran. Angket tersebut memuat enam indikator, yaitu konservasi energi, mobilitas dan transportasi, daur ulang, menghindari limbah, konsumerisme, dan perilaku konservasi. Hasil deskripsi data kesadaran lingkungan siswa disajikan pada Tabel 5.

Tabel 5. Deskripsi Data Kesadaran Lingkungan Siswa

Kelas	Jumlah Siswa	Rata-Rata	Standar Deviasi
Eksperimen	37	77	15,34
Kontrol	30	70	21,17

Berdasarkan Tabel 5, kelas eksperimen memperoleh rata-rata kesadaran lingkungan sebesar 77 dan termasuk kategori baik. Kelas kontrol memperoleh rata-rata sebesar 70 dan termasuk kategori cukup. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran PjBL berbasis green chemistry memiliki kecenderungan

kesadaran lingkungan yang lebih tinggi dibandingkan siswa yang mengikuti Direct Instruction. Namun, karena data ini belum disertai uji inferensial, hasilnya ditafsirkan sebagai perbedaan deskriptif berdasarkan rata-rata dan effect size. Persentase kesadaran lingkungan siswa berdasarkan indikator disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rata-Rata Skor Kesadaran Lingkungan Siswa Tiap Indikator

Kelas	Indikator	Jumlah Pernyataan	Persentase	Kategori
Eksperimen	Indikator 1	5	80,32	Sangat Baik
Eksperimen	Indikator 2	5	76,54	Baik
Eksperimen	Indikator 3	5	78,81	Baik
Eksperimen	Indikator 4	5	77,08	Baik
Eksperimen	Indikator 5	5	70,27	Baik
Eksperimen	Indikator 6	5	77,51	Baik
Kontrol	Indikator 1	5	72,00	Baik
Kontrol	Indikator 2	5	70,67	Cukup
Kontrol	Indikator 3	5	68,80	Cukup
Kontrol	Indikator 4	5	69,33	Cukup
Kontrol	Indikator 5	5	67,20	Cukup
Kontrol	Indikator 6	5	71,33	Baik

Kelas eksperimen memperoleh kategori baik hingga sangat baik pada seluruh indikator kesadaran lingkungan. Indikator pertama pada kelas eksperimen memperoleh persentase tertinggi, yaitu 80,32 dengan kategori sangat baik. Pada kelas kontrol, beberapa indikator masih berada pada kategori cukup, khususnya indikator mobilitas dan transportasi, daur ulang, menghindari limbah, dan konsumerisme. Temuan ini menunjukkan bahwa integrasi green chemistry dalam proyek pembelajaran lebih terlihat pada aspek kepedulian umum terhadap lingkungan, tetapi beberapa aspek perilaku lingkungan yang bersifat kebiasaan masih membutuhkan penguatan lebih lanjut.

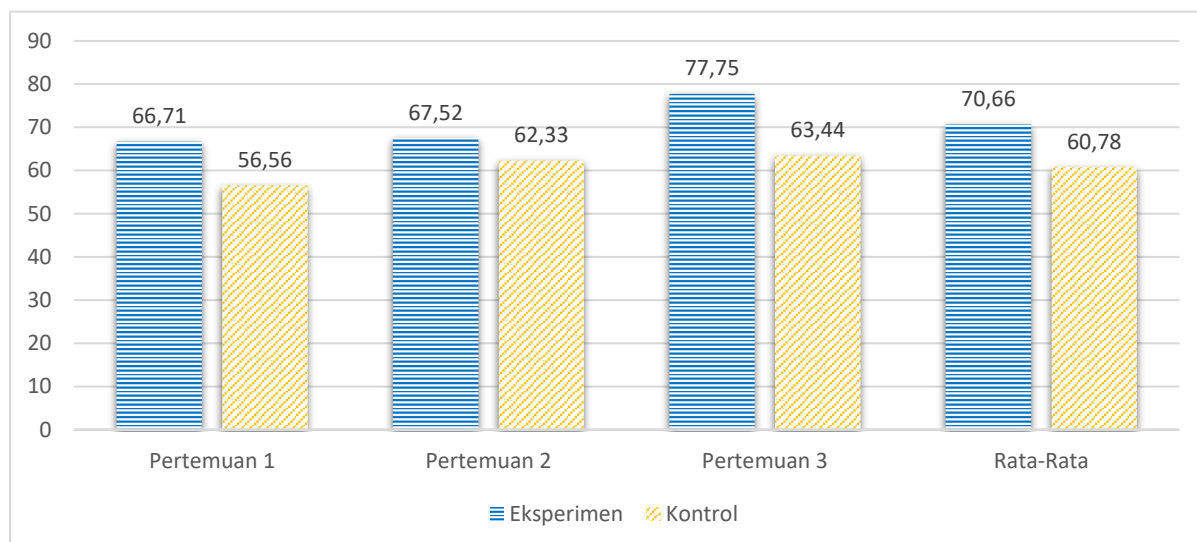
Keterampilan Kolaborasi

Keterampilan kolaborasi siswa diukur melalui observasi pada setiap pertemuan. Hasil observasi diberi skor dan dihitung rata-ratanya. Deskripsi data keterampilan kolaborasi siswa disajikan pada Tabel 7.

Tabel 7. Deskripsi Data Keterampilan Kolaborasi Siswa

Kelas	Jumlah Siswa	Rata-Rata	Standar Deviasi
Eksperimen	37	72	23,48
Kontrol	30	61	22,26

Berdasarkan Tabel 7, kelas eksperimen memperoleh rata-rata keterampilan kolaborasi sebesar 72, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata sebesar 61. Kedua kelas berada pada kategori baik, tetapi rata-rata kelas eksperimen lebih tinggi. Hal ini menunjukkan bahwa aktivitas proyek memberi kesempatan lebih luas kepada siswa untuk membagi peran, berdiskusi, menerima pendapat, dan berkontribusi dalam penyelesaian tugas kelompok.



