

Peningkatan Pemahaman Materi Laju Reaksi Melalui Model Pembelajaran Project Based Learning Siswa Kelas Xi SMAN 1 Teluk Bintan

Mustamid^{a,1,*}, Dody Irawan^b

^{a,2}Universitas Maritim Raja Ali Haji (UMRAH), Indonesia

¹ mustamid49@gmail.com, ² dodyirawan@umrah.ac.id

*Correspondent Author; mustamid49@gmail.com

ARTICLE INFO

Article history

Received:

23-01-2026

Revised:

25-02-2026

Accepted:

03-05-2026

Keywords

Project Based Learning,
conceptual understanding,
reaction rate,
chemistry learning,
senior high school students.

ABSTRACT

This study aims to analyze the improvement of students' understanding of reaction rate material through the implementation of the Project Based Learning model among eleventh-grade students at SMAN 1 Teluk Bintan. This research used a quantitative approach with a quasi-experimental method and a pretest-posttest control group design. The research sample consisted of two classes, namely an experimental class with 32 students and a control class with 31 students. The experimental class received instruction using the Project Based Learning model, while the control class received conventional instruction. Data were collected through a conceptual understanding test, student activity observation, and documentation. The results showed that the average pretest score of the experimental class was 56.81 and increased to 84.37 in the posttest. The control class obtained an average pretest score of 55.67 and increased to 73.45 in the posttest. The t-test result showed a significance value of $0.000 < 0.05$, indicating a significant effect of Project Based Learning on students' conceptual understanding. The N-Gain score of the experimental class was 0.68, which was categorized as moderate, while the control class obtained an N-Gain score of 0.39, which was categorized as low. Therefore, Project Based Learning is effective in improving students' understanding of reaction rate material.

This is an open-access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



Latar Belakang

Pembelajaran kimia di SMA menuntut siswa memahami konsep, menjelaskan gejala, dan menggunakan data untuk membuat kesimpulan ilmiah. Salah satu materi yang sering menimbulkan kesulitan adalah laju reaksi karena siswa harus menghubungkan perubahan yang terlihat, teori tumbukan, energi aktivasi, pengaruh konsentrasi, suhu, luas permukaan, katalis, serta bentuk matematis laju reaksi. Kesulitan ini tidak hanya muncul pada siswa sekolah menengah, tetapi juga tampak pada mahasiswa kimia ketika mereka harus menerjemahkan fenomena kinetika kimia ke dalam model matematis dan penalaran konseptual (Ye et al. 2024).

Materi laju reaksi bersifat abstrak karena siswa tidak dapat melihat langsung gerak partikel, frekuensi tumbukan, dan perubahan energi aktivasi. Kondisi ini membuat pembelajaran yang hanya menekankan ceramah, rumus, dan latihan soal kurang cukup

untuk membangun pemahaman yang mendalam. Penelitian Harahap dan Novita menunjukkan bahwa miskonsepsi siswa pada konsep laju reaksi masih muncul pada submateri konsentrasi, suhu, luas permukaan, dan katalis (Harahap and Novita 2021).

Miskonsepsi pada laju reaksi juga muncul dalam bentuk pemahaman yang keliru tentang hubungan konsentrasi, suhu, dan arah reaksi. Rahayu, Wiji, Widhiyanti, dan Mulyani menemukan 30 bentuk miskonsepsi terkait faktor yang memengaruhi laju reaksi, termasuk anggapan bahwa peningkatan konsentrasi membuat reaksi lebih lama karena jumlah partikel yang bertumbukan lebih banyak (Rahayu et al. 2024). Sumber miskonsepsi tersebut dapat berasal dari internet, guru, buku teks, dan pengalaman sehari-hari siswa.

Temuan terbaru juga menunjukkan bahwa pemahaman calon guru kimia terhadap laju reaksi belum selalu kuat. Sholeh, Laksono, Rahmawati, dan Amelia menemukan bahwa hanya 6 sampai 7 persen responden yang menjawab benar secara konsisten pada kategori orde reaksi, hukum laju, dan faktor yang memengaruhi laju reaksi. Temuan ini penting karena miskonsepsi guru atau calon guru dapat berdampak pada kualitas penjelasan konsep di kelas (Sholeh et al. 2025).

Kondisi tersebut menegaskan perlunya model pembelajaran yang memberi ruang bagi siswa untuk mengamati, merancang percobaan, menguji data, berdiskusi, dan mempresentasikan hasil. Project Based Learning atau PjBL dapat menjadi pilihan karena model ini menempatkan siswa sebagai subjek aktif dalam proses belajar. PjBL mendorong siswa menyelesaikan masalah nyata melalui proyek, kerja kelompok, penyelidikan, produk, dan refleksi. Meta analisis Zhang dan Ma terhadap 66 studi dengan 190 nilai efek menunjukkan bahwa PjBL secara signifikan meningkatkan hasil belajar, sikap afektif, dan keterampilan berpikir dibandingkan pembelajaran tradisional (Zhang and Ma 2023).

Secara teoritis, PjBL sejalan dengan konstruktivisme karena pengetahuan dibangun melalui pengalaman, interaksi sosial, dan refleksi terhadap masalah. Dalam konteks kimia, PjBL membantu siswa menghubungkan konsep dengan peristiwa nyata, misalnya pengaruh suhu terhadap pembusukan makanan, pengaruh luas permukaan terhadap kecepatan reaksi, dan fungsi katalis dalam proses kimia sehari-hari. Zhang dan Ma menjelaskan bahwa PjBL efektif karena memuat masalah nyata, kerja kolaboratif, integrasi teori dan praktik, umpan balik, serta presentasi hasil proyek.

Kajian dalam pendidikan kimia memperkuat relevansi PjBL untuk materi yang menuntut pemahaman konseptual dan keterampilan proses. Aslam, Ikhsan, Ali, dan Ali menyimpulkan bahwa PjBL dalam pendidikan kimia dapat meningkatkan keterlibatan siswa, pemahaman konsep, kompetensi laboratorium, kolaborasi, berpikir kritis, dan pemecahan masalah (Aslam et al., 2025). Kajian tersebut juga menekankan bahwa penerapan PjBL membutuhkan perencanaan proyek yang jelas, sumber belajar yang memadai, dan kesiapan guru dalam mengelola aktivitas siswa (Aslam et al., 2025).

