

## INTEGRASI *GENERATIVE AI* DAN *DIGITAL CURATION* DALAM PEMBELAJARAN STOIKIOMETRI UNTUK MENINGKATKAN BERPIKIR KRITIS DAN GOTONG ROYONG SISWA SMA

Abdul Gani

STIT Palapa Nusantara Lombok NTB

abganaja@gmail.com

### Abstract

Stoichiometry is a fundamental topic in high school chemistry education that often leads to misconceptions among students. This study aims to examine the effectiveness of integrating Generative Artificial Intelligence (AI) and digital curation in enhancing students' understanding of stoichiometric concepts, while also fostering critical thinking skills and the values of *gotong royong*. A quasi-experimental method with a pretest–posttest control group design was employed, involving 64 Grade XI science students at MA Hidayatussibyan NW Sengkerang. The results indicate that the experimental group experienced a significant improvement in stoichiometric understanding, with an N-Gain score of 0.84, categorized as high. Students' critical thinking skills also showed consistent improvement across multiple assessment tools, including CCTST, CTMS, and CTS. Moreover, collaborative dimensions such as teamwork, collectivism, and the spirit of *gotong royong* demonstrated significant positive development. Qualitative data further support these findings, highlighting increased active participation in discussions, more equitable role distribution, and stronger peer support. These results suggest that generative AI can reduce misconceptions through adaptive visualizations, while digital curation enhances critical evaluation and culturally grounded collaboration. Overall, this learning model presents an innovative strategy well-suited to address the challenges of 21st-century chemistry education.

**Keywords:** Stoichiometry; Generative Artificial Intelligence; Digital Curation; Critical Thinking; *Gotong Royong*

**Abstrak:** Stoikiometri merupakan salah satu materi fundamental dalam pembelajaran kimia SMA yang kerap menimbulkan miskonsepsi di kalangan siswa. Penelitian ini bertujuan untuk menelaah efektivitas integrasi *Artificial Intelligence (AI) Generatif* dan kurasi digital dalam meningkatkan

pemahaman siswa terhadap konsep stoikiometri, sekaligus mengembangkan keterampilan berpikir kritis dan nilai-nilai gotong royong. Metode yang digunakan adalah kuasi-eksperimen dengan desain *pretest–posttest control group* yang melibatkan 64 siswa kelas XI IPA di MA Hidayatussibyan NW Sengkerang. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan signifikan dalam pemahaman stoikiometri, dengan nilai N-Gain sebesar 0,84 yang termasuk dalam kategori tinggi. Kemampuan berpikir kritis siswa juga meningkat secara konsisten berdasarkan berbagai instrumen pengukuran, yaitu CCTST, CTMS, dan CTS. Selain itu, dimensi kolaboratif seperti kerja sama tim, kolektivisme, dan semangat gotong royong menunjukkan perkembangan positif yang signifikan. Data kualitatif mendukung temuan ini, dengan indikasi peningkatan partisipasi aktif dalam diskusi, pembagian peran yang lebih merata, dan dukungan antar siswa yang lebih terasa. Temuan ini menunjukkan bahwa AI generatif mampu mengurangi miskonsepsi melalui visualisasi adaptif, sementara kurasi digital memperkuat kemampuan evaluasi kritis dan kolaborasi berbasis budaya. Secara keseluruhan, model pembelajaran ini menawarkan strategi inovatif yang relevan untuk menjawab tantangan pendidikan kimia abad ke-21.

**Kata Kunci:** Stoikiometri; Kecerdasan Buatan Generatif; Kurasi Digital; Berpikir Kritis; Gotong Royong

## PENDAHULUAN

Stoikiometri merupakan salah satu topik paling mendasar sekaligus paling menantang secara konseptual dalam pembelajaran kimia di tingkat SMA. Topik ini berfungsi sebagai dasar pemahaman terhadap konsep kimia lanjutan seperti kesetimbangan, termodinamika, dan kinetika reaksi. Namun, penelitian menunjukkan bahwa siswa sering mengalami miskonsepsi yang menghambat pemahaman dan kemampuan mereka dalam menerapkan konsep stoikiometri. Novita et al., (2024) melaporkan bahwa banyak siswa salah menafsirkan koefisien dalam persamaan reaksi setara hanya sebagai jumlah molekul, bukan sebagai rasio mol. Kesalahpahaman ini menimbulkan kekeliruan sistematis dalam perhitungan stoikiometri, khususnya ketika melakukan konversi antara mol, massa, dan volume. Selain itu, siswa kerap mengabaikan asas kekekalan massa, dengan asumsi keliru bahwa massa atau volume pereaksi identik secara langsung dengan massa atau volume produk, yang merupakan kesalahan mendasar dalam memahami hubungan stoikiometri (“Profile of Needs Analysis of Five-Tier Diagnostic Instrument Development for High School Chemistry Courses,” 2024). Kekeliruan ini tidak hanya menyulitkan penguasaan stoikiometri, tetapi juga memperburuk kesulitan dalam praktik laboratorium seperti titrasi atau perhitungan hasil reaksi (Novita et al., 2024).

Miskonsepsi dalam stoikiometri juga terjadi ketika siswa berusaha menghubungkan tingkat molekuler dengan fenomena makroskopis. Anelfia & Mufit, (2023) mengungkapkan bahwa banyak siswa kesulitan mengintegrasikan representasi partikel yang bersifat abstrak dengan fenomena kimia yang dapat diamati, sehingga menimbulkan kebingungan lebih lanjut dalam menghubungkan teori dengan praktik. Kesulitan ini semakin diperumit oleh perbedaan latar belakang pendidikan siswa, dan jika tidak segera diatasi, berpotensi berlanjut hingga pembahasan topik yang lebih kompleks seperti kesetimbangan kimia dan kinetika (Kim & Jin, 2024; Maharani, 2023). Secara keseluruhan, miskonsepsi stoikiometri tidak hanya meluas, tetapi juga berbahaya bagi keberhasilan jangka panjang siswa dalam kimia, sehingga diperlukan strategi pedagogis inovatif yang dapat menargetkan kejelasan konsep sekaligus keterampilan aplikatif.