Gambar 1. Nilai Rata-Rata Keterampilan Kolaborasi Siswa

Perubahan keterampilan kolaborasi pada setiap pertemuan. Pada kelas eksperimen, nilai rata-rata keterampilan kolaborasi meningkat dari 66,71 pada pertemuan pertama, 67,52 pada pertemuan kedua, menjadi 77,75 pada pertemuan ketiga, dengan rata-rata keseluruhan 70,66. Pada kelas kontrol, nilai rata-rata keterampilan kolaborasi sebesar 56,56 pada pertemuan pertama, 62,33 pada pertemuan kedua, 63,44 pada pertemuan ketiga, dengan rata-rata keseluruhan 60,78. Peningkatan pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa keterampilan kolaborasi berkembang seiring keterlibatan siswa dalam aktivitas proyek.

Tabel 8. Rata-Rata Skor Keterampilan Kolaborasi Siswa Tiap Indikator

Kelas	Indikator	Jumlah Pernyataan	Persentase	Kategori
Eksperimen	Indikator 1	5	75,09	Baik
Eksperimen	Indikator 2	5	74,64	Baik
Eksperimen	Indikator 3	5	62,25	Baik
Kontrol	Indikator 1	5	67,56	Baik
Kontrol	Indikator 2	5	66,06	Baik
Kontrol	Indikator 3	5	48,72	Cukup

Berdasarkan Tabel 8, indikator ketiga, yaitu tanggung jawab dan kontribusi setiap anggota kelompok, memperoleh skor paling rendah pada kedua kelas, terutama pada kelas kontrol dengan persentase 48,72. Temuan ini menunjukkan bahwa tanggung jawab individual dalam kerja kelompok masih menjadi aspek yang perlu diperkuat, baik melalui pembagian peran yang lebih jelas, rubrik kolaborasi, maupun pemantauan guru selama proses kerja kelompok.

Effect Size

Untuk mengetahui besarnya pengaruh model PjBL berbasis green chemistry terhadap hasil belajar, kesadaran lingkungan, dan keterampilan kolaborasi, dilakukan perhitungan effect size menggunakan Cohen's d berdasarkan rata-rata dan standar deviasi pada setiap variabel.

Tabel 9. Effect Size Penerapan Model PjBL Berbasis Green Chemistry terhadap Hasil Belajar, Kesadaran Lingkungan, dan Keterampilan Kolaborasi

Variabel	Kelas	Rata-Rata	Standar Deviasi	Cohen's d
Hasil Belajar	Eksperimen	0,61	0,19	0,649
Hasil Belajar	Kontrol	0,48	0,21	

Variabel	Kelas	Rata-Rata	Standar Deviasi	Cohen's d
Kesadaran Lingkungan	Eksperimen	77	15,34	0,378
Kesadaran Lingkungan	Kontrol	70	21,17	
Keterampilan Kolaborasi	Eksperimen	72	23,48	0,480
Keterampilan Kolaborasi	Kontrol	61	22,26	

Berdasarkan Tabel 9, effect size hasil belajar sebesar 0,649 dan termasuk kategori besar. Effect size kesadaran lingkungan sebesar 0,378 dan keterampilan kolaborasi sebesar 0,480, yang keduanya termasuk kategori sedang. Angka effect size ini digunakan secara konsisten pada abstrak, hasil, pembahasan, dan kesimpulan untuk menjaga akurasi pelaporan data.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model PjBL berbasis green chemistry memberikan hasil belajar yang lebih tinggi dibandingkan Direct Instruction pada materi asam-basa. Hal ini terlihat dari nilai rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 76,35, sedangkan kelas kontrol sebesar 63,67. Nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,61 juga lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 0,48. Hasil uji-t satu pihak menunjukkan thitung sebesar 2,700 dan ttabel sebesar 1,669, sehingga H_a diterima. Dengan demikian, hasil belajar siswa yang dibelajarkan menggunakan PjBL berbasis green chemistry lebih tinggi dibandingkan siswa yang dibelajarkan menggunakan Direct Instruction.

Perbedaan hasil belajar tersebut dapat dijelaskan melalui karakteristik PjBL yang menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam pembelajaran. Pada pembelajaran berbasis proyek, siswa tidak hanya menerima informasi dari guru, tetapi juga terlibat dalam proses mengidentifikasi masalah, merancang penyelesaian, mencari informasi, melakukan investigasi, menyusun produk, dan mempresentasikan hasil. Aktivitas tersebut memungkinkan siswa membangun pemahaman melalui pengalaman langsung. Pada materi asam-basa, pembelajaran semacam ini penting karena siswa perlu memahami konsep melalui hubungan antara teori, observasi, data, dan konteks nyata.

Hasil ini sejalan dengan Arianta et al. (2024) yang menjelaskan bahwa terdapat perbedaan signifikan antara hasil belajar siswa yang diajarkan menggunakan model PjBL dan siswa yang diajarkan menggunakan Direct Instruction. Temuan ini juga didukung oleh Febriani et al. (2025) yang menyatakan bahwa PjBL berbasis green chemistry dapat meningkatkan hasil belajar siswa dibandingkan pembelajaran konvensional. Secara teoretis, PjBL dapat meningkatkan hasil belajar karena pertanyaan pendorong yang berbasis masalah nyata membantu siswa mengaitkan konsep kimia dengan situasi lingkungan. Ketika siswa mempelajari asam-basa melalui konteks green chemistry, konsep seperti pH, indikator, netralisasi, dan dampak limbah tidak dipahami sebagai informasi terpisah, tetapi sebagai bagian dari masalah yang perlu diselesaikan. Literatur tambahan juga menegaskan bahwa PjBL dalam kimia dapat mendorong integrasi teori dan praktik, memperkuat pemecahan masalah kolaboratif, serta membantu siswa memahami konsep kimia melalui konteks autentik (Varadarajan & Ladage, 2024; Indriani et al., 2023; Tian et al., 2023).