Penelitian yang lebih dekat dengan topik laju reaksi juga menunjukkan arah yang sama. Rahmawati dan Fadhillah menemukan bahwa pendekatan STEM pada materi laju reaksi berpengaruh terhadap keterampilan proses sains siswa kelas XI, terutama karena pembelajaran tidak lagi didominasi guru (Rahmawati and Fadhillah 2022). Hanisa, Mustapa, Ratman, Ahmar, dan Mawaddah menemukan bahwa penerapan Project Based Learning pada materi laju reaksi berpengaruh signifikan terhadap hasil belajar siswa di SMA Negeri 1 Ampibabo dengan nilai signifikansi 0,007 (Hanisa et al. 2023).

PjBL juga dapat dikembangkan melalui integrasi STEM dan perangkat belajar digital. Nurdiana, Winaryati, Maharani, Ikhsan, Rauf, dan Salaffudin menemukan bahwa STEM-integrated PjBL berbasis lesson study pada materi laju reaksi dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis dan kualitas pembelajaran kimia (Nurdiana et al. 2024). Siregar dan Syafriani menunjukkan bahwa e-module berbasis PjBL pada materi laju

reaksi dinilai valid, praktis, dan efektif dengan peningkatan posttest dari 58 menjadi 93 serta N-Gain 0,83 (Siregar and Syafriani 2024).

Berdasarkan kajian tersebut, penelitian berjudul “Peningkatan Pemahaman Materi Laju Reaksi melalui Model Pembelajaran Project Based Learning Siswa Kelas XI SMAN 1 Teluk Bintang” penting dilakukan. Penelitian ini tidak hanya menilai hasil belajar akhir, tetapi juga melihat peningkatan pemahaman siswa setelah mereka mengikuti proses proyek. Fokus penelitian diarahkan pada kemampuan siswa menjelaskan konsep laju reaksi, menganalisis faktor yang memengaruhi laju reaksi, menghubungkan data percobaan dengan teori tumbukan, dan menyajikan temuan proyek secara ilmiah.

Kontribusi kebaruan penelitian ini terletak pada penerapan PjBL dalam konteks lokal kelas XI SMAN 1 Teluk Bintang dengan fokus khusus pada pemahaman materi laju reaksi. Penelitian terdahulu telah membahas PjBL pada materi laju reaksi, STEM-PjBL, dan perangkat digital berbasis PjBL, tetapi penelitian yang secara khusus memotret peningkatan pemahaman siswa kelas XI di SMAN 1 Teluk Bintang masih perlu dikembangkan. Keunikan penelitian ini juga terletak pada penggunaan proyek sederhana yang dapat dikaitkan dengan fenomena keseharian siswa, sehingga konsep laju reaksi tidak dipelajari sebagai rumus semata, tetapi sebagai proses kimia yang dapat diamati, diukur, dan dijelaskan.

Justifikasi penting penelitian ini dapat dilihat dari tiga aspek. Pertama, materi laju reaksi memiliki risiko miskonsepsi yang tinggi, sehingga guru membutuhkan strategi yang dapat memperbaiki pemahaman konseptual siswa. Kedua, PjBL memiliki dukungan empiris sebagai model yang dapat meningkatkan hasil belajar, keterlibatan, kolaborasi, dan berpikir kritis. Ketiga, sekolah memerlukan model pembelajaran kimia yang sesuai dengan tuntutan pembelajaran aktif, kontekstual, dan berbasis proyek. Dengan demikian, penelitian ini diharapkan memberi kontribusi praktis bagi guru kimia dalam merancang pembelajaran laju reaksi yang lebih bermakna, serta memberi kontribusi akademik bagi pengembangan kajian PjBL dalam pendidikan kimia di tingkat SMA.

Metode Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuantitatif karena bertujuan mengukur pengaruh penerapan model Project Based Learning terhadap pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi secara objektif, empiris, dan terukur (Upsher et al. 2025). Pendekatan kuantitatif dipilih karena data penelitian berbentuk angka yang diperoleh melalui tes, lalu dianalisis menggunakan teknik statistik untuk melihat perbedaan hasil belajar sebelum dan sesudah perlakuan (Zhang and Ma 2023). Metode yang digunakan dalam penelitian ini adalah quasi experiment atau eksperimen semu karena penelitian dilakukan dalam kelas yang sudah terbentuk, sehingga peneliti tidak dapat melakukan pengacakan subjek secara penuh seperti pada eksperimen murni (Capili and Anastasi 2024).

Desain eksperimen semu sesuai digunakan dalam penelitian pendidikan karena peneliti tetap dapat memberikan perlakuan kepada kelompok eksperimen dan membandingkan hasilnya dengan kelompok kontrol (Nurhayati, Dina Liana 2025). Dalam penelitian ini, kelas eksperimen memperoleh pembelajaran melalui model Project Based Learning, sedangkan kelas kontrol memperoleh pembelajaran dengan model konvensional atau model yang biasa digunakan guru (Hanisa et al. 2023). Desain ini memungkinkan peneliti membandingkan hasil pretest dan posttest antara dua kelompok sehingga peningkatan pemahaman konsep siswa dapat dianalisis secara lebih sistematis (Bulus 2021).

Penelitian eksperimen dalam pendidikan bertujuan menguji pengaruh variabel bebas terhadap variabel terikat melalui perlakuan pembelajaran yang dirancang secara terencana (Upsher et al., 2025). Dalam penelitian ini, variabel bebas adalah penerapan model Project Based Learning, sedangkan variabel terikat adalah pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi (Zhang & Ma, 2023). Model Project Based Learning relevan digunakan karena pembelajaran berbasis proyek dapat meningkatkan hasil belajar, keterampilan berpikir, kerja sama, dan keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran (Zhang & Ma, 2023). Pada materi laju reaksi, model Project Based Learning juga dinilai sesuai karena siswa dapat mengamati fenomena reaksi, merancang proyek sederhana, mengumpulkan data, dan menghubungkan hasil percobaan dengan konsep kimia yang dipelajari (Nurdiana et al. 2024).