Kemunculan kecerdasan buatan generatif (generative AI) memberikan peluang baru untuk mengatasi masalah tersebut. Generative AI dianggap sebagai instrumen yang mampu mentransformasi pendidikan STEM berkat kemampuannya menghadirkan pembelajaran yang dipersonalisasi, memberikan umpan balik yang adaptif, serta menyajikan visualisasi yang interaktif (Triplett, 2023; Lee et al., 2023). Platform berbasis AI mampu menyesuaikan penjelasan dan latihan pemecahan masalah dengan kebutuhan masing-masing siswa, sehingga dapat mengatasi miskonsepsi secara langsung. Teknologi seperti ChatGPT bahkan dapat menghasilkan representasi dinamis dari konsep kimia abstrak, termasuk model tiga dimensi molekul atau simulasi mekanisme reaksi, sehingga membuat fenomena kompleks lebih nyata (Nixon et al., 2024; Chang et al., 2023). Fitur ini tidak hanya membantu pemahaman konseptual, tetapi juga selaras dengan pembelajaran berbasis inkuiri yang mendorong siswa untuk berpikir kritis dan mengeksplorasi pertanyaan ilmiah (Chang et al., 2023).

Selain meningkatkan pembelajaran individual, generative AI juga mendorong keterlibatan gotong royong. Studi menunjukkan bahwa platform AI memungkinkan siswa berbagi sumber daya, menyusun solusi bersama, serta memberikan umpan balik sejawat, sehingga menumbuhkan keterampilan kerja tim (Yao & Chung, 2024; Altınay et al., 2024). Gotong royong ini sangat penting dalam pembelajaran kimia, di mana pemecahan masalah yang kompleks sering membutuhkan perspektif beragam. Lebih jauh, analitik berbasis AI memberi guru wawasan mengenai pola belajar siswa, memungkinkan intervensi cepat dan strategi pengajaran yang lebih terarah (Atoyán et al., 2025; Mwakalinga, 2024). Dengan

demikian, integrasi AI dalam pendidikan kimia berpotensi tidak hanya mengatasi miskonsepsi, tetapi juga mengembangkan keterampilan berpikir tingkat tinggi.

Di samping pemanfaatan AI, praktik kurasi digital turut berkontribusi signifikan dalam mengembangkan kemampuan berpikir kritis dan kerja kolaboratif. Melalui proses memilih, mengorganisasi, dan menyajikan konten digital, siswa dituntut untuk mengevaluasi validitas informasi, mensintesis beragam perspektif, dan membangun narasi yang koheren (Anas & Salim, 2023; Hasanah et al., 2023). Aktivitas ini mendorong penalaran analitis dan reflektif, sekaligus memperkuat semangat gotong royong karena sering dilakukan dalam kelompok yang menuntut negosiasi ide (Duin & Pedersen, 2024). Digital curation juga selaras dengan prinsip pembelajaran sosial, di mana karya kurasi dibagikan, dikritisi, dan disempurnakan bersama, menciptakan peluang untuk metakognisi dan pengembangan keterampilan komunikasi (Hasanah et al., 2023). Guru berperan penting dalam memfasilitasi aktivitas ini, beralih dari sekadar penyampai informasi menjadi fasilitator pembelajaran aktif berbasis inkuiri (Fajaria et al., 2023; Ganovia et al., 2023).

Dalam konteks Indonesia, pengintegrasian nilai budaya dalam pembelajaran kolaboratif dapat semakin memperkaya pembelajaran kimia. Prinsip gotong royong atau kerja sama saling membantu, yang berakar kuat dalam budaya Indonesia, menjadi kerangka alami untuk memperkuat kolaborasi di kelas. Melalui proyek kelompok, eksperimen kolaboratif, atau kurasi digital bersama, siswa didorong untuk berkontribusi sesuai kemampuan masing-masing demi tujuan bersama. Pedagogi responsif budaya terbukti dapat meningkatkan keterlibatan dan pemahaman siswa dengan memvalidasi identitas kultural mereka serta menghubungkan sains dengan pengalaman hidup sehari-hari (Rüschenpöhler et al., 2024; Liang et al., 2023).

Penelitian ini dibangun di atas wawasan pedagogis tersebut dengan mengeksplorasi bagaimana integrasi generative AI dan digital curation dapat meningkatkan pemahaman siswa SMA tentang stoikiometri, sekaligus menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan semangat gotong royong. Melalui pemanfaatan AI sebagai mitra belajar yang adaptif dan pengintegrasian kurasi digital sebagai praktik kolaboratif, strategi ini diharapkan mampu mengatasi miskonsepsi, meningkatkan keterampilan berpikir tingkat lanjut, serta mendorong terciptanya gotong royong yang berlandaskan nilai budaya lokal. Studi ini bertujuan memberikan kontribusi pada wacana teoritis tentang AI dalam pendidikan STEM

sekaligus mengembangkan model pedagogis yang relevan secara kultural untuk meningkatkan hasil belajar kimia.

## METODE

### Desain dan Pendekatan Penelitian

Penelitian ini menggunakan pendekatan kuasi-eksperimen dengan desain *pretest-posttest control group*. Desain ini dipilih karena memberikan peluang untuk mengevaluasi dampak intervensi berupa integrasi Generative AI dan kurasi digital terhadap pemahaman stoikiometri, keterampilan berpikir kritis, serta nilai *gotong royong* siswa MA Hidayatussibyan NW. Sengkerang. Kelompok eksperimen mendapatkan pembelajaran inovatif berbasis AI dan kurasi digital, sedangkan kelompok kontrol mengikuti pembelajaran konvensional berbasis ceramah dan latihan soal.

Pendekatan kuasi-eksperimen ini relevan dengan penelitian pendidikan sains yang menekankan evaluasi kemampuan berpikir kritis dan kolaborasi melalui intervensi pembelajaran inovatif (Marlina et al., 2023). Dengan demikian, desain ini memungkinkan peneliti tidak hanya menilai peningkatan hasil belajar secara kuantitatif, tetapi juga mengeksplorasi dinamika kolaboratif siswa yang berkaitan erat dengan nilai budaya lokal seperti *gotong royong* (Liu et al., 2024).