Meskipun demikian, hasil belajar perlu ditafsirkan secara hati-hati karena terdapat perbedaan kemampuan awal antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Rata-rata pretest kelas eksperimen adalah 39,46, sedangkan kelas kontrol 28,00. Perbedaan ini menunjukkan bahwa kelas eksperimen memiliki kemampuan awal yang lebih tinggi. Penggunaan N-Gain membantu mengukur peningkatan hasil belajar pada masing-masing kelas, tetapi belum sepenuhnya menghilangkan kemungkinan pengaruh perbedaan kemampuan awal.

Pada variabel kesadaran lingkungan, kelas eksperimen memperoleh rata-rata 77 dengan kategori baik, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 70 dengan kategori cukup. Effect size sebesar 0,378 menunjukkan pengaruh sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa siswa yang mengikuti pembelajaran PjBL berbasis green chemistry memiliki kecenderungan kesadaran lingkungan yang lebih baik dibandingkan siswa yang mengikuti Direct Instruction. Namun, karena variabel ini belum diuji secara inferensial, kesimpulan yang dapat ditarik adalah adanya kecenderungan perbedaan berdasarkan rata-rata dan effect size, bukan klaim signifikansi statistik.

Peningkatan kesadaran lingkungan pada kelas eksperimen dapat dijelaskan melalui integrasi green chemistry dalam pembelajaran. Green chemistry menekankan upaya mengurangi dampak negatif aktivitas kimia terhadap lingkungan, seperti pengurangan limbah, penggunaan bahan yang lebih aman, efisiensi energi, dan pencegahan pencemaran (Fadillah, 2022). Ketika prinsip-prinsip tersebut diintegrasikan ke dalam proyek pembelajaran asam-basa, siswa tidak hanya mempelajari konsep kimia, tetapi juga menghubungkan konsep tersebut dengan perilaku ramah lingkungan. Misalnya, siswa dapat memahami bahwa penggunaan bahan kimia dalam eksperimen perlu mempertimbangkan keamanan, jumlah limbah, dan cara penanganannya. Dengan demikian, pembelajaran kimia menjadi sarana untuk membangun kepedulian lingkungan.

Hasil ini sejalan dengan Febriani et al. (2025) yang menjelaskan bahwa PjBL berbasis green chemistry tidak hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga dapat membuat siswa lebih peduli terhadap lingkungan. Sunday et al. (2025) juga menyatakan bahwa green chemistry memberikan dampak terhadap kesadaran lingkungan siswa, mendorong perilaku berkelanjutan, dan mengurangi limbah. Literatur tambahan memperkuat temuan ini dengan menegaskan bahwa pembelajaran kimia yang dikaitkan dengan Education for Sustainable Development dapat menumbuhkan literasi lingkungan, pemikiran sistemik, dan pemahaman tentang keberlanjutan (Murti & Hernani, 2023; Specialized Manual on Green and Sustainable Chemistry Education and Learning, 2023). Dalam konteks PjBL, siswa belajar melalui pengalaman konkret sehingga isu lingkungan tidak hanya dipahami sebagai konsep, tetapi juga sebagai tindakan yang dapat diterapkan dalam kehidupan sekolah dan masyarakat.

Namun, hasil per indikator menunjukkan bahwa beberapa aspek kesadaran lingkungan masih belum optimal. Pada kelas kontrol, indikator mobilitas dan transportasi, daur ulang, menghindari limbah, dan konsumerisme berada pada kategori cukup. Pada kelas eksperimen, seluruh indikator berada pada kategori baik hingga sangat baik, tetapi indikator konsumerisme memperoleh nilai paling rendah dibandingkan indikator lainnya. Hal ini menunjukkan bahwa kesadaran lingkungan yang berhubungan dengan perubahan kebiasaan sehari-hari membutuhkan proses yang lebih panjang. Kesadaran tentang pengurangan limbah atau konsumsi bertanggung jawab tidak cukup dibentuk melalui satu unit pembelajaran, tetapi perlu diperkuat melalui kebiasaan sekolah, keteladanan guru, kegiatan berkelanjutan, dan penguatan nilai lingkungan secara lintas mata pelajaran.

Pada variabel keterampilan kolaborasi, kelas eksperimen memperoleh rata-rata 72, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 61. Effect size sebesar 0,480 menunjukkan pengaruh sedang. Hasil observasi pada setiap pertemuan juga menunjukkan bahwa keterampilan kolaborasi kelas eksperimen meningkat dari pertemuan pertama hingga pertemuan ketiga. Temuan ini menunjukkan bahwa PjBL berbasis green chemistry memberi ruang yang lebih luas bagi siswa untuk bekerja sama dalam kelompok dibandingkan Direct Instruction.

Keterampilan kolaborasi meningkat karena PjBL menuntut siswa untuk terlibat dalam penyelesaian proyek secara bersama. Dalam proses tersebut, siswa harus

membagi tugas, bertukar informasi, berdiskusi, menyelesaikan masalah, dan menyusun produk atau laporan. Pembelajaran semacam ini mendorong siswa untuk tidak hanya bertanggung jawab terhadap tugas pribadi, tetapi juga terhadap keberhasilan kelompok. Penelitian Pebriana dan Aini (2025) mengungkapkan bahwa pembelajaran berbasis proyek membuat siswa dapat bekerja sama dalam menyelesaikan tugas yang melibatkan kerja tim. Triana et al. (2020) juga menyatakan bahwa melalui PjBL, siswa dapat menyelesaikan tugas tepat waktu dan setiap siswa memiliki bagian masing-masing.