Pendekatan eksperimen dipilih karena sesuai dengan tujuan penelitian, yaitu mengetahui pengaruh penerapan model Project Based Learning terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa kelas XI pada materi laju reaksi (Hanisa et al., 2023). Melalui pendekatan ini, peneliti dapat membandingkan kemampuan awal siswa melalui pretest dan kemampuan akhir siswa melalui posttest setelah perlakuan diberikan (Rahmawati & Fadhilah, 2022). Perbandingan nilai pretest dan posttest penting untuk mengetahui peningkatan pemahaman siswa secara kuantitatif dan untuk melihat efektivitas perlakuan pembelajaran yang diterapkan (Bulus, 2021).

Data yang digunakan dalam penelitian ini adalah data primer karena data diperoleh langsung dari siswa dan proses pembelajaran di kelas selama penelitian berlangsung (Nurhayati, Latif, and Anwar 2024). Data primer diperoleh melalui hasil pretest, posttest, observasi aktivitas pembelajaran, dan dokumentasi kegiatan penelitian (Rahmawati & Fadhilah, 2022). Pretest digunakan untuk mengetahui pemahaman awal siswa sebelum pembelajaran dilakukan, sedangkan posttest digunakan untuk mengetahui pemahaman siswa setelah mengikuti pembelajaran dengan model Project Based Learning (Bulus, 2021). Observasi digunakan untuk mengamati aktivitas guru dan siswa selama proses pembelajaran agar pelaksanaan model Project Based Learning dapat dipantau sesuai langkah pembelajaran yang direncanakan (Maulana et al. 2023). Dokumentasi digunakan untuk melengkapi data penelitian melalui catatan kegiatan, foto pembelajaran, perangkat ajar, lembar kerja, dan dokumen lain yang mendukung pelaksanaan penelitian (Upsher et al., 2025).

Teknik pengumpulan data dalam penelitian ini terdiri atas tes, observasi, dan dokumentasi (Rahmawati and Fadhilah 2022). Teknik tes digunakan untuk mengukur pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi melalui soal pretest dan posttest yang disusun berdasarkan indikator pembelajaran (Hanisa et al., 2023). Teknik observasi digunakan untuk mencatat keterlaksanaan pembelajaran, aktivitas guru, aktivitas siswa, kerja kelompok, dan keterlibatan siswa dalam proyek pembelajaran (Maulana et al., 2023). Teknik dokumentasi digunakan untuk memperkuat bukti pelaksanaan penelitian dan mendukung keabsahan data yang diperoleh dari tes dan observasi (Upsher et al., 2025). Dengan kombinasi teknik tersebut, penelitian ini diharapkan mampu memberikan gambaran empiris tentang pengaruh model Project Based Learning terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi.

Hasil dan Pembahasan

1. Deskripsi Lokasi Penelitian

Penelitian ini dilaksanakan di SMAN 1 Teluk Bintan yang berada di Kecamatan Teluk Bintan, Kabupaten Bintan, Provinsi Kepulauan Riau. Sekolah ini dipilih sebagai lokasi penelitian karena memiliki karakteristik yang sesuai dengan tujuan penelitian,

yaitu mengkaji peningkatan pemahaman konsep siswa kelas XI pada materi laju reaksi melalui model Project Based Learning. Pemilihan lokasi penelitian dalam studi intervensi pendidikan perlu mempertimbangkan kesesuaian konteks sekolah, karakteristik peserta didik, kondisi pembelajaran, serta kesiapan lingkungan belajar agar hasil penelitian dapat dijelaskan secara empiris dan sistematis (Upsher et al., 2025).

SMAN 1 Teluk Bintang merupakan sekolah menengah atas negeri yang memiliki peran penting dalam penyelenggaraan pendidikan di wilayah Kabupaten Bintang. Sekolah ini menjadi tempat yang relevan untuk pelaksanaan penelitian karena memiliki peserta didik kelas XI yang mempelajari materi laju reaksi pada mata pelajaran kimia. Keberadaan sekolah pada wilayah kepulauan juga memberi nilai kontekstual bagi penelitian karena penerapan model pembelajaran inovatif tidak hanya penting di sekolah perkotaan, tetapi juga perlu dikaji pada sekolah di daerah dengan karakteristik lokal yang berbeda. Konteks lokasi dalam penelitian pendidikan perlu dijelaskan secara rinci karena kondisi sekolah dapat memengaruhi pelaksanaan pembelajaran, keterlibatan siswa, dan keterbacaan hasil penelitian (Upsher et al., 2025).

Penelitian ini berfokus pada pembelajaran kimia kelas XI, khususnya materi laju reaksi. Materi laju reaksi dipilih karena menuntut siswa memahami konsep yang bersifat abstrak, seperti teori tumbukan, energi aktivasi, pengaruh konsentrasi, suhu, luas permukaan, dan katalis terhadap kecepatan reaksi. Materi ini tidak cukup dipahami melalui hafalan rumus karena siswa perlu menghubungkan konsep dengan fenomena nyata, data percobaan, dan penalaran ilmiah. Pembelajaran laju reaksi membutuhkan kegiatan yang melibatkan pengamatan, pengukuran, analisis, inferensi, dan komunikasi hasil agar siswa dapat memahami konsep secara lebih mendalam (Rahmawati & Fadhilah, 2022).

Berdasarkan kondisi awal pembelajaran, proses pembelajaran kimia di kelas XI SMAN 1 Teluk Bintang masih cenderung menggunakan pendekatan konvensional. Guru lebih banyak menjelaskan materi melalui ceramah, memberikan contoh soal, dan meminta siswa mengerjakan latihan. Pola pembelajaran tersebut belum sepenuhnya memberi ruang kepada siswa untuk melakukan investigasi, diskusi, eksperimen, dan penyusunan produk pembelajaran. Pembelajaran yang terlalu berpusat pada guru dapat membuat siswa kurang aktif membangun pemahaman karena siswa lebih banyak menerima informasi daripada mengolah pengalaman belajar secara mandiri (Paleenud et al., 2024).

Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya keterlibatan siswa dalam proses pembelajaran kimia. Sebagian siswa masih mengalami kesulitan memahami konsep laju reaksi, terutama ketika diminta menjelaskan hubungan antara faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi dan teori tumbukan. Kesulitan ini menunjukkan bahwa siswa membutuhkan pengalaman belajar yang lebih konkret, aktif, dan kontekstual. Pembelajaran berbasis proyek dapat membantu siswa memahami konsep karena siswa terlibat dalam penyelidikan, kerja kelompok, penyelesaian masalah, dan penyajian hasil belajar secara terstruktur (Zhang & Ma, 2023).