### Subjek, Lokasi, dan Waktu Penelitian

Penelitian dilakukan di MA Hidayatussibyan NW. Sengkerang Kecamatan Praya Timur dengan partisipan 64 siswa kelas XI IPA yang terbagi ke dalam dua kelas paralel. Kelas eksperimen terdiri dari 32 siswa yang menerima intervensi berbasis Generative AI dan kurasi digital, sedangkan kelas kontrol terdiri dari 32 siswa yang menerima pembelajaran tradisional.

Pemilihan sampel dilakukan dengan teknik *purposive sampling*, mempertimbangkan kesetaraan kemampuan akademik antar kelas, serta kesiapan sekolah dalam menyediakan dukungan digital sederhana seperti akses perangkat komputer dan internet.

Lokasi penelitian dipilih karena sekolah tersebut telah melaksanakan Kurikulum Merdeka yang memberi ruang lebih besar bagi pendekatan pembelajaran berbasis proyek, kolaboratif, dan kontekstual. Penelitian dilaksanakan selama dua minggu (6 pertemuan, masing-masing 90 menit) pada tanggal 4 sampai dengan 14 November 2024 semester ganjil tahun pelajaran 2024/2025.

Pertimbangan konteks budaya sangat penting dalam penelitian ini. Nilai *gotong royong* sebagai praktik sosial khas Indonesia diintegrasikan ke dalam kegiatan kolaboratif, baik melalui eksperimen kelompok maupun aktivitas kurasi digital. Hal ini sesuai dengan temuan Liu et al. (2024) bahwa norma budaya kolektivisme dan mutual *assistance* berperan penting dalam membentuk sikap *gotong royong* siswa.

### **Prosedur Penelitian**

Langkah penelitian dibagi ke dalam tiga fase utama, yaitu tahap pendahuluan, tahap intervensi, dan tahap penutup.

#### **1. Tahap Awal**

- a. Pemberian *pretest* untuk mengukur pemahaman awal siswa terkait stoikiometri menggunakan instrumen diagnostik lima tingkat, keterampilan berpikir kritis menggunakan CCTST (*California Critical Thinking Skills Test*), serta sikap kolaboratif melalui angket gotong royong.
- b. Observasi awal dilakukan untuk memetakan dinamika kolaborasi siswa sebelum intervensi.

#### **2. Tahap Intervensi**

a. Kelompok eksperimen:

- 1) Menggunakan Generative AI (ChatGPT) untuk membantu eksplorasi konsep abstrak stoikiometri, penyelesaian soal berbasis rasio mol, dan visualisasi tiga dimensi struktur molekul.
- 2) Melakukan aktivitas kurasi digital kolaboratif, di mana siswa bekerja dalam kelompok kecil untuk mencari, mengevaluasi, dan menyajikan konten digital terkait stoikiometri. Aktivitas ini bertujuan mengembangkan keterampilan berpikir kritis sekaligus menumbuhkan nilai gotong royong (Anas & Salim, 2023; Duin & Pedersen, 2024).
- 3) Guru berperan sebagai fasilitator, memandu jalannya diskusi, serta memberikan *scaffolding* pada titik-titik miskonsepsi kritis.

b. Kelompok kontrol:

Berpartisipasi dalam pembelajaran tradisional yang berfokus pada ceramah dan latihan soal. Diskusi berlangsung secara terbatas, sementara proses belajar tidak menggunakan teknologi AI maupun aktivitas kurasi digital.

### 3. Tahap Akhir

- 1) Pemberian *posttest* dengan instrumen yang sama untuk mengukur peningkatan hasil belajar, berpikir kritis.
- 2) Diskusi reflektif dilakukan untuk menggali pengalaman siswa, terutama terkait penerapan nilai gotong royong dalam pembelajaran.



**Gambar 1.** *Flowchart* Prosedur Penelitian

Rangkuman prosedur penelitian *Flowchart* dapat di sajikan pada gambar 1 yang terdiri dari tiga tahap yaitu tahap awal, tahap intervensi dan tahap akhir

### Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian dikembangkan untuk mengukur tiga variabel utama:

#### a. Keterampilan Berpikir Kritis

- 1) CCTST (California Critical Thinking Skills Test) untuk mengukur keterampilan analisis, evaluasi, inferensi (Thapa et al., 2025).
- 2) CTMS (Critical Thinking Motivational Scale) untuk mengevaluasi motivasi siswa dalam menggunakan keterampilan berpikir kritis (Fuadiyah et al., 2023).
- 3) CTS (Critical Thinking Scale) untuk menilai aspek berpikir kritis dalam konteks pembelajaran kimia (Thapa et al., 2025).

b. Nilai Gotong Royong

- 1) Angket gotong royong berdasarkan dimensi *teamwork*, *collectivism*, dan *mutual assistance*.

### Teknik Analisis Data

#### 1. Analisis Kuantitatif

Analisis kuantitatif dilakukan untuk mengukur peningkatan hasil belajar stoikiometri, keterampilan berpikir kritis.

- a. Uji t berpasangan (*Paired Sample t-test*) digunakan untuk menilai perbedaan skor *pretest* dan *posttest* dalam kelompok yang sama. Rumus dasar (Thapa et al., 2025)

$$t = \frac{\bar{d}}{s_d / \sqrt{n}}$$

Dengan:

$d$  = rata-rata selisih skor

$S_d$  = standar deviasi selisih

$n$  = Jumlah sampel

- b. Uji t independen (*Independent Sample t-test*) digunakan untuk membandingkan perbedaan rata-rata antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Rumus (Marlina et al., 2023)

$$t = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{s_1^2}{n_1} + \frac{s_2^2}{n_2}}}$$

Dengan

$X_1, X_2$  = rata-rata kelompok 1 dan 2

$S_1^2, S_2^2$  = Varians masing-masing kelompok

$n_1, n_2$  = ukuran sampel

- c. Perhitungan N-Gain untuk mengetahui efektifitas intervensi dalam meningkatkan hasil belajar digunakan rumus.

$$N-Gain = \frac{(Posttest - Pretest)}{(Skor Maksimal - Pretest)}$$

Kriteria interpretasi: tinggi ( $\geq 0.70$ ), sedang (0.30–0.69), rendah ( $< 0.30$ ).