Dari sudut pandang teori pembelajaran sosial, kolaborasi berkembang ketika siswa diberi kesempatan untuk berinteraksi secara bermakna dalam menyelesaikan masalah. PjBL menyediakan kondisi tersebut karena setiap anggota kelompok memiliki kontribusi terhadap penyelesaian proyek. Literatur tambahan menunjukkan bahwa keberhasilan PjBL dalam meningkatkan kolaborasi sangat dipengaruhi oleh kejelasan peran kelompok, norma komunikasi, fasilitasi guru, serta penilaian yang memperhatikan proses dan produk kolaboratif (Moreau et al., 2024; Coulombe et al., 2023; Furlong et al., 2019). Oleh karena itu, PjBL tidak otomatis meningkatkan kolaborasi jika guru tidak memberikan struktur kerja kelompok yang jelas.

Temuan penting dalam penelitian ini adalah rendahnya indikator tanggung jawab dan kontribusi setiap anggota kelompok, terutama pada kelas kontrol. Pada kelas eksperimen, indikator ketiga memperoleh persentase 62,25, sedangkan pada kelas kontrol hanya 48,72. Hal ini menunjukkan bahwa meskipun siswa bekerja dalam kelompok, belum semua siswa memiliki kontribusi yang merata. Beberapa siswa mungkin masih bergantung pada teman yang lebih aktif, kurang percaya diri, atau belum memahami perannya dalam kelompok. Oleh karena itu, pelaksanaan PjBL perlu dilengkapi dengan pembagian peran yang eksplisit, rubrik penilaian kolaborasi, refleksi individu, dan evaluasi kontribusi anggota kelompok. Strategi tersebut penting agar kerja kelompok tidak hanya menghasilkan produk, tetapi juga membangun tanggung jawab personal dan kemampuan sosial siswa.

Nilai effect size hasil belajar sebesar 0,649 menunjukkan bahwa PjBL berbasis green chemistry memberikan pengaruh besar terhadap peningkatan hasil belajar. Sementara itu, effect size kesadaran lingkungan sebesar 0,378 dan keterampilan kolaborasi sebesar 0,480 menunjukkan pengaruh sedang. Hasil ini menunjukkan bahwa dampak PjBL berbasis green chemistry paling kuat terlihat pada aspek kognitif, sedangkan aspek kesadaran lingkungan dan kolaborasi membutuhkan proses pembentukan yang lebih berkelanjutan. Penelitian Sappaile et al. (2024) menyatakan bahwa model PjBL memberikan pengaruh tinggi terhadap keterampilan berpikir abad ke-21 siswa. Rosilanti et al. (2025) juga menyatakan bahwa pembelajaran menggunakan model PjBL memiliki pengaruh besar terhadap hasil belajar peserta didik.

Interpretasi effect size perlu dikaitkan dengan desain dan konteks penelitian. Dalam penelitian pendidikan, effect size dapat bervariasi bergantung pada kualitas desain pembelajaran, kesesuaian materi, kesiapan guru, waktu pelaksanaan, dan karakteristik siswa. Literatur tambahan menunjukkan bahwa pengaruh PjBL dalam pembelajaran sains dan kimia dapat berkisar dari kecil hingga sedang atau besar, bergantung pada dukungan guru, struktur proyek, penilaian, dan kualitas kolaborasi (Schneider et al., 2022; Rehman et al., 2024). Oleh karena itu, hasil penelitian ini mendukung potensi PjBL berbasis green chemistry, tetapi juga menunjukkan bahwa keberhasilannya memerlukan perencanaan proyek yang matang dan pengelolaan kelas yang baik.

Secara keseluruhan, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa PjBL berbasis green chemistry dapat menjadi alternatif model pembelajaran kimia yang relevan dengan kebutuhan abad ke-21. Model ini tidak hanya membantu siswa memahami konsep asam-basa, tetapi juga mengaitkan konsep tersebut dengan isu lingkungan dan kerja

kolaboratif. Kebaruan penelitian ini terletak pada penggabungan tiga fokus pembelajaran dalam satu desain, yaitu hasil belajar sebagai aspek kognitif, kesadaran lingkungan sebagai aspek afektif-lingkungan, dan keterampilan kolaborasi sebagai aspek keterampilan abad ke-21. Dengan demikian, pembelajaran kimia tidak hanya diarahkan untuk mencapai nilai akademik, tetapi juga untuk membentuk kepedulian dan kemampuan bekerja sama dalam menyelesaikan masalah nyata.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa keterbatasan. Pertama, jumlah kelas yang digunakan hanya dua kelas sehingga generalisasi hasil masih terbatas. Kedua, terdapat perbedaan kemampuan awal antara kelas eksperimen dan kelas kontrol. Ketiga, variabel kesadaran lingkungan dan keterampilan kolaborasi belum dilengkapi dengan uji inferensial sehingga klaim perbedaan pada kedua variabel tersebut perlu ditafsirkan secara hati-hati. Keempat, keterampilan kolaborasi masih menunjukkan kelemahan pada aspek tanggung jawab dan kontribusi anggota kelompok. Keterbatasan ini menjadi dasar untuk pengembangan penelitian selanjutnya dengan desain eksperimen yang lebih kuat, jumlah sampel lebih besar, instrumen yang lebih teruji, dan analisis statistik yang lebih komprehensif.