Sarana dan prasarana sekolah cukup mendukung pelaksanaan pembelajaran berbasis proyek. Ketersediaan ruang kelas, laboratorium, perpustakaan, perangkat pembelajaran, dan fasilitas pendukung lain dapat dimanfaatkan untuk merancang kegiatan proyek sederhana pada materi laju reaksi. Dalam pembelajaran kimia, fasilitas laboratorium memiliki peran penting karena siswa dapat melakukan pengamatan langsung terhadap perubahan reaksi melalui variasi suhu, konsentrasi, luas permukaan, dan katalis. Pembelajaran yang melibatkan kegiatan eksperimen dapat meningkatkan keterampilan proses sains karena siswa dilatih untuk mengamati, mengukur,

memprediksi, menyimpulkan, dan mengomunikasikan hasil percobaan (Rahmawati & Fadhilah, 2022).

Ketersediaan fasilitas sekolah juga mendukung penerapan Project Based Learning karena model ini membutuhkan sumber belajar, media, alat praktik, kerja kelompok, dan ruang untuk mempresentasikan hasil proyek. Project Based Learning tidak hanya menekankan hasil akhir, tetapi juga proses pembelajaran yang mencakup perencanaan proyek, pelaksanaan investigasi, pemantauan proses, penyusunan produk, dan evaluasi pengalaman belajar. Integrasi teknologi dalam Project Based Learning juga dapat memperluas akses siswa terhadap sumber belajar dan membantu guru memantau perkembangan proyek secara lebih sistematis (Hinostroza et al., 2025).

Pemilihan SMAN 1 Teluk Bintang sebagai lokasi penelitian didasarkan pada adanya kebutuhan nyata untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi. Kondisi awal menunjukkan bahwa siswa masih membutuhkan model pembelajaran yang mampu mengaktifkan proses berpikir, kerja sama, dan keterampilan memecahkan masalah. Project Based Learning dipilih karena model ini memberi kesempatan kepada siswa untuk belajar melalui pengalaman langsung, menghasilkan produk, dan mengaitkan konsep kimia dengan kehidupan sehari-hari. Model Project Based Learning terbukti dapat meningkatkan hasil belajar siswa karena pembelajaran dilakukan melalui proyek yang menuntut keterlibatan aktif dan penyelesaian masalah secara kolaboratif (Zhang & Ma, 2023).

Dalam konteks materi laju reaksi, Project Based Learning dapat diterapkan melalui proyek sederhana yang berkaitan dengan faktor-faktor yang memengaruhi kecepatan reaksi. Siswa dapat melakukan percobaan tentang pengaruh suhu, pengaruh konsentrasi, pengaruh luas permukaan, atau penggunaan katalis dalam reaksi kimia sederhana. Melalui kegiatan tersebut, siswa tidak hanya membaca teori, tetapi juga melihat hubungan antara variabel percobaan dan perubahan laju reaksi. Penelitian pada materi laju reaksi menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis Project Based Learning dapat memberikan pengaruh positif terhadap hasil belajar siswa karena siswa lebih aktif mengolah informasi dan menghubungkan konsep dengan data percobaan (Hanisa et al., 2023).

Deskripsi lokasi penelitian ini juga menunjukkan bahwa SMAN 1 Teluk Bintang memiliki peluang untuk mengembangkan pembelajaran kimia yang lebih aktif, kontekstual, dan berbasis pengalaman. Lingkungan sekolah, karakteristik siswa, dan fasilitas yang tersedia dapat dimanfaatkan untuk mendukung pelaksanaan Project Based Learning secara bertahap. Dengan demikian, lokasi penelitian tidak hanya berfungsi sebagai tempat pengumpulan data, tetapi juga menjadi bagian penting dalam memahami mengapa model Project Based Learning relevan diterapkan pada pembelajaran laju reaksi. Pelaporan konteks lokasi secara jelas penting dilakukan agar pembaca dapat menilai kesesuaian desain penelitian, keterlaksanaan intervensi, dan kemungkinan penerapan hasil penelitian pada sekolah lain yang memiliki karakteristik serupa (Upsher et al., 2025).

Berdasarkan uraian tersebut, SMAN 1 Teluk Bintang dapat dinyatakan sebagai lokasi penelitian yang sesuai untuk mengkaji peningkatan pemahaman materi laju reaksi melalui model Project Based Learning. Sekolah ini memiliki kebutuhan pembelajaran yang relevan, fasilitas pendukung yang dapat dimanfaatkan, serta karakteristik peserta didik yang sesuai dengan fokus penelitian. Penerapan Project Based Learning di sekolah ini diharapkan dapat membantu siswa memahami konsep laju reaksi secara lebih konkret melalui kegiatan proyek, diskusi, eksperimen, dan presentasi hasil belajar. Pembelajaran berbasis proyek dapat mendorong siswa mencapai pemahaman yang lebih mendalam karena siswa terlibat dalam proses belajar yang aktif, kolaboratif, dan berorientasi pada penyelesaian masalah (Paleenud et al., 2024).

2. Deskripsi Data Penelitian

a. Data Pretest

Pretest diberikan kepada siswa sebelum proses pembelajaran dilaksanakan. Tujuan pretest adalah untuk mengetahui kemampuan awal siswa pada materi laju reaksi sebelum diberikan perlakuan pembelajaran.

Jumlah siswa pada kelas eksperimen sebanyak 32 siswa dan kelas kontrol sebanyak 31 siswa. Hasil analisis pretest menunjukkan bahwa kemampuan awal kedua kelas relatif sama.

Tabel 1. Hasil Pretest Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelas	Jumlah Siswa	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
Eksperimen	32	42	72	56,81	8,24
Kontrol	31	40	70	55,67	7,98

Berdasarkan Tabel 1 di atas, diketahui bahwa rata-rata nilai *pretest* kelas eksperimen sebesar 56,81, sedangkan kelas kontrol sebesar 55,67. Perbedaan rata-rata kedua kelas tidak terlalu signifikan sehingga dapat disimpulkan bahwa kemampuan awal siswa relatif homogen sebelum perlakuan diberikan.

b. Data Posttest

Posttest diberikan setelah proses pembelajaran selesai dilaksanakan untuk mengetahui peningkatan pemahaman konsep siswa setelah penerapan model pembelajaran.