## 2. Analisis Kualitatif

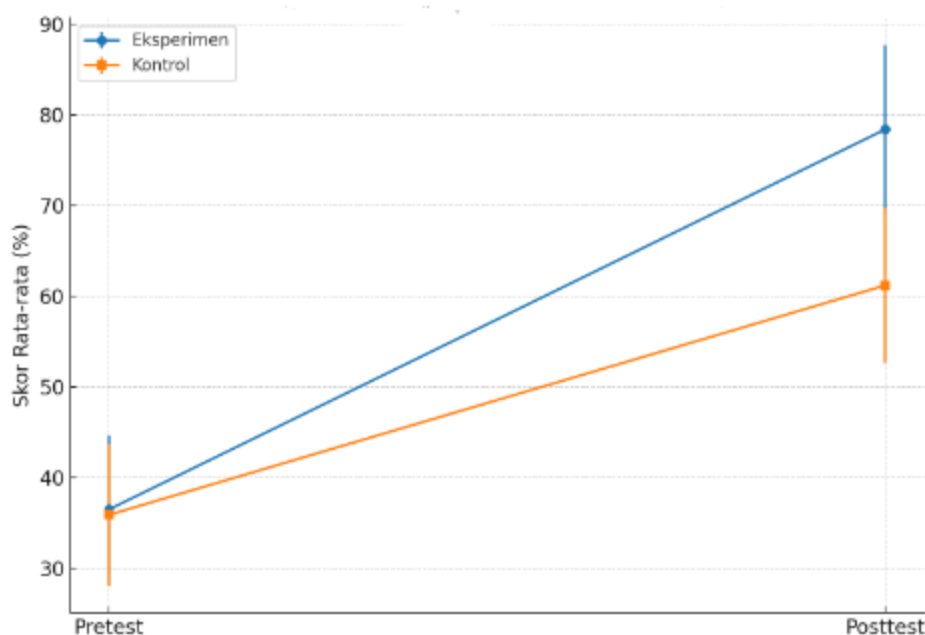
- a. Data observasi dianalisis secara tematik untuk mengidentifikasi pola gotong royong siswa. Analisis utama diarahkan pada keterlibatan aktif, interaksi komunikasi, serta peran masing-masing individu dalam menyelesaikan tugas secara berkelompok.
- b. Data angket dianalisis secara deskriptif (frekuensi, persentase, rerata skor) untuk memetakan persepsi siswa terkait pengalaman kolaboratif yang dipengaruhi oleh nilai *gotong royong*.

## HASIL

Hasil penelitian ini disajikan dalam lima bagian utama: (1) perbandingan hasil pretest dan posttest pemahaman stoikiometri, (2) efektivitas intervensi melalui analisis N-Gain, (3) peningkatan keterampilan berpikir kritis, (4) pengembangan nilai gotong royong, serta (5) temuan kualitatif dari observasi kelas dan refleksi siswa.

### I. Perbandingan Hasil Pretest dan Posttest Pemahaman Stoikiometri

Pengukuran pemahaman stoikiometri sebelum dan sesudah intervensi menunjukkan peningkatan signifikan pada kedua kelompok, meskipun besarnya peningkatan berbeda secara signifikan.



**Gambar 2.** Perbandingan Skor Pretest Dan Posttest Kelas Eksprimen Dan Kontrol

Grafik garis pada gambar 2 menunjukkan perbandingan skor rata-rata pretest dan posttest antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Pada tahap awal, kedua kelompok berada pada tingkat pemahaman yang relatif seimbang, dengan rata-rata skor 36,5% pada kelompok eksperimen dan 35,9% pada kelompok kontrol. Setelah intervensi, terlihat peningkatan skor yang signifikan pada kedua kelompok. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan dari 36,5% menjadi 78,4%, sedangkan kelompok kontrol meningkat dari 35,9% menjadi 61,2%. Meskipun kedua kelompok mengalami kenaikan, kemajuan pada kelompok eksperimen terlihat lebih cepat dibandingkan dengan kelompok kontrol.

Error bar yang menggambarkan standar deviasi menunjukkan variasi skor yang masih dalam batas wajar, yaitu 8,2–9,3 untuk kelompok eksperimen dan 7,8–8,6 untuk kelompok kontrol. Secara keseluruhan, pola yang ditampilkan pada grafik ini menegaskan bahwa penerapan intervensi berbasis Generative AI dan kurasi digital kolaboratif memberikan dampak yang lebih besar terhadap peningkatan pemahaman siswa dibandingkan dengan pembelajaran konvensional.

### Efektivitas Intervensi melalui Analisis N-Gain

Untuk menilai efektivitas intervensi, digunakan analisis **N-Gain**. Setelah dilakukan penelitian dan analisis hasil maka diperoleh N-Gain Mean Kelompok Eksperimen sebesar 0,84 (kategori tinggi), sedangkan kelompok kontrol memperoleh N-Gain Mean sebesar 0,44 (Kategori Sedang), dengan perolehan tersebut mengindikasikan bahwa peningkatan pemahaman stoikiometri pada kelompok eksperimen tergolong dalam kategori tinggi, sementara pada kelompok kontrol hanya berada pada kategori sedang.

### Keterampilan Berpikir Kritis

Pengukuran keterampilan berpikir kritis dilakukan dengan tiga instrumen: CCTST, CTMS, dan CTS.