KESIMPULAN

Berdasarkan hasil penelitian, penerapan model PjBL berbasis green chemistry menunjukkan hasil belajar yang lebih tinggi dibandingkan Direct Instruction pada materi asam-basa. Hal ini ditunjukkan oleh nilai N-Gain kelas eksperimen sebesar 0,61 dan kelas kontrol sebesar 0,48, serta hasil uji-t satu pihak dengan thitung 2,700 lebih besar daripada ttabel 1,669. Dengan demikian, hipotesis pada variabel hasil belajar diterima.

Rata-rata kesadaran lingkungan siswa pada kelas eksperimen sebesar 77 dengan kategori baik, sedangkan kelas kontrol sebesar 70 dengan kategori cukup. Rata-rata keterampilan kolaborasi siswa pada kelas eksperimen sebesar 72, sedangkan kelas kontrol sebesar 61. Hasil effect size menunjukkan bahwa PjBL berbasis green chemistry memberikan pengaruh besar terhadap hasil belajar dengan nilai 0,649, serta pengaruh sedang terhadap kesadaran lingkungan sebesar 0,378 dan keterampilan kolaborasi sebesar 0,480. Namun, karena variabel kesadaran lingkungan dan keterampilan kolaborasi belum dilengkapi uji inferensial, hasil pada kedua variabel tersebut ditafsirkan sebagai kecenderungan perbedaan berdasarkan rata-rata dan effect size. Penelitian selanjutnya perlu menggunakan analisis statistik tambahan untuk memperkuat klaim perbedaan antar kelompok.

REKOMENDASI

Berdasarkan hasil penelitian, model PjBL berbasis green chemistry direkomendasikan untuk digunakan dalam pembelajaran kimia, khususnya pada materi asam-basa, karena dapat membantu siswa mengaitkan konsep kimia dengan masalah lingkungan nyata. Guru disarankan merancang proyek yang menekankan prinsip pengurangan limbah, penggunaan bahan aman, efisiensi penggunaan bahan, pembagian peran kelompok, rubrik kolaborasi, dan refleksi individu.

Peneliti selanjutnya disarankan menggunakan jumlah kelas yang lebih banyak, menguji kesetaraan kemampuan awal, mempertimbangkan penggunaan ANCOVA, serta melakukan uji inferensial pada semua variabel. Instrumen angket kesadaran lingkungan dan lembar observasi kolaborasi juga perlu diperkuat melalui uji validitas konstruk, reliabilitas, dan konsistensi antarobserver agar hasil penelitian lebih akurat dan dapat direplikasi.

UCAPAN TERIMAKASIH

Penulis menyampaikan terima kasih kepada Program Studi Pendidikan Kimia, Universitas Negeri Medan, atas dukungan akademik dan fasilitas yang diberikan selama proses penyusunan dan pelaksanaan penelitian ini. Penulis juga mengucapkan terima kasih kepada MAN 2 Model Medan yang telah memberikan izin, dukungan, dan kesempatan kepada penulis untuk melaksanakan penelitian di lingkungan sekolah. Dukungan dari kedua institusi tersebut sangat membantu hingga penelitian ini dapat diselesaikan dengan baik.

KONTRIBUSI AUTHOR

APFH: menyusun rancangan penelitian, mengembangkan instrumen penelitian, melaksanakan pengumpulan data, menganalisis data, menginterpretasikan hasil penelitian, serta menulis draf awal artikel. DS: memberikan arahan konseptual dan metodologis, memvalidasi rancangan penelitian, membimbing proses analisis dan interpretasi data, serta melakukan penelaahan dan revisi kritis terhadap substansi artikel. Seluruh penulis telah membaca dan menyetujui versi akhir artikel untuk dipublikasikan.

DAFTAR PUSTAKA

- Aeschbach, L. F., Hüsler, A. B. de C., & Opwis, K. (2024). *Systematic review on the methodological rigor and effectiveness of digital game-based learning in education*. <https://doi.org/10.31234/osf.io/6qgvp>
- Ahmad, Z., Ammar, M., Sellami, A., & Al-Thani, N. (2023). Effective pedagogical approaches used in high school chemistry education: A systematic review and meta-analysis. *Journal of Chemical Education*, 100(5), 1796–1810. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c00739>
- Apriyana, J., Lestari, N. D., & Januardi, J. (2021). Analisis kesulitan belajar siswa dalam pembelajaran daring di SMK se-Kecamatan Kayuagung. *PROMOSI: Jurnal Pendidikan Ekonomi*, 9(2). <https://doi.org/10.24127/pro.v9i2.4516>
- Arianta, I. G. N., Warpala, I. W. S., & Sudarma, I. K. (2024). Pengaruh model pembelajaran Project Based Learning terhadap motivasi dan hasil belajar informatika. *Jurnal Teknologi Pembelajaran Indonesia*, 14(1), 55–67. https://doi.org/10.23887/jurnal_tp.v14i1.3029
- Baleghizadeh, S., & Masoun, A. (2014). The effect of self-assessment on EFL learners' self-efficacy. *TESL Canada Journal*, 31(1), 42. <https://doi.org/10.18806/tesl.v31i1.1166>
- Bonacci, E. (2023). The International Space Station (ISS) contest as STEM educational project. *Athens Journal of Sciences*, 10(3), 153–180. <https://doi.org/10.30958/ajs.10-3-3>
- Brorsen, B. W., Lin, H., & Larzelere, R. E. (2025). Critique of enhanced power claimed for quasi-ANCOVA and dual-centered ANCOVA. *PLOS ONE*, 20(1), e0317860. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0317860>
- Budilaksono, S., Lambas, L., Kartiansyah, A., Prayitno, E., Suwarno, M., & Rosadi, A. (2021). Research and development of STEAM (science, technology, engineering, animation, and mathematics) the problem-based learning for SMA XI class multimedia-based. <https://doi.org/10.4108/eai.3-6-2021.2310811>
- Callaghan, N. I., Cadavid, J. L., Chang, H. H., Co, I. L., Ivanov, N., Tran-Nguyen, N., Rubianto, J., Huyer, L. D., & Kilkenny, D. M. (n.d.). *Discovery: Differential student impact is evident within an inquiry-focused secondary/post-secondary collaborative STEM program*. <https://doi.org/10.18260/1-2--34469>
- Cao, J., Guan, H., & Jiang, J. (2025). A review of the literature on project-based learning in high school chemistry over the past decade in the *Journal of Chemical Education*.