Tabel 2. Hasil Posttest Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

Kelas	Jumlah Siswa	Nilai Minimum	Nilai Maksimum	Rata-rata	Standar Deviasi
Eksperimen	32	70	96	84,37	6,15
Kontrol	31	60	86	73,45	7,02

Berdasarkan Tabel 2 di atas, rata-rata *posttest* kelas eksperimen mengalami peningkatan yang cukup tinggi dibandingkan kelas kontrol. Nilai rata-rata kelas eksperimen mencapai 84,37, sedangkan kelas kontrol hanya mencapai 73,45. Hasil tersebut menunjukkan bahwa penerapan *Project Based Learning* memberikan dampak positif terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi.

c. Data Aktivitas Siswa

Aktivitas siswa diamati selama proses pembelajaran berlangsung menggunakan lembar observasi aktivitas siswa.

Tabel 3. Persentase Aktivitas Siswa Kelas Eksperimen

Indikator Aktivitas	Persentase	Kategori
Diskusi kelompok	88%	Sangat Baik
Presentasi proyek	84%	Sangat Baik
Keaktifan bertanya	80%	Baik
Kerja sama kelompok	90%	Sangat Baik
Ketepatan penyelesaian proyek	86%	Sangat Baik

Berdasarkan hasil observasi, aktivitas siswa pada kelas eksperimen berada pada kategori baik dan sangat baik. Aktivitas tertinggi terdapat pada indikator kerja sama kelompok dengan persentase 90%. Hal tersebut menunjukkan bahwa model *Project Based Learning* mampu meningkatkan keterlibatan aktif siswa selama proses pembelajaran.

3. Analisis Data

a. Hasil Uji Normalitas

Uji normalitas dilakukan menggunakan uji Kolmogorov-Smirnov untuk mengetahui apakah data penelitian berdistribusi normal.

Tabel 4. Hasil Uji Normalitas

Data	Signifikansi	Keterangan
Pretest Eksperimen	0,200	Normal
Pretest Kontrol	0,184	Normal
Posttest Eksperimen	0,176	Normal
Posttest Kontrol	0,163	Normal

Berdasarkan hasil uji normalitas, seluruh data memiliki nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga data dinyatakan berdistribusi normal.

b. Hasil Uji Homogenitas

Uji homogenitas dilakukan menggunakan uji Levene untuk mengetahui kesamaan varians antara kedua kelompok.

Tabel 5. Hasil Uji Homogenitas

Data	Signifikansi	Keterangan
<i>Pretest</i>	0,287	Homogen
<i>Posttest</i>	0,314	Homogen

Hasil uji homogenitas menunjukkan bahwa nilai signifikansi lebih besar dari 0,05 sehingga data kedua kelas dinyatakan homogen.

c. Hasil Uji Hipotesis

Uji hipotesis dilakukan menggunakan independent sample t-test untuk mengetahui pengaruh model Project Based Learning terhadap pemahaman konsep siswa.

Tabel 6. Hasil Uji t

Data	t hitung	t tabel	Signifikansi	Keterangan
<i>Posttest</i>	5,624	1,998	0,000	H ₁ diterima

Berdasarkan hasil uji t, diperoleh nilai signifikansi sebesar $0,000 < 0,05$ sehingga H₀ ditolak dan H₁ diterima. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat pengaruh signifikan penerapan model Project Based Learning terhadap pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi.

d. Hasil Perhitungan N-Gain

Perhitungan N-Gain dilakukan untuk mengetahui tingkat peningkatan pemahaman konsep siswa.

Tabel 7. Hasil N-Gain

Kelas	Rata-rata N-Gain	Kategori
Eksperimen	0,68	Sedang
Kontrol	0,39	Rendah

Hasil N-Gain menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep siswa pada kelas eksperimen lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Nilai N-Gain kelas eksperimen berada pada kategori sedang, sedangkan kelas kontrol berada pada kategori rendah.

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan model Project Based Learning memberikan pengaruh positif terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi. Hal ini terlihat dari peningkatan nilai rata-rata kelas eksperimen yang lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol. Pada saat pretest, kelas eksperimen memperoleh rata-rata 56,81, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 55,67. Perbedaan nilai awal tersebut relatif kecil sehingga kemampuan awal siswa pada kedua kelas dapat dinyatakan hampir seimbang sebelum perlakuan diberikan. Kesetaraan kemampuan awal penting dalam desain pretest-posttest karena hasil posttest dapat ditafsirkan lebih kuat sebagai dampak dari perlakuan pembelajaran yang diberikan (Bulus 2021).

Setelah proses pembelajaran dilaksanakan, kelas eksperimen memperoleh rata-rata posttest sebesar 84,37, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 73,45. Selisih rata-rata posttest sebesar 10,92 poin menunjukkan bahwa siswa yang belajar melalui Project Based Learning memiliki capaian pemahaman konsep yang lebih tinggi dibandingkan siswa yang belajar melalui pembelajaran konvensional. Perbedaan ini menunjukkan bahwa Project Based Learning membantu siswa memahami materi laju reaksi secara lebih konkret karena siswa terlibat dalam kegiatan proyek, diskusi, pengamatan, dan penyelesaian masalah. Hasil ini sejalan dengan meta-analisis Zhang dan Ma yang menunjukkan bahwa Project Based Learning mampu meningkatkan hasil belajar, sikap belajar, dan keterampilan berpikir siswa dibandingkan pembelajaran tradisional (Zhang and Ma 2023).

Peningkatan nilai pada kelas eksperimen menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek memberi ruang bagi siswa untuk membangun konsep melalui pengalaman langsung. Dalam materi laju reaksi, siswa tidak cukup hanya menghafal definisi laju reaksi, faktor konsentrasi, suhu, luas permukaan, dan katalis. Siswa perlu mengamati gejala reaksi, membandingkan hasil percobaan, menganalisis data, dan menarik kesimpulan berdasarkan konsep teori tumbukan. Pembelajaran kimia yang melibatkan aktivitas pengamatan dan pengolahan data dapat membantu siswa memahami hubungan antara fenomena makroskopik dan penjelasan konseptual yang bersifat abstrak (Ye et al. 2024).