**Tabel 1.** Skor CCTST, CTMS, dan CTS Sebelum dan Sesudah Intervensi

Instrumen	Kelompok	Pretest Mean	SD	Posttest Mean	SD	t (paired)	p-value
CCTST	Eksperimen	41.3	7.5	72.8	8.2	18.92	<0.001***
	Kontrol	40.7	7.8	58.2	9.1	12.41	<0.001***
CTMS	Eksperimen	3.11	0.46	4.23	0.41	14.78	<0.001***
	Kontrol	3.09	0.48	3.61	0.44	9.56	<0.001***
CTS	Eksperimen	42.7	6.9	81.2	8.3	20.37	<0.001***
	Kontrol	41.9	7.3	65.4	8.7	11.02	<0.001***

**Keterangan:** CTMS dalam skala Likert (1–5); CCTST dan CTS dalam skala 100

Tabel 1 menunjukkan perbandingan skor pretest dan posttest pada instrumen CCTST, CTMS, dan CTS untuk kelompok eksperimen dan kontrol. Analisis *paired t-test* menunjukkan bahwa kedua kelompok mengalami peningkatan yang signifikan ( $p < 0,001$ ). Kelompok eksperimen konsisten memperoleh skor posttest yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol pada semua instrumen, dengan selisih peningkatan yang lebih besar. Pada CCTST, skor meningkat dari 41,3 menjadi 72,8 ( $t = 18,92$ ); pada CTMS, dari 3,11 menjadi 4,23 ( $t = 14,78$ ); dan pada CTS, dari 42,7 menjadi 81,2 ( $t = 20,37$ ). Sementara itu, kelompok kontrol juga mengalami peningkatan, namun lebih rendah: 40,7 ke 58,2 pada CCTST ( $t = 12,41$ ), 3,09 ke 3,61 pada CTMS ( $t = 9,56$ ), serta 41,9 ke 65,4 pada CTS ( $t = 11,02$ ).

Secara keseluruhan, temuan ini menegaskan bahwa intervensi yang diberikan pada kelompok eksperimen lebih efektif dalam meningkatkan keterampilan berpikir kritis dibandingkan pembelajaran konvensional.

### Nilai Gotong Royong

Hasil pengukuran nilai gotong royong ditunjukkan dalam **Tabel 2** berikut:

**Tabel 2.** Skor Angket Gotong Royong Sebelum dan Sesudah Intervensi

Dimensi	Kelompok	Pretest Mean	SD	Posttest Mean	SD	t (paired)	p-value
<i>Teamwork</i>	Eksperimen	3.18	0.52	4.29	0.41	16.11	<0.001***
	Kontrol	3.17	0.49	3.65	0.47	8.24	<0.001***
<i>Collectivism</i>	Eksperimen	3.24	0.55	4.31	0.39	15.92	<0.001***
	Kontrol	3.20	0.50	3.58	0.46	7.89	<0.001***
<i>Mutual Assistance</i>	Eksperimen	3.21	0.51	4.22	0.43	14.27	<0.001***
	Kontrol	3.16	0.48	3.61	0.45	8.02	<0.001***

**Tabel 2** menggambarkan bahwa Perbandingan skor pretest dan posttest pada dimensi *Teamwork*, *Collectivism*, dan *Mutual Assistance*. Kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang lebih besar dan terbukti signifikan ( $p < 0,001$ ) dibandingkan dengan kelompok kontrol.

### Analisis Kualitatif Observasi dan Refleksi Siswa

Hasil analisis kualitatif dari observasi kelas serta refleksi siswa memberikan penguatan tambahan terhadap data kuantitatif yang diperoleh.

1. **Partisipasi Diskusi.** Siswa kelompok eksperimen lebih aktif dalam diskusi, saling memberikan argumen, serta menegosiasikan solusi terhadap soal stoikiometri.

2. **Distribusi Peran.** Peran siswa terbagi merata; beberapa fokus pada pencarian sumber digital, yang lain pada perhitungan, dan sebagian menyusun laporan kelompok.
3. **Mutual Assistance.** Siswa yang lebih mahir membantu temannya yang mengalami kesulitan dalam perhitungan mol, menunjukkan praktik *gotong royong* nyata di kelas.
4. **Refleksi Siswa.** Mayoritas siswa melaporkan bahwa penggunaan AI membantu mengatasi miskonsepsi tentang koefisien reaksi dan hukum kekekalan massa, sementara kurasi digital mendorong mereka untuk lebih bertanggung jawab terhadap proses belajar kelompok.

## PEMBAHASAN

Temuan penelitian ini mengungkap bahwa penerapan generative AI dan kurasi digital dalam pembelajaran stoikiometri berkontribusi secara signifikan terhadap peningkatan pemahaman konsep, kemampuan berpikir kritis, serta sikap gotong royong siswa. Temuan ini sejalan dengan kerangka teori yang menekankan potensi teknologi digital dalam mengatasi miskonsepsi dan memperkuat kompetensi sosial-kognitif siswa (Triplett, 2023; Lee et al., 2023). Selanjutnya pada bagian ini peneliti akan menguraikan interpretasi temuan berdasarkan data kuantitatif maupun kualitatif, kemudian menghubungkannya dengan literatur sebelumnya, serta membahas implikasi pedagogis dan keterbatasan studi.

### Pemahaman Stoikiometri

Analisis perbandingan skor pretest–posttest mengindikasikan bahwa kelompok eksperimen mengalami peningkatan yang jauh lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol. Skor rata-rata meningkat dari 36,5% menjadi 78,4%, dengan N-Gain sebesar 0,84 (kategori tinggi). Sebaliknya, kelompok kontrol hanya mengalami peningkatan dari 35,9% menjadi 61,2% dengan N-Gain 0,44 (kategori sedang). Data ini mengonfirmasi bahwa penggunaan AI dan kurasi digital efektif mengatasi miskonsepsi stoikiometri yang sebelumnya banyak dialami siswa (Novita et al., 2024).