- Journal of Chemical Education*, 102(2), 599–614. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00886>
- Carmo, S. K. S., Cunha-Miranda, L., Silva, C., & Souza, H. Y. S. de. (2025). Forensic toolbox: Active learning strategy for promoting science education. *Journal of Chemical Education*, 102(7), 2873–2879. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c01093>
- Chengere, A. M., Bono, B. D., Zinabu, S. A., & Jilo, K. W. (2025). Enhancing secondary school students' science process skills through guided inquiry-based laboratory activities in biology. *PLOS ONE*, 20(4), e0320692. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0320692>
- Chimène, L. (2023). Les effets « établissements » dans l'éducation au développement durable : Une analyse secondaire de l'enquête PISA 2018. *Recherches en Éducation*, 53. <https://doi.org/10.4000/ree.12109>
- Cook, T. D., & Steiner, P. M. (2010). Case matching and the reduction of selection bias in quasi-experiments: The relative importance of pretest measures of outcome, of unreliable measurement, and of mode of data analysis. *Psychological Methods*, 15(1), 56–68. <https://doi.org/10.1037/a0018536>
- Coulombe, C., Leroux, M.-P., Paquin, G., Harvey, J., & Monette, J. (2023). Recherche-intervention comme catalyseur de compétences collaboratives : Un changement organisationnel qui influence la gestion des grands projets d'infrastructures publiques. *Ad Machina*, 7, 2–30. <https://doi.org/10.1522/radm.no7.1655>
- Dewi, A. P., Putri, A., Anfira, D. K., & Prayitno, A. B. (2020). Profil keterampilan kolaborasi mahasiswa pada rumpun pendidikan MIPA. *Pedagogia: Jurnal Ilmu Pendidikan*, 18(1), 57–72. <https://doi.org/10.17509/pgdia.v18i1.22502>
- Dewi, M. R. (2023). Kelebihan dan kekurangan Project-based Learning untuk penguatan Profil Pelajar Pancasila Kurikulum Merdeka. *Inovasi Kurikulum*, 19(2), 213–226. <https://doi.org/10.17509/jik.v19i2.44226>
- Dhitasarifa, I., Yuliatun, A. D., & Savitri, E. N. (2023). Penerapan model Problem Based Learning untuk meningkatkan keterampilan kolaborasi peserta didik pada materi ekologi di SMP Negeri 8 Semarang. *Proceeding Seminar Nasional IPA*, 684–694.
- Fadillah, E. (2022). Pengaplikasian prinsip-prinsip green chemistry dalam pelaksanaan pembelajaran kimia. *Jurnal Riset Rumpun Ilmu Teknik*, 1(1), 127–132. <https://doi.org/10.55606/jurritek.v1i1.2776>
- Farmus, L., Weiss, J. A., Tajik-Parvinchi, D., & Cribbie, R. A. (2020). Contextualizing statistical suppression within pretest-posttest designs. *The Quantitative Methods for Psychology*, 16(1), 21–32. <https://doi.org/10.20982/tqmp.16.1.p021>
- Febriani, F., Hasan, M., Khaldun, I., & Khwaengmek, W. (2025). Impact of Project-Based Learning implementation on students' achievement in green chemistry concepts. *Jurnal IPA & Pembelajaran IPA*, 9(3), 1020–1031. <https://doi.org/10.24815/jipi.v9i3.48944>
- Fu, L., Sun, Z., Zha, L., Liu, F., He, L., Sun, X., & Jing, X. (2020). Environmental awareness and pro-environmental behavior within China's road freight transportation industry: Moderating role of perceived policy effectiveness. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119796. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.119796>
- Furlong, C., Léger, M., & Freiman, V. (2019). Le développement de compétences numériques dans des environnements d'apprentissage riches en technologies. *Canadian Journal of Learning and Technology*, 45(2). <https://doi.org/10.21432/cjlt27831>
- Garnier, B., & Moreno, V. M. (2023). Comment articuler éducation formelle et éducation non formelle pour éduquer à l'écocivisme ? Exemple d'un jardin partagé au collège en SEGPA. *Educations*, 7(1). <https://doi.org/10.21494/iste.op.2024.1124>