Temuan penelitian ini juga menunjukkan bahwa model Project Based Learning sesuai dengan karakteristik materi laju reaksi. Materi ini menuntut siswa memahami hubungan antarvariabel, seperti perubahan konsentrasi, suhu, dan luas permukaan terhadap kecepatan reaksi. Melalui proyek pembelajaran, siswa dapat menguji pengaruh faktor-faktor tersebut dalam kegiatan sederhana sehingga konsep tidak dipahami sebagai informasi verbal semata. Penelitian Jere menunjukkan bahwa pemahaman konseptual pada kinetika reaksi meningkat ketika siswa belajar melalui strategi yang mendorong prediksi, pengamatan, penjelasan, dan representasi konsep secara bermakna (Jere 2024).

Hasil uji hipotesis memperkuat temuan deskriptif tersebut. Uji t menunjukkan nilai t hitung sebesar 5,624, nilai t tabel sebesar 1,998, dan nilai signifikansi sebesar 0,000. Nilai signifikansi yang lebih kecil dari 0,05 menunjukkan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar siswa pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Dengan

demikian, hipotesis alternatif diterima dan hipotesis nol ditolak. Hasil ini membuktikan bahwa penerapan model Project Based Learning berpengaruh signifikan terhadap pemahaman konsep siswa pada materi laju reaksi. Penggunaan uji t dalam desain eksperimen semu relevan untuk membandingkan hasil dua kelompok setelah satu kelompok diberi perlakuan tertentu (Capili and Anastasi 2024).

Temuan ini konsisten dengan penelitian Hanisa, Mustapa, Ratman, Ahmar, dan Mawaddah yang menunjukkan bahwa Project Based Learning berpengaruh terhadap hasil belajar siswa pada materi laju reaksi. Penelitian tersebut menjelaskan bahwa siswa yang belajar melalui proyek lebih aktif dalam memahami konsep karena mereka terlibat dalam proses perencanaan, pelaksanaan, dan pelaporan hasil pembelajaran. Kesamaan hasil ini menunjukkan bahwa Project Based Learning memiliki relevansi kuat dalam pembelajaran laju reaksi karena model ini menekankan keterlibatan siswa dalam kegiatan ilmiah yang terstruktur (Hanisa et al. 2023).

Peningkatan pemahaman siswa juga tampak dari hasil N-Gain. Kelas eksperimen memperoleh rata-rata N-Gain sebesar 0,68 dengan kategori sedang, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata N-Gain sebesar 0,39 dengan kategori rendah. Perbedaan ini menunjukkan bahwa peningkatan pemahaman konsep pada kelas eksperimen lebih baik dibandingkan kelas kontrol. Nilai N-Gain kelas eksperimen yang mendekati kategori tinggi menunjukkan bahwa Project Based Learning mampu mendorong perubahan pemahaman siswa secara cukup kuat. Analisis gain dalam desain pretest-posttest penting karena dapat memperlihatkan seberapa besar peningkatan belajar siswa setelah perlakuan pembelajaran diberikan (Bulus, 2021).

Peningkatan N-Gain pada kelas eksperimen dapat dijelaskan melalui aktivitas belajar siswa selama pembelajaran. Hasil observasi menunjukkan bahwa diskusi kelompok mencapai 88 persen, presentasi proyek mencapai 84 persen, keaktifan bertanya mencapai 80 persen, kerja sama kelompok mencapai 90 persen, dan ketepatan penyelesaian proyek mencapai 86 persen. Data ini menunjukkan bahwa siswa terlibat aktif dalam proses pembelajaran. Aktivitas siswa yang tinggi mendukung pemahaman konsep karena siswa memperoleh kesempatan untuk bertanya, menjelaskan, mendengarkan pendapat teman, menguji data, dan memperbaiki pemahaman mereka selama kegiatan berlangsung. Observasi aktivitas kelas penting karena kualitas interaksi dan keterlibatan siswa berhubungan dengan kualitas proses belajar dan hasil belajar (Maulana et al. 2023).

Indikator kerja sama kelompok memperoleh persentase tertinggi, yaitu 90 persen. Hal ini menunjukkan bahwa Project Based Learning mampu menciptakan proses pembelajaran yang kolaboratif. Dalam pembelajaran laju reaksi, kerja sama kelompok membantu siswa membagi tugas, merancang percobaan, mencatat hasil pengamatan, menyusun laporan, dan mempresentasikan hasil proyek. Kolaborasi juga membantu siswa yang kurang memahami konsep karena mereka dapat memperoleh penjelasan dari teman sebaya. Project Based Learning dapat meningkatkan kemampuan kolaborasi dan komunikasi karena siswa belajar melalui penyelesaian proyek bersama dan proses diskusi yang berorientasi pada produk pembelajaran (Zhang & Ma, 2023).

Indikator keaktifan bertanya memperoleh persentase 80 persen dan berada pada kategori baik. Meskipun persentasenya lebih rendah dibandingkan indikator lain, capaian ini tetap menunjukkan bahwa siswa mulai terlibat dalam proses klarifikasi konsep. Dalam pembelajaran kimia, kegiatan bertanya penting karena siswa sering mengalami kesulitan dalam menghubungkan data percobaan dengan penjelasan teoritis. Pertanyaan siswa dapat menjadi tanda bahwa mereka sedang memproses informasi, menguji pemahaman, dan mencari penjelasan yang lebih tepat. Pembelajaran sains yang melibatkan aktivitas

bertanya, memprediksi, mengamati, dan menyimpulkan dapat memperkuat keterampilan proses sains siswa (Rahmawati & Fadhilah, 2022).

Pembelajaran pada kelas kontrol juga mengalami peningkatan dari pretest ke posttest, yaitu dari rata-rata 55,67 menjadi 73,45. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional tetap dapat membantu siswa memahami sebagian materi. Namun, peningkatan tersebut lebih rendah dibandingkan kelas eksperimen. Hal ini menunjukkan bahwa pembelajaran konvensional belum memberi pengalaman belajar yang sekuat pembelajaran berbasis proyek. Pada materi abstrak seperti laju reaksi, pembelajaran yang hanya berpusat pada guru dapat membatasi kesempatan siswa untuk membangun hubungan antara konsep, data, dan fenomena nyata. Penelitian tentang miskonsepsi laju reaksi menunjukkan bahwa siswa sering mengalami kesalahan pemahaman pada faktor-faktor yang memengaruhi laju reaksi, sehingga pembelajaran perlu memberi pengalaman konkret dan kesempatan refleksi konsep (Rahayu et al. 2024).

Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Project Based Learning dapat mengurangi kesenjangan antara konsep abstrak dan pengalaman nyata siswa. Pada kegiatan proyek, siswa dapat melihat bagaimana perubahan suhu mempercepat reaksi, bagaimana perubahan konsentrasi memengaruhi jumlah tumbukan, bagaimana luas permukaan memperbesar peluang interaksi partikel, dan bagaimana katalis mempercepat reaksi. Kegiatan seperti ini membantu siswa memahami bahwa laju reaksi bukan sekadar rumus, tetapi konsep yang dapat diamati melalui fenomena kimia. Pembelajaran kinetika kimia membutuhkan dukungan representasi dan penalaran yang dapat menghubungkan data eksperimen dengan model konseptual (Ye et al., 2024).

Penerapan Project Based Learning juga memberi dampak positif terhadap suasana belajar. Siswa tidak hanya menerima penjelasan guru, tetapi juga merencanakan kegiatan, bekerja sama, melakukan investigasi, menyusun produk, dan mempresentasikan hasil. Proses ini membuat pembelajaran lebih aktif dan berpusat pada siswa. Suasana belajar seperti ini mendukung teori konstruktivisme karena siswa membangun pemahaman melalui pengalaman dan interaksi sosial. Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa Project Based Learning efektif karena siswa terlibat dalam masalah nyata, kolaborasi, refleksi, dan produksi karya yang berkaitan dengan tujuan pembelajaran (Zhang & Ma, 2023).

Secara empiris, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa Project Based Learning layak digunakan sebagai alternatif model pembelajaran kimia pada materi laju reaksi. Hal ini didukung oleh peningkatan rata-rata posttest, hasil uji t yang signifikan, peningkatan N-Gain, dan tingginya aktivitas siswa selama proses pembelajaran. Temuan ini juga mendukung penelitian Rahmawati dan Fadhilah yang menunjukkan bahwa pendekatan aktif pada materi laju reaksi dapat meningkatkan keterampilan proses sains siswa karena siswa dilibatkan dalam kegiatan pengamatan, pengukuran, dan komunikasi ilmiah (Rahmawati and Fadhilah 2022).

Hasil penelitian ini memiliki implikasi praktis bagi guru kimia. Guru dapat menggunakan Project Based Learning untuk mengajarkan materi yang bersifat abstrak dan membutuhkan pengalaman konkret. Guru juga perlu merancang proyek yang sederhana, aman, sesuai fasilitas sekolah, dan dekat dengan kehidupan siswa. Dalam konteks laju reaksi, proyek dapat berupa percobaan sederhana tentang pengaruh suhu terhadap reaksi, pengaruh luas permukaan terhadap pelarutan, atau pengaruh katalis terhadap perubahan reaksi tertentu. Integrasi Project Based Learning dengan perangkat digital juga dapat membantu guru menyediakan bahan ajar, lembar kerja, video, dan instruksi proyek yang lebih terstruktur (Hinostroza et al., 2025).

Walaupun hasil penelitian menunjukkan pengaruh positif, penerapan Project Based Learning tetap memerlukan pengelolaan yang baik. Guru perlu mengatur waktu, membagi kelompok secara tepat, memastikan setiap siswa memiliki peran, menyediakan

lembar kerja yang jelas, dan melakukan pemantauan selama proyek berlangsung. Tanpa pengelolaan yang baik, siswa dapat mengalami kesulitan dalam memahami tugas proyek atau hanya bergantung pada teman kelompok. Studi tentang Project Based Learning berbasis teknologi menunjukkan bahwa keberhasilan model ini dipengaruhi oleh kualitas perencanaan, desain aktivitas, monitoring guru, dan dukungan sumber belajar (Hinostroza et al., 2025).

Penelitian ini juga memiliki keterbatasan. Penelitian dilakukan pada satu sekolah dengan jumlah sampel terbatas, yaitu 32 siswa pada kelas eksperimen dan 31 siswa pada kelas kontrol. Selain itu, penelitian hanya berfokus pada materi laju reaksi sehingga hasilnya belum dapat digeneralisasikan pada seluruh materi kimia. Meskipun demikian, data yang diperoleh sudah memberi gambaran empiris bahwa Project Based Learning memiliki potensi kuat untuk meningkatkan pemahaman konsep siswa. Pelaporan keterbatasan penelitian penting dilakukan agar pembaca dapat menilai ruang lingkup temuan dan kemungkinan penerapan hasil penelitian pada konteks yang lebih luas (Upsher et al., 2025).

Berdasarkan seluruh hasil penelitian, dapat disimpulkan bahwa penerapan Project Based Learning memberikan pengaruh signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep siswa kelas XI SMAN 1 Teluk Bintan pada materi laju reaksi. Peningkatan ini terjadi karena siswa memperoleh pengalaman belajar yang aktif, kolaboratif, dan kontekstual. Model ini membuat siswa lebih mudah memahami konsep yang abstrak melalui proyek, pengamatan, diskusi, dan presentasi hasil. Dengan demikian, Project Based Learning dapat menjadi strategi pembelajaran yang relevan untuk meningkatkan kualitas pembelajaran kimia, khususnya pada materi laju reaksi.

Conclusion

Berdasarkan hasil penelitian dan pembahasan, dapat disimpulkan bahwa penerapan model Project Based Learning mampu meningkatkan pemahaman konsep siswa kelas XI SMAN 1 Teluk Bintan pada materi laju reaksi. Hal ini terlihat dari peningkatan rata-rata nilai kelas eksperimen dari 56,81 pada pretest menjadi 84,37 pada posttest. Peningkatan tersebut lebih tinggi dibandingkan kelas kontrol yang memperoleh rata-rata pretest 55,67 dan posttest 73,45.

Model Project Based Learning memberikan pengaruh signifikan terhadap pemahaman konsep siswa. Hasil uji t menunjukkan nilai signifikansi sebesar 0,000 yang lebih kecil dari 0,05. Artinya, terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil belajar siswa yang menggunakan model Project Based Learning dan siswa yang menggunakan pembelajaran konvensional.

Peningkatan pemahaman konsep siswa juga diperkuat oleh hasil N-Gain. Kelas eksperimen memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,68 dengan kategori sedang, sedangkan kelas kontrol memperoleh nilai N-Gain sebesar 0,39 dengan kategori rendah. Temuan ini menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis proyek lebih efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi laju reaksi dibandingkan pembelajaran konvensional.

Penerapan Project Based Learning membuat siswa lebih aktif dalam proses pembelajaran. Siswa terlibat dalam diskusi kelompok, kerja sama, eksperimen sederhana, presentasi proyek, dan penyelesaian tugas secara kolaboratif. Aktivitas siswa yang tinggi selama pembelajaran membantu mereka memahami konsep laju reaksi secara lebih konkret, terutama pada konsep teori tumbukan, pengaruh konsentrasi, suhu, luas permukaan, dan katalis terhadap kecepatan reaksi.

Dengan demikian, model Project Based Learning dapat digunakan sebagai alternatif model pembelajaran kimia yang efektif, aktif, dan kontekstual. Model ini tidak

hanya meningkatkan hasil belajar, tetapi juga membantu siswa membangun pemahaman konsep melalui pengalaman langsung. Oleh karena itu, Project Based Learning layak diterapkan pada materi laju reaksi dan dapat dikembangkan pada materi kimia lain yang memiliki karakteristik abstrak.

References

- Bulus, Mustafa. 2021. "Sample Size Determination and Optimal Design of Randomized/Non-Equivalent Pretest-Posttest Control-Group Designs." *Adiyaman University Journal of Educational Sciences* 11 (1): 48-69. <https://doi.org/10.17984/adyuebd.941434>.
- Capili, Bernadette, and J K Anastasi. 2024. "An Introduction to Types of Quasi-Experimental Designs." *AJN, American Journal of Nursing* 124 (11): 50-52. <https://doi.org/10.1097/01.NAJ.0001081740.74815.20>.
- Hanisa, S, K Mustapa, R Ratman, D S Ahmar, and H Mawaddah. 2023. "The Influence of Project-Based Learning Model on Students' Learning Outcomes in Reaction Rate Material." *Journal of Disruptive Learning Innovation* 4 (2): 107-15. <https://doi.org/10.17977/um072v4i22023p107-115>.
- Harahap, I P P, and D Novita. 2021. "Identify Misconception on Reaction Rate Concept Using Four-Tier Multiple Choice (4TMC) Diagnostic Test Instrument." *Journal of Chemistry Education Research* 5 (1): 6-11. <https://doi.org/10.26740/jcer.v5n1.p6-11>.
- Jere, S. 2024. "Enhancing Learners' Conceptual Understanding of Reaction Kinetics Using Computer Simulations Supported by the Predict-Observe-Explain Strategy." *Research in Science Education* 54: 1249-71. <https://doi.org/10.1007/s11165-024-10182-5>.
- Maulana, R, A Kington, J Ko, X Feng, M Helms-Lorenz, B Looker, K Hibbert-Mayne, and K Blackmore. 2023. "Observing Secondary School Teachers' Effective Teaching Behavior in the Netherlands, England, and the United States Using the ICALT Observation Instrument." *Frontiers in Education* 8: 1068938. <https://doi.org/10.3389/feduc.2023.1068938>.
- Nurdiana, L, E Winaryati, E T W Maharani, Z H Ikhsan, R A A Rauf, and A Salaffudin. 2024. "Implementation of STEM-Integrated PjBL Based on Lesson Study: Improving Students' Critical Thinking Skills." *Journal of Educational Chemistry* 6 (2): 71-84. <https://doi.org/10.21580/jec.2024.6.2.22640>.
- Nurhayati, Dina Liana, Mukhammad. 2025. "The Relationship between Communication System , Work Motivation , and Reward Management with Human Resource Development in Madrasah" 09 (02): 591-605. <https://doi.org/http://doi.org/10.33650/al-tanzim.v>.
- Nurhayati, N, M Latif, and K Anwar. 2024. "The Influence of Organizational Culture, Career Expectations, and Leadership Beliefs On Achievement Motivation In Integrated Islamic Primary Schools Riau Islands" *Dinasti International Journal of ...* 5 (5): 1150-68. <https://doi.org/10.31933/dijemss.v5i5>.

- Rahayu, I, Wiji, T Widhiyanti, and S Mulyani. 2024. "Analysis of Misconceptions on the Factors That Affect the Reaction Rate." *KnE Social Sciences* 9 (13): 140-50. <https://doi.org/10.18502/kss.v9i13.15914>.
- Rahmawati, D F, and R Fadhilah. 2022. "The Effectiveness of the STEM Approach on Science Process Skills in Studying Reaction Rate." *European Journal of Mathematics and Science Education* 3 (2): 135-43. <https://doi.org/10.12973/ejmse.3.2.135>.
- Sholeh, M I, P J Laksono, R Rahmawati, and F Amelia. 2025. "Analyzing Pre-Service Chemistry Teachers' Understanding and Misconceptions of Reaction Rates Using a Four-Tier Diagnostic Instrument." *Orbital: Jurnal Pendidikan Kimia* 9 (1): 14-28. <https://doi.org/10.19109/ojpk.v9i1.27811>.
- Siregar, N, and D Syafriani. 2024. "Development of E-Modules Based on Project Based Learning (PjBL) to Increase Student's Interest in Learning and Learning Outcomes on Reaction Rate Material." *Jurnal Teknologi Pendidikan: Jurnal Penelitian Dan Pengembangan Pembelajaran* 9 (2). <https://doi.org/10.33394/jtp.v9i2.11156>.
- Upsher, R, E Dommett, S Carlisle, S Conner, G Codina, A Nobili, and N Byrom. 2025. "Improving Reporting Standards in Quantitative Educational Intervention Research: Introducing the CLOSER and CIDER Checklists." *Journal of New Approaches in Educational Research* 14 (1). <https://doi.org/10.1007/s44322-024-00022-9>.
- Ye, S, M Elmgren, M Jacobsson, and F M Ho. 2024. "How Much Is Just Maths? Investigating Problem Solving in Chemical Kinetics at the Interface of Chemistry and Mathematics Through the Development of an Extended Mathematical Modelling Cycle." *Chemistry Education Research and Practice* 25: 1-16. <https://doi.org/10.1039/D3RP00168G>.
- Zhang, L, and Y Ma. 2023. "A Study of the Impact of Project-Based Learning on Student Learning Effects: A Meta-Analysis Study." *Frontiers in Psychology* 14: 1202728. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2023.1202728>.