

## Model Pembelajaran Integratif Berbasis *TPACK* terhadap Penerapan Prosedur dan Berpikir Kritis Siswa pada Materi Reaksi Reduksi Oksidasi Kimia Kelas XII SMA

Rini Trisno Wulan Tantri\*, Andi Mariono, Fajar Arianto  
Universitas Negeri Surabaya, Kota Surabaya, Indonesia

\*Corresponding Author: [25010905003@mhs.unesa.ac.id](mailto:25010905003@mhs.unesa.ac.id)

Dikirim: 03-06-2026; Direvisi: 12-06-2026; Diterima: 17-06-2026

**Abstrak:** Rendahnya kemampuan siswa dalam menghubungkan konsep reaksi reduksi oksidasi dengan prosedur penyelesaian masalah menuntut desain pembelajaran yang menyatukan konten, pedagogi, dan teknologi. Tujuan penelitian ini adalah menganalisis pengaruh model pembelajaran integratif berbasis *Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)* terhadap kemampuan berpikir kritis dan penerapan prosedural siswa pada materi redoks. Penelitian dirancang menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen dan desain nonequivalent control group. Sampel ditentukan melalui *purposive sampling* dengan melibatkan 71 siswa kelas XII SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto, terdiri atas 36 siswa kelas eksperimen dan 35 siswa kelas kontrol. Kelas eksperimen memperoleh pembelajaran integratif berbasis *TPACK* melalui kegiatan mendeskripsikan fenomena redoks, membandingkan pola bilangan oksidasi, menjelaskan hubungan konsep, merumuskan hipotesis, dan menyusun generalisasi dengan bantuan media digital serta lembar kerja terstruktur. Instrumen penelitian meliputi tes berpikir kritis berbasis indikator inferensi, asumsi, deduksi, interpretasi, dan evaluasi argumen, serta tes penerapan prosedural penyetaraan redoks. Hasil telaah rancangan menunjukkan bahwa integrasi fase pembelajaran, media digital, dan rubrik prosedural menghasilkan kerangka intervensi yang lebih terarah untuk melatih penalaran kritis dan ketepatan langkah penyetaraan reaksi. Data empiris tetap perlu dilengkapi melalui uji normalitas, homogenitas, *independent samples t-test*, dan ukuran efek agar pengaruh model dapat disimpulkan secara statistik. Penelitian selanjutnya direkomendasikan menerapkan rancangan ini pada sampel yang lebih luas, membandingkan beberapa jenis media digital, serta menambahkan analisis indikator untuk mengidentifikasi tahap berpikir dan prosedur yang paling berkembang.

**Kata Kunci:** berpikir kritis; model integratif; penerapan prosedural; redoks; *TPACK*.

**Abstract:** Students' difficulty in connecting oxidation-reduction concepts with systematic problem-solving procedures requires instructional designs that integrate content, pedagogy, and technology. This study aims to analyze the effect of a Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK)-based integrative learning model on students' critical thinking and procedural application in redox reactions. The study is designed as quantitative research using a quasi-experimental method and a nonequivalent control group design. The sample is selected through purposive sampling and consists of 71 Grade XII students at SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto, including 36 students in the experimental class and 35 students in the control class. The experimental class receives TPACK-based integrative learning through activities of describing redox phenomena, comparing oxidation-number patterns, explaining conceptual relationships, formulating hypotheses, and constructing generalizations supported by digital media and structured worksheets. The instruments include a critical thinking test

based on inference, assumption recognition, deduction, interpretation, and argument evaluation indicators, and a procedural application test on redox equation balancing. The design review indicates that integrating learning phases, digital media, and procedural rubrics produces a more focused intervention framework for training critical reasoning and accuracy in redox balancing procedures. Empirical data must be completed through normality, homogeneity, independent samples t-test, and effect-size analyses to determine the statistical effect of the model. Future studies are recommended to implement this design with broader samples, compare different digital media, and add indicator-based analysis to identify which thinking and procedural stages develop most strongly.

**Keywords:** critical thinking; integrative model; procedural application; redox; TPACK.

## PENDAHULUAN

Pembelajaran kimia di sekolah menengah perlu diarahkan tidak hanya pada penguasaan konsep, tetapi juga pada kemampuan menalar, mengevaluasi informasi, dan menerapkan prosedur penyelesaian masalah secara sistematis. Kebutuhan tersebut semakin penting karena pembelajaran abad ke-21 menuntut peserta didik mampu menggunakan bukti, berpikir kritis, serta memanfaatkan teknologi sebagai sarana belajar yang bermakna (Akram et al., 2022; Mishra et al., 2023; Wang et al., 2022). Dalam konteks Indonesia, Permendikdasmen Nomor 9 Tahun 2025 tentang Tes Kemampuan Akademik menegaskan pentingnya pengukuran capaian akademik peserta didik pada mata pelajaran tertentu, sehingga proses pembelajaran perlu memberi ruang lebih besar pada kemampuan analitis dan pemecahan masalah.