- Hidayah, R., & Dasna, I. W. (2022). Systematic review for collaborative problem based learning models to improve creative thinking skills. *SHS Web of Conferences*, 149, 01038. <https://doi.org/10.1051/shsconf/202214901038>
- Hidayah, R., Fajaroh, F., Parlan, P., & Dasna, I. W. (2022). Collaborative Problem Based Learning to improve metacognitive of chemistry students: Systematic literature review. *Al-Ishlah: Jurnal Pendidikan*, 14(4), 6991–7000. <https://doi.org/10.35445/alishlah.v14i4.1172>
- Husein, M. B. (2020). Kesulitan belajar pada siswa sekolah dasar: Studi kasus di Sekolah Dasar Muhammadiyah Karangwaru Yogyakarta. *Jurnal Pendidikan Sekolah Dasar Ahmad Dahlan*, 7(1), 54–62. <https://doi.org/10.33373/chypend.v6i1.2381>
- Indriani, N. C. L., Mustaji, M., Mariono, A., & Arianto, F. (2023). The effect of blended Problem-Based Learning on problem solving and scientific literacy in high school students. *International Journal of Social Science and Human Research*, 6(6). <https://doi.org/10.47191/ijsshr/v6-i6-76>
- Jansson, S., Söderström, H., Andersson, P. L., & Nording, M. L. (2015). Implementation of Problem-Based Learning in environmental chemistry. *Journal of Chemical Education*, 92(12), 2080–2086. <https://doi.org/10.1021/ed500970y>
- Jumirah, Sari, P. A., Kusnadi, E., & Oktaviani, A. D. (2021). Analisis kesadaran lingkungan siswa sekolah pada kegiatan green-chemistry dalam kondisi new normal pandemi COVID-19. *DIKSAINS: Jurnal Ilmiah Pendidikan Sains*, 2(1), 31–36. <https://doi.org/10.33369/diksains.2.1.31-36>
- Juniar, A., & Barus, M. (2023). Using Macromedia Flash-assisted PBL and PjBL learning model to improve acid-base learning outcomes. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 24(1), 335–348. <https://doi.org/10.23960/jpmipa/v24i1.pp335-348>
- Kurt, G., & Akoğlu, K. (2023). Project-based learning in science education: A comprehensive literature review. *Interdisciplinary Journal of Environmental and Science Education*, 19(3), e2311. <https://doi.org/10.29333/ijese/13677>
- Leroy, P. (2004). Sciences environnementales et interdisciplinarité : Une réflexion partant des débats aux Pays-Bas. *Natures Sciences Sociétés*, 12(3), 274–284. <https://doi.org/10.1051/nss:2004039>
- Les journées de l'interdisciplinarité 2023. (2023). <https://doi.org/10.25965/lji.697>
- Liang, Y., Li, M., Tian, C., & Li, H. (2023). Study reporting an elective chemistry course titled “The mysteries of chemistry in intangible cultural heritage” to fulfill the vision of science literacy. *Journal of Chemical Education*, 100(7), 2654–2663. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01248>
- Lin, H., & Larzelere, R. E. (2020). Dual-centered ANCOVA: Resolving contradictory results from Lord's paradox with implications for reducing bias in longitudinal analyses. *Journal of Adolescence*, 85(1), 135–147. <https://doi.org/10.1016/j.adolescence.2020.11.001>
- Lippman, P. C. (2010). *L'environnement physique peut-il avoir un impact sur l'environnement pédagogique ?* <https://doi.org/10.1787/5km4g20sbt7l-fr>
- Lo, C.-W. T., & Greenberg, S. (2026). Lowering the activation barrier to create a constructively aligned undergraduate chemistry laboratory experience: A review of innovations in assessments and course design. *Chemistry Education Research and Practice*, 27(1), 13–30. <https://doi.org/10.1039/d5rp00050e>
- Magaji, A., Adjani, M., & Coombes, S. (2024). A systematic review of preservice science teachers' experience of Problem-Based Learning and implementing it in the classroom. *Education Sciences*, 14(3), 301. <https://doi.org/10.3390/educsci14030301>
- Moreau, A. C., Granger, N., Gingras, F., & Vezeau, C. L. (2024). Évaluer des apprentissages au secondaire en équipe collaborative. *McGill Journal of Education / Revue des*

- Sciences de l'Éducation de McGill*, 57(3), 137–156. <https://doi.org/10.7202/1109001ar>
- Murti, A. D., & Hernani, H. (2023). The contributing of chemistry learning in supporting education for sustainable development: A systematic literature review. *Jurnal Pendidikan Kimia*, 15(1), 1–9. <https://doi.org/10.24114/jpkim.v15i1.41233>
- Natty, R. A., Kristin, F., & Anugraheni, I. (2019). Peningkatkan kreativitas dan hasil belajar siswa melalui model pembelajaran Project Based Learning di sekolah dasar. *Jurnal Basicedu*, 3(4), 1082–1092. <https://doi.org/10.31004/basicedu.v3i4.262>
- Nieddu, M., Vivien, F.-D., Garnier, E., & Bliard, C. (2014). Existe-t-il réellement un nouveau paradigme de la chimie verte ? *Natures Sciences Sociétés*, 22(2), 103–113. <https://doi.org/10.1051/nss/2014022>
- Noor, A. H., & Nurhayati, S. (2024). Project-Based Learning implementation in a participative planning course: Strategies, outcomes, and challenges. *Cahaya Pendidikan*, 9(2), 164–172. <https://doi.org/10.33373/chypend.v9i2.5660>
- Pebriana, R. R., & Aini, A. (2025). Pembelajaran berbasis Project Based Learning (PjBL) untuk meningkatkan keterampilan kolaborasi siswa pada materi perubahan lingkungan kelas X-11 SMAN 15 Surabaya. *Jurnal Inovasi Pembelajaran Biologi*, 6(2), 47–56.
- Pellaud, F., & Eastes, R.-E. (2020). Éduquer à la condition terrestre. *Éducation Relative à l'Environnement*, 15(2). <https://doi.org/10.4000/ere.5606>
- Poya, Y. (2026). Embedding UN SDGs in chemistry education through project-based learning: Insights from case studies in the UK and USA. *RSC Sustainability*. <https://doi.org/10.1039/d5su00954e>
- Pradia, L. R., Shabir, M. U., & Suarti. (2025). Perbandingan hasil belajar IPA antara model pembelajaran Project Based Learning (PjBL) dan model Direct Instruction peserta didik kelas V pada Sekolah Dasar Negeri Centre Mawang Kabupaten Gowa. *Pinisi Journal of Education*, 5(2), 144–158.
- Rehman, N., Xiao, H., Batool, S., Andleeb, I., & Mahmood, A. (2024). Assessing the effectiveness of Project-Based Learning: A comprehensive meta-analysis of student achievement between 2010 and 2023. *ASR Chiang Mai University Journal of Social Sciences and Humanities*, 11(2). <https://doi.org/10.12982/cmujasr.2024.015>
- Rosilianti, L., Iskandar, D., & Hamdani, A. R. (2025). Pengaruh model Project Based Learning (PjBL) berbantuan media Wordwall terhadap hasil belajar peserta didik pada mata pelajaran IPAS. *Jurnal Riset Multidisiplin Edukasi*, 2(6), 613–625. <https://doi.org/10.71282/jurmie.v2i6.525>
- Sappaile, B. I., Lestari, A. Y., Nadriyah, Kurniawan, A., Rienovita, E., Sukini, & Santosa, T. A. (2024). Effect size model pembelajaran Project Based Learning berbasis IoT terhadap keterampilan berpikir abad 21 siswa. *Jurnal Puan Indonesia*, 5(2), 605–614. <https://doi.org/10.37296/jpi.v5i2.222>
- Sausan, I., Kartika, E. F. R., Masbukhin, F. A. A., Wijayanti, S. W., Wathi, A. F. D., & Suciana, D. (2025). “Making meaningful learning”: Utilizing Reels Instagram to contextualize chemistry in terms of cultivation of *Daphnia* sp. using STEAM approach. *Journal of Chemical Education*, 102(3), 1051–1061. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00654>
- Sauvé, L., & Asselin, H. (2017). Educar para la ecociudadanía: Contra la instrumentalización de la escuela como antesala del «mercado del trabajo». *Teoría de la Educación: Revista Interuniversitaria*, 29(1), 217–244. <https://doi.org/10.14201/teoredu291217244>
- Schneider, B., Krajcik, J., Lavonen, J., Salmela-Aro, K., Klager, C., Bradford, L., Chen, I., Baker, Q., Touitou, I., Peek-Brown, D., Dezenndorf, R. M., Maestrales, S., & Bartz, K. (2022). Improving science achievement—Is it possible? Evaluating the efficacy of a