Secara khusus, generative AI berperan dalam memberikan representasi visual dan penjelasan adaptif terkait konsep rasio mol dan asas kekekalan massa. Temuan kualitatif menunjukkan bahwa siswa mampu memahami kembali fungsi koefisien reaksi bukan hanya sebagai jumlah molekul, melainkan sebagai rasio kuantitatif yang menghubungkan pereaksi

dan produk. Hasil ini sejalan dengan Chang et al., (2023) dan Nixon et al., (2024) yang memperkuat bukti bahwa visualisasi dengan dukungan AI mampu menjembatani keterkaitan antara level makroskopis dan mikroskopis dalam pembelajaran kimia.

Meski demikian, temuan ini juga mengungkap adanya kendala teknis sebagaimana diingatkan oleh Belda-Medina & Goddard, (2024) Beberapa siswa mengalami kesulitan awal menggunakan platform AI akibat keterbatasan perangkat dan koneksi internet. Temuan ini mendukung pernyataan Yuk Chan & Hu, (2023) bahwa keterbatasan infrastruktur dapat menghambat penerapan AI dalam pembelajaran STEM.

### **Keterampilan Berpikir Kritis**

Perkembangan keterampilan berpikir kritis tampak nyata berdasarkan hasil pengukuran menggunakan instrumen CCTST, CTMS, dan CTS. Pada kelompok eksperimen, skor CCTST meningkat dari 41,3 menjadi 72,8, CTMS dari 3,11 menjadi 4,23, dan CTS dari 42,7 menjadi 81,2. Ketiganya menunjukkan peningkatan yang signifikan dibanding kelompok kontrol.

Peningkatan ini dapat dipahami melalui peran AI sebagai mitra belajar yang menyediakan *scaffolding* dinamis, serta kurasi digital yang mendorong evaluasi sumber informasi. Aktivitas kurasi memaksa siswa untuk membedakan informasi valid dari sumber yang bias, sehingga melatih keterampilan analisis dan evaluasi. Hasil penelitian ini sejalan dengan temuan Anas & Salim, (2023) serta Hasanah et al., (2023) yang menekankan bahwa perlunya kurasi digital dalam mengembangkan kemampuan penalaran analitis.

Namun, hasil ini juga mengingatkan pada risiko yang disampaikan Zhang et al., (2025), yakni potensi ketergantungan siswa pada AI. Oleh karena itu, peran guru sebagai fasilitator tetap krusial untuk memastikan bahwa AI dimanfaatkan sebagai sarana berpikir, bukan sebagai substitusi penuh terhadap proses kognitif manusia.

### **Gotong Royong**

Temuan penting lain adalah peningkatan signifikan dalam dimensi *teamwork*, *collectivism*, dan *mutual assistance*. Data angket menunjukkan bahwa skor *teamwork* meningkat dari 3,18 menjadi 4,29, *collectivism* dari 3,24 menjadi 4,31, dan *mutual assistance* dari 3,21 menjadi 4,22 pada kelompok eksperimen. Sementara itu, kelompok kontrol juga mengalami peningkatan, namun relatif lebih kecil.

Analisis kualitatif mendukung data ini. Observasi menunjukkan bahwa siswa kelompok eksperimen lebih terlibat dalam diskusi, membagi peran, dan saling membantu dalam menyelesaikan perhitungan stoikiometri. Praktik ini mencerminkan nilai gotong royong yang berakar pada budaya Indonesia. Rüschenpöhler et al., (2024) dan Liang et al., (2023) menegaskan bahwa integrasi nilai budaya lokal dapat memperkuat keterlibatan siswa dan membuat pembelajaran lebih kontekstual.

Secara teoritis, hasil ini dapat dijelaskan melalui kerangka *collaborative learning*. Seperti dijelaskan Elvsaas et al., (2024), interaksi sosial menjadi elemen fundamental dalam pengembangan keterampilan kognitif dan sosial. Walaupun referensi Elvsaas et al. perlu dilengkapi dengan literatur yang lebih spesifik, temuan penelitian ini mendukung pandangan bahwa interaksi kelompok mendorong terbentuknya nilai kolektivisme dalam kelas sains.

### **Implikasi Pedagogis**

Hasil penelitian ini memiliki beberapa implikasi penting. Pertama, integrasi AI dapat dijadikan strategi efektif untuk mengatasi miskonsepsi dalam kimia, khususnya stoikiometri. Guru dapat memanfaatkan AI untuk menyediakan penjelasan alternatif, visualisasi, dan latihan adaptif.

Kedua, praktik kurasi digital dapat digunakan untuk menumbuhkan keterampilan berpikir kritis dan nilai gotong royong. Pendidik harus merancang pembelajaran menggunakan kurasi supaya siswa terbiasa mengevaluasi materi pelajaran dan mampu bekerja secara gotong royong.

Ketiga, studi ini menekankan urgensi penerapan pendekatan pedagogis yang peka terhadap budaya. Nilai gotong royong yang merupakan bagian dari budaya Indonesia terbukti menjadi kerangka yang efektif untuk mengembangkan kerjasama dalam pembelajaran kimia.

### **Keterbatasan Penelitian**

Walaupun temuan penelitian ini menjanjikan, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicatat. Pertama, waktu pelaksanaan intervensi tergolong singkat, yakni hanya berlangsung selama dua minggu (6 pertemuan). Hal ini membatasi pemahaman tentang efek jangka panjang integrasi AI dan kurasi digital terhadap keterampilan berpikir kritis

maupun nilai gotong royong. Diperlukan studi lanjutan dengan durasi lebih panjang untuk menilai konsistensi temuan dalam rentang waktu yang lebih luas.

Kedua, keterbatasan infrastruktur digital menjadi kendala nyata. Beberapa siswa mengalami gangguan koneksi internet, yang dapat memengaruhi keterlibatan mereka dalam menggunakan AI. Temuan ini sejalan dengan kendala yang ditemukan oleh Belda-Medina & Goddard, (2024) tentang adanya kendala teknis dalam menggunakan AI di lingkungan sekolah.

Ketiga, penelitian ini menggunakan sampel terbatas dari satu sekolah. Oleh saba itu, perlu ketelatenan dalam menyimpulkan hasil penelitian ini. Studi komparatif di sekolah dengan latar belakang sosial-budaya dan infrastruktur yang berbeda akan memperkaya validitas eksternal temuan.

Keempat, instrumen yang dipakai dalam menilai gotong royong penelitian ini masih sebatas pada angket dan observasi, sehingga berpotensi menimbulkan prasangka buruk ditengah masyarakat. Penelitian mendatang agar dapat mengombinasikan metode lain seperti analitik pembelajaran (*learning analytics*) untuk memperoleh data lebih objektif (Stoyanov & Kirschner, 2023).

Secara keseluruhan, penelitian ini menunjukkan bahwa integrasi generative AI dan kurasi digital memberikan kontribusi signifikan terhadap pembelajaran stoikiometri. Intervensi ini berhasil meningkatkan pemahaman konseptual, keterampilan berpikir kritis, dan nilai gotong royong siswa SMA. Temuan ini sejalan dengan literatur yang menekankan potensi AI dalam pendidikan STEM, sekaligus menegaskan pentingnya pendekatan kolaboratif dan responsif budaya.

Meskipun terdapat keterbatasan, hasil penelitian ini memberikan dasar teoretis dan praktis bagi pengembangan model pembelajaran inovatif berbasis AI dan kurasi digital di Indonesia. Integrasi teknologi dengan nilai budaya lokal, khususnya gotong royong, dapat menjadi strategi efektif untuk menghadapi tantangan pedagogis abad ke-21. Temuan ini konsisten dengan literatur yang menekankan pentingnya kolaborasi berbasis budaya dan penggunaan teknologi untuk memperkaya pengalaman belajar (Altınay et al., 2024 & Yao & Chung, 2024).

## KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa integrasi *generative AI* dan kurasi digital dalam pembelajaran stoikiometri memberikan dampak positif yang signifikan terhadap pemahaman konsep, keterampilan berpikir kritis, dan penguatan nilai gotong royong siswa SMA. Hasil kuantitatif menunjukkan adanya peningkatan skor pemahaman stoikiometri pada kategori tinggi ( $N\text{-Gain} = 0,84$ ) di kelompok eksperimen, serta peningkatan konsisten pada keterampilan berpikir kritis yang diukur melalui CCTST, CTMS, dan CTS. Selain itu, pengukuran sikap kolaboratif memperlihatkan peningkatan nyata pada aspek *teamwork*, *collectivism*, dan *mutual assistance*. Temuan ini diperkuat oleh hasil kualitatif yang menunjukkan bahwa siswa lebih aktif berdiskusi, mampu berbagi peran, serta menunjukkan praktik gotong royong yang sejalan dengan nilai budaya lokal Indonesia.

Dari sisi pedagogis, penelitian ini memberikan kontribusi penting dengan menunjukkan bahwa pemanfaatan *generative AI* dapat mengatasi miskonsepsi stoikiometri melalui visualisasi adaptif dan representasi konseptual yang lebih jelas, sementara praktik kurasi digital mampu mendorong evaluasi kritis terhadap informasi sekaligus memperkuat kerja kolaboratif. Integrasi keduanya membentuk model pembelajaran yang tidak hanya berorientasi pada capaian kognitif, tetapi juga pada penguatan nilai sosial-budaya. Dengan demikian, penelitian ini memperkaya wacana teoritis mengenai inovasi pembelajaran STEM sekaligus menawarkan model responsif budaya yang relevan bagi konteks pendidikan di Indonesia.

Namun, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu dicermati, antara lain durasi intervensi yang relatif singkat, keterbatasan infrastruktur digital, serta lingkup penelitian yang terbatas pada satu sekolah. Oleh karena itu, studi lanjutan dengan jangkauan lebih luas, durasi lebih panjang, serta pendekatan metodologis yang lebih beragam sangat diperlukan untuk menilai keberlanjutan dampak dan meningkatkan validitas eksternal temuan.

Secara keseluruhan, penelitian ini menegaskan bahwa pengintegrasian teknologi pendidikan mutakhir dengan nilai budaya lokal dapat menjadi strategi efektif dalam menghadapi tantangan pembelajaran abad ke-21. Model pembelajaran berbasis *generative AI* dan kurasi digital yang berlandaskan gotong royong memiliki potensi besar untuk diterapkan dalam pembelajaran kimia maupun bidang lain, serta layak dikembangkan lebih lanjut sebagai kerangka inovasi pedagogis di masa depan.