Materi reaksi reduksi oksidasi atau redoks memiliki karakter konseptual dan prosedural yang kuat. Peserta didik harus memahami perubahan bilangan oksidasi, membedakan oksidasi dan reduksi, menentukan oksidator dan reduktor, serta menyetarakan persamaan reaksi dengan prosedur yang tepat. Kesulitan redoks tidak hanya terletak pada hafalan istilah, tetapi juga pada kemampuan menghubungkan fenomena, representasi simbolik, dan penalaran partikel. Penelitian oleh Niyamae menunjukkan bahwa animasi sekalipun belum selalu membantu siswa memahami redoks apabila desain instruksinya tidak mengarahkan siswa menafsirkan proses elektron secara tepat. Hal ini menegaskan bahwa media digital harus dipadukan dengan strategi pedagogis yang jelas, bukan hanya digunakan sebagai tayangan visual (Niyamae et al., 2026).

Permasalahan pembelajaran redoks di sekolah sering muncul ketika pembelajaran terlalu berpusat pada contoh penyetaraan reaksi yang sudah jadi. Siswa dapat meniru langkah penyelesaian, tetapi belum tentu memahami alasan mengapa bilangan oksidasi berubah, mengapa elektron perlu disetarakan, atau mengapa kondisi asam dan basa memerlukan perlakuan yang berbeda. Penelitian Ananda pada konteks kimia redoks memperlihatkan bahwa aktivitas berbasis masalah kontekstual dan dukungan *platform* digital dapat mendorong keterampilan berpikir kritis ketika siswa diminta mengidentifikasi masalah, memberi alasan, merefleksi, dan menyusun solusi (Ananda et al., 2023). Dengan demikian, pembelajaran redoks perlu dirancang sebagai proses analitis yang mengaitkan konsep, bukti, dan prosedur.



Salah satu alternatif rancangan pembelajaran yang relevan adalah model pembelajaran integratif berbasis *TPACK*. Model integratif menempatkan siswa pada aktivitas mendeskripsikan informasi, membandingkan data, mencari pola, menjelaskan hubungan, merumuskan hipotesis, dan menyusun generalisasi. Kerangka *TPACK* mengarahkan guru untuk memilih teknologi berdasarkan kesesuaian antara materi, strategi belajar, dan karakter peserta didik (Petko et al., 2025; Schmid et al., 2020). Dalam pembelajaran redoks, teknologi dapat digunakan untuk menghadirkan fenomena, simulasi, lembar kerja digital, atau visualisasi reaksi, sedangkan sintaks integratif memastikan siswa tetap melakukan aktivitas berpikir secara aktif.

Urgensi penelitian ini terletak pada kebutuhan mengembangkan pembelajaran kimia yang tidak hanya meningkatkan pemahaman konsep, tetapi juga melatih berpikir kritis dan penerapan prosedural secara bersamaan. Keunikan penelitian ini adalah penggabungan model integratif dan *TPACK* secara spesifik pada materi redoks dengan dua sasaran kemampuan, yaitu kemampuan berpikir kritis dan penerapan prosedural penyetaraan reaksi. Berbeda dari penggunaan media digital yang hanya berfungsi sebagai alat presentasi, penelitian ini menempatkan media sebagai sumber fenomena, alat pembanding pola, dukungan argumentasi, dan penuntun prosedural. Oleh karena itu, rancangan penelitian ini penting untuk memberikan dasar empiris bagi guru kimia dalam memilih strategi pembelajaran redoks yang terarah, kontekstual, dan berbasis teknologi.

Selain urgensi praktis tersebut, penelitian ini juga memiliki urgensi akademik karena kajian mengenai redoks sering lebih banyak menekankan penguasaan konsep atau hasil belajar kognitif umum. Padahal, siswa membutuhkan pembelajaran yang secara bersamaan menuntun mereka menguji alasan ilmiah dan menjalankan prosedur penyetaraan reaksi secara benar. Kesenjangan ini menunjukkan perlunya rancangan pembelajaran yang menghubungkan aktivitas konseptual, argumentatif, dan prosedural dalam satu alur. Model integratif berbasis *TPACK* dipilih karena sintaksnya memungkinkan siswa membaca fenomena, membandingkan pola, menjelaskan hubungan, menguji dugaan, dan menyimpulkan prinsip secara bertahap.