- high school chemistry and physics Project-Based Learning intervention. *Educational Researcher*, 51(2), 109–121. <https://doi.org/10.3102/0013189X211067742>
- Şentürk, N. (2018). Students' perceptions of Project-Based Learning in chemistry. *European Proceedings of Social and Behavioural Sciences*, 405–412. <https://doi.org/10.15405/epsbs.2018.06.48>
- Sexton, S. S. (2021). Editorial. *Science Education International*, 32(2), 85–87. <https://doi.org/10.33828/sei.v32.i2.e>
- Shultz, G. V., & Li, Y. (2015). Student development of information literacy skills during problem-based organic chemistry laboratory experiments. *Journal of Chemical Education*, 93(3), 413–422. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.5b00523>
- Shultz, G. V., & Zemke, J. M. (2019). "I wanna just Google it and find the answer": Student information searching in a problem-based inorganic chemistry laboratory experiment. *Journal of Chemical Education*, 96(4), 618–628. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00821>
- Specialized manual on green and sustainable chemistry education and learning: Advancing green and sustainable chemistry education and learning in all segments of society.* (2023). <https://doi.org/10.59117/20.500.11822/44540>
- Steiner, P. M., Cook, T. D., Shadish, W. R., & Clark, M. H. (2010). The importance of covariate selection in controlling for selection bias in observational studies. *Psychological Methods*, 15(3), 250–267. <https://doi.org/10.1037/a0018719>
- Sunday, E. S., Samuel, H. S., Rickson, N. H., Musa, J., & Etim, E. E. (2025). Impact of green chemistry education on students' learning and environmental awareness in chemistry. *Discover Education*, 5(1), 44. <https://doi.org/10.1007/s44217-025-01056-7>
- Tian, P., Sun, D., Han, R., & Fan, Y. (2023). Integrating micro project-based learning to improve conceptual understanding and crucial learning skills in chemistry. *Journal of Baltic Science Education*, 22(1), 130–152. <https://doi.org/10.33225/jbse/23.22.130>
- Triana, D., Anggrito, Y. U., & Ridlo, S. (2020). Effectiveness environmental change learning tools based on STEM-PjBL towards 4C skills of students. *Journal of Innovative Science Education*, 9(2), 181–187.
- Varadarajan, S., & Ladage, S. (2024). Problem-Based Learning (PBL): A literature review of theory and practice in undergraduate chemistry laboratories. *Journal of Chemical Education*, 101(8), 3027–3038. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.3c01335>
- Williams, D. P. (2022). vPBL: Developing a facilitated remote approach to Problem-Based Learning. *Journal of Chemical Education*, 99(4), 1642–1650. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c01068>
- Wu, J. (2023). Discussion on the integrated teaching mode of science and education based on PBL—"Take solar energy desalination Xinjiang salt-alkali water treatment" as an example. *International Journal of New Developments in Education*, 5(20). <https://doi.org/10.25236/ijnde.2023.052030>
- Xie, Y., & Yusuf, A. (2026). Advancing scientific literacy: A systematic review of trends, pedagogies and challenges in the 21st century. *Review of Education*, 14(1). <https://doi.org/10.1002/rev3.70140>
- Yusof, W. R. W., Kimi, M., Zullkiplee, W. S. H. W., Zailani, M. A., Shahabudin, M., Ismail, A. A.-H., Aziz, S. M. A., Ismail, I. N. A., & Gopal, D. J. R. (2021). Assessment of practical and scientific writing skills for pre-university students through Project-Based Learning. *Journal of Chemical Education*, 99(2), 715–722. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.1c00843>