## DAFTAR PUSTAKA

- Altınay, Z., Altınay, F., Dağlı, G., Shadiev, R., & Othman, A. (2024). Factors Influencing AI Learning Motivation and Personalisation Among Pre-Service Teachers in Higher Education. *Mier Journal of Educational Studies Trends & Practices*. <https://doi.org/10.52634/mier/2024/v14/i2/2714>
- Anas, A., & Salim, T. A. (2023). Digital Curation at the University. *Record and Library Journal*. <https://doi.org/10.20473/rlj.v9-i2.2023.347-358>
- Anelfia, S. C., & Mufit, F. (2023). Analysis of Needs Design of Cognitive Conflict-Based Teaching Materialis Integrated Augmented Reality on Material Sound Wave. *Jipt*. <https://doi.org/10.24036/jipt/vol1-iss2/20>
- Atoyan, V., Brosius, L., Movsisyan, N., ՕհանյանՍոֆյա, & ՀովսեփյանՎահրամ. (2025). The Role of Artificial Intelligence in Higher Education: The Case of Armenia. *Ps Political Science & Politics*. <https://doi.org/10.1017/s104909652400115x>
- Belda-Medina, J., & Goddard, M. B. (2024). AI-Driven Digital Storytelling: A Strategy for Creating English as a Foreign Language (EFL) Materials. *International Journal of Linguistics Studies*. <https://doi.org/10.32996/ijls.2024.4.1.4>
- Chang, J., Park, J., & Park, J. (2023). Using an Artificial Intelligence Chatbot in Scientific Inquiry: Focusing on a Guided-Inquiry Activity Using Inquirybot. *Asia-Pacific Science Education*. <https://doi.org/10.1163/23641177-bja10062>
- Duin, A. H., & Pedersen, I. (2024). Building Digital Literacy Through Exploration and Curation of Emerging Technologies. *NLC*. <https://doi.org/10.54337/nlc.v12.8630>
- Elvsaa, I.-K. O., Myrhaug, H. T., Garnweidner-Holme, L., Kasper, J., Austvoll-Dahlgren, A., & Molin, M. (2024). Experiences Using Media Health Claims to Teach Evidence-Based Practice to Healthcare Students: A Mixed Methods Study. *F1000research*. <https://doi.org/10.12688/f1000research.146648.2>
- Fajaria, N. H., Budiningsih, I., A'yun, Q., & Fahrudin, M. (2023). Evaluation Research on Lecturers' Pedagogical Competence of UIA. *RSF Conference Series Business Management and Social Sciences*. <https://doi.org/10.31098/bmss.v3i2.651>
- Fuadiyah, S., Selaras, G. H., Melta, D., & Rahmi, D. (2023). *The Urgency of Higher Order Thinking Skills (HOTS) Base on Development of Biology Assessment Instruments for Class XI Students of SMA/MA*. [https://doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1\\_2](https://doi.org/10.2991/978-94-6463-166-1_2)
- Ganovia, P., Efendi, E., Butarbutar, M., Siregar, R. T., & Sherly, S. (2023). The Effect of Digital Literacy and Hybrid Learning on Student Competence in Indonesian Subjects Class Xi 2021/2022 Kalam Kudus Christian High School Pematang Siantar. *Maker Jurnal Manajemen*. <https://doi.org/10.37403/mjnm.v9i1.581>
- Hasanah, N., Budiningsih, I., A'yun, Q., & Fahrudin, M. (2023). The Importance of Pedagogical Competence on Developing Lecturers' Professional Career: an Evaluative Research. *Akademika*. <https://doi.org/10.34005/akademika.v12i02.3161>
- Kim, M., & Jin, Q. (2024). 9-10-Year-Old Children's Understanding of Climate Change. *Ijeedu*. <https://doi.org/10.11648/j.ijeedu.20241301.13>
- Lee, C.-A., Huang, N., Tzeng, J.-W., & Tsai, P.-H. (2023). AI-Based Diagnostic Assessment System: Integrated With Knowledge Map in MOOCs. *Ieee Transactions on Learning Technologies*. <https://doi.org/10.1109/tlt.2023.3308338>

- 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*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.2c01248>
- Liu, W., Thompson, P. A., Gray, K. M., & Hastings, R. P. (2024). Child Behavior Problems and Parental Psychological Distress in Chinese Families of Children With Autism: The Putative Moderating Role of Parental Social Support and Cultural Values. *Autism Research*. <https://doi.org/10.1002/aur.3125>
- Maharani, P. A. (2023). Needs Analysis for the Development of Web-Based Interactive Learning Media Using Google Sites to Improve Learning Outcomes on Regular Straight Motion Material in Class XI in Bengkulu City High School. *Ijopate*. <https://doi.org/10.58723/ijopate.v1i1.69>
- Marlina, M., Hadi, S., & Rahim, A. (2023). Analysis High Order Level Thinking Skills of High School Students in Chemistry Learning. *Journal of Educational Chemistry (Jec)*. <https://doi.org/10.21580/jec.2023.5.1.15182>
- Mwakalinga, S. E. (2024). The Use of Artificial Intelligence in Teaching and Learning: Opportunities and Challenges. Students vs Lecturers Perception. *International Journal for Multidisciplinary Research*. <https://doi.org/10.36948/ijfmr.2024.v06i05.28339>
- Nixon, N., Lin, Y., & Snow, L. (2024). Catalyzing Equity in STEM Teams: Harnessing Generative AI for Inclusion and Diversity. *Policy Insights From the Behavioral and Brain Sciences*. <https://doi.org/10.1177/23727322231220356>
- Novita, D., Suyono, S., & Sutoyo, S. (2024). Analysis of Student Conceptions and Conceptional Changes About Chemical Equilibrium Materials in Pressure Factors. *Revista De Gestão Social E Ambiental*. <https://doi.org/10.24857/rgsa.v18n5-109>
- Profile of Needs Analysis of Five-Tier Diagnostic Instrument Development for High School Chemistry Courses. (2024). *Pegegog*. <https://doi.org/10.47750/pegegog.14.02.17>
- Rüschepöhler, L., Schneider, M. C., & Markic, S. (2024). Secondary School Teachers’ Beliefs About the Role of Culture in Chemistry Class and Their Ways of Considering and Engaging in It. *Journal of Chemical Education*. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.4c00404>
- Stoyanov, S., & Kirschner, P. A. (2023). Text Analytics for Uncovering Untapped Ideas at the Intersection of Learning Design and Learning Analytics: Critical Interpretative Synthesis. *Journal of Computer Assisted Learning*. <https://doi.org/10.1111/jcal.12775>
- Thapa, M., Devi, S., & Mishra, R. (2025). Charting Critical Paths: Exploring How Concept Mapping Amplifies Nursing Students’ Critical Thinking and Elevates Patient Care – A Scoping Review. *Journal of Education and Health Promotion*. [https://doi.org/10.4103/jehp.jehp\\\_644\\\_24](https://doi.org/10.4103/jehp.jehp\_644\_24)
- Triplett, W. J. (2023). Artificial Intelligence in STEM Education. *Citj*. <https://doi.org/10.53889/citj.v1i1.296>
- Yao, Y.-C., & Chung, K.-C. (2024). Application of Neural Network and Structural Model in AI Educational Performance Analysis. *Sensors and Materials*. <https://doi.org/10.18494/sam4429>
- Yuk Chan, C. K., & Hu, W. (2023). Students’ Voices on Generative AI: Perceptions,

Benefits, and Challenges in Higher Education. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*. <https://doi.org/10.1186/s41239-023-00411-8>

Zhang, S., Prasad, P., & Schroeder, N. L. (2025). Learning About AI: A Systematic Review of Reviews on AI Literacy. *Journal of Educational Computing Research*. <https://doi.org/10.1177/07356331251342081>