Kebaruan penelitian juga tampak pada penggunaan teknologi yang ditempatkan sebagai bagian dari strategi pedagogis, bukan sekadar pelengkap tampilan materi. Dalam rancangan ini, media digital digunakan untuk memunculkan fenomena, membantu siswa mengorganisasi data reaksi, dan memberi dukungan visual ketika siswa menelusuri perubahan bilangan oksidasi. Dengan demikian, teknologi berfungsi untuk memperkuat proses berpikir, sementara model integratif menjaga agar kegiatan belajar tetap berpusat pada aktivitas analisis siswa. Posisi tersebut menjadi pembeda utama dari pembelajaran rutin yang umumnya menempatkan latihan penyetaraan sebagai kegiatan mekanis setelah guru menjelaskan contoh soal.



## KAJIAN TEORI

### Model Pembelajaran Integratif Berbasis TPACK

Model pembelajaran integratif menekankan proses pembentukan konsep melalui pengolahan informasi yang saling berhubungan. Dalam pembelajaran kimia, model ini relevan karena siswa perlu melihat hubungan antara fenomena, konsep, simbol, dan prosedur. Sintaks integratif dapat diorganisasikan ke dalam empat aktivitas utama, yaitu mendeskripsikan dan mencari pola, menjelaskan persamaan dan perbedaan, mengajukan hipotesis, serta menyusun generalisasi. Aktivitas tersebut mendorong siswa membangun pemahaman melalui perbandingan data dan penalaran, bukan sekadar menerima penjelasan guru.

*TPACK* merupakan kerangka yang menjelaskan kompetensi guru dalam mengintegrasikan pengetahuan teknologi, pedagogi, dan konten. Dalam perkembangan terbaru, *TPACK* tidak lagi dipahami sebagai tiga komponen yang berdiri sendiri, tetapi sebagai pengetahuan yang bersifat kontekstual dan transformasional dalam merancang pengalaman belajar (Petko et al., 2025; Schmid et al., 2020). Mishra juga menegaskan bahwa perkembangan teknologi digital, termasuk kecerdasan buatan dan *platform* belajar, menuntut guru semakin cermat memilih teknologi yang sesuai dengan tujuan pembelajaran dan etika penggunaannya (Mishra et al., 2023).

Integrasi *TPACK* dalam pembelajaran redoks dapat diwujudkan melalui pemilihan media digital yang membantu siswa mengamati fenomena, membaca pola perubahan bilangan oksidasi, menyusun argumen, serta memeriksa prosedur penyetaraan reaksi. Pelatihan dan pengalaman praktis dalam *TPACK* terbukti dapat meningkatkan kesadaran dan kesiapan pendidik dalam mengintegrasikan teknologi (Çer, 2025; Lachner et al., 2021). Oleh karena itu, *TPACK* pada penelitian ini diposisikan sebagai dasar perancangan pembelajaran, bukan sekadar penggunaan perangkat digital.

Dalam konteks pembelajaran kimia, *TPACK* menuntut guru mempertimbangkan tiga pertanyaan utama. Pertama, konsep apa yang paling sulit dipahami siswa pada materi redoks. Kedua, strategi pedagogis apa yang mampu membuat siswa membangun hubungan antara fenomena, simbol, dan prosedur. Ketiga, teknologi apa yang paling tepat untuk menampilkan bukti atau pola yang sulit diamati secara langsung. Ketika ketiga pertanyaan tersebut dijawab secara terpadu, pembelajaran tidak berhenti pada penggunaan perangkat digital, tetapi bergerak menuju desain pengalaman belajar yang membantu siswa memahami alasan di balik setiap keputusan ilmiah.

### Berpikir Kritis dalam Pembelajaran Kimia

Berpikir kritis dalam pembelajaran kimia berkaitan dengan kemampuan siswa menafsirkan data, mengenali asumsi, membuat inferensi, menarik deduksi, dan mengevaluasi argumen berdasarkan bukti. Pada materi redoks, kemampuan ini muncul ketika siswa menilai kebenaran pernyataan tentang oksidasi dan reduksi, menghubungkan perubahan bilangan oksidasi dengan perpindahan elektron, serta menilai relevansi konsep redoks dalam permasalahan lingkungan. Penelitian Ananda



menunjukkan bahwa pembelajaran kimia redoks yang mengintegrasikan masalah kontekstual dan aktivitas reflektif dapat mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa (Ananda et al., 2023).

Indikator berpikir kritis dalam penelitian ini mengacu pada lima aspek yang banyak digunakan dalam pengukuran kemampuan berpikir, yaitu inferensi, pengenalan asumsi, deduksi, interpretasi, dan evaluasi argumen. Kelima indikator tersebut dipilih karena sesuai dengan karakter soal redoks berbasis wacana. Siswa tidak hanya diminta menuliskan jawaban akhir, tetapi juga diminta menunjukkan alasan, bukti, dan hubungan konsep yang mendasari keputusannya.

Penguatan berpikir kritis dalam penelitian ini tidak hanya diarahkan pada kemampuan menjawab soal, tetapi juga pada kemampuan menjelaskan proses berpikir. Oleh karena itu, soal uraian dirancang agar siswa mengemukakan bukti, alasan, dan keterkaitan konsep. Misalnya, siswa tidak cukup menyebut suatu zat sebagai oksidator, tetapi harus menunjukkan perubahan bilangan oksidasi dan menjelaskan konsekuensi perpindahan elektron. Cara ini membuat indikator inferensi, interpretasi, deduksi, pengenalan asumsi, dan evaluasi argumen dapat muncul secara lebih jelas dalam jawaban siswa.

### **Penerapan Prosedural pada Materi Redoks**

Penerapan prosedural merujuk pada kemampuan memilih, mengurutkan, dan menjalankan langkah penyelesaian yang sesuai dengan karakter masalah. Dalam redoks, penerapan prosedural tampak pada kemampuan menentukan bilangan oksidasi, memisahkan reaksi setengah, menyetarakan atom, menyetarakan oksigen dan hidrogen sesuai suasana reaksi, menyetarakan muatan menggunakan elektron, serta menggabungkan kembali reaksi setengah secara benar. Hisyam dan Fibonacci menekankan pentingnya media berbasis representasi majemuk pada materi redoks karena konsep ini menuntut siswa menghubungkan level makroskopis, submikroskopis, dan simbolik (Hisyam & Fibonacci, 2024).

Penguasaan prosedural yang baik tidak berarti menghafal algoritma secara mekanis. Siswa perlu memahami alasan konseptual di balik setiap langkah penyetaraan agar prosedur yang digunakan tidak mudah keliru ketika bentuk reaksi berubah. Dengan demikian, penerapan prosedural harus dipadukan dengan aktivitas berpikir kritis. Siswa perlu memeriksa apakah langkah yang dilakukan sudah konsisten dengan perubahan bilangan oksidasi, kesetaraan atom, dan kesetaraan muatan.

Hubungan antara berpikir kritis dan penerapan prosedural menjadi penting karena kesalahan prosedur dalam redoks sering berawal dari pemahaman konsep yang tidak lengkap. Siswa dapat menghafal langkah penyetaraan, tetapi tetap keliru ketika suasana reaksi berubah dari asam ke basa atau ketika muatan tidak diperiksa kembali. Melalui model integratif, setiap langkah prosedural dikaitkan dengan alasan konseptual. Siswa diarahkan memahami mengapa atom tertentu harus disetarakan lebih dahulu, mengapa  $H_2O$ ,  $H^+$ ,  $OH^-$ , atau elektron ditambahkan, dan bagaimana hasil akhir diperiksa agar sesuai dengan hukum kekekalan massa dan muatan.



## METODE PENELITIAN

### Tujuan Penelitian

Penelitian ini bertujuan untuk: (1) menganalisis pengaruh model pembelajaran integratif berbasis *TPACK* terhadap kemampuan berpikir kritis siswa kelas XII pada materi reaksi reduksi oksidasi; (2) menganalisis pengaruh model pembelajaran integratif berbasis *TPACK* terhadap penerapan prosedural siswa kelas XII pada materi reaksi reduksi oksidasi; dan (3) mendeskripsikan keterpaduan sintaks model integratif, komponen *TPACK*, serta indikator berpikir kritis dan penerapan prosedural dalam rancangan pembelajaran redoks.

### Desain dan Subjek Penelitian

Penelitian dirancang menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode kuasi eksperimen. Desain yang digunakan adalah *nonequivalent control group design* karena kelas yang menjadi subjek penelitian sudah terbentuk sebelumnya dan tidak dilakukan randomisasi individu. Desain kuasi eksperimen dipilih karena sesuai dengan situasi pembelajaran sekolah yang memiliki pembagian kelas tetap (Creswell, 2018; Fraenkel et al., 2019).

Penelitian dilaksanakan di SMA Negeri 1 Sooko Mojokerto, Jawa Timur. Sampel ditentukan menggunakan *purposive sampling*, yaitu pemilihan kelas berdasarkan pertimbangan kesetaraan kemampuan awal, kesesuaian jadwal pembelajaran, dan ketersediaan guru untuk melaksanakan perlakuan. Subjek penelitian berjumlah 71 siswa kelas XII, terdiri atas 36 siswa pada kelas eksperimen dan 35 siswa pada kelas kontrol. Kesetaraan awal kedua kelas dirujuk dari nilai rapor kimia yang tercantum dalam proposal, yaitu rata-rata 88,33 pada kelas eksperimen dan 88,26 pada kelas kontrol.

**Tabel 1.** Desain Penelitian Nonequivalent Control Group

Kelompok	Kemampuan Awal	Perlakuan	Pengukuran Akhir
Eksperimen	O1	Model integratif berbasis TPACK (X)	O2
Kontrol	O3	Pembelajaran konvensional	O4

Keterangan: O1 dan O3 adalah informasi kemampuan awal berdasarkan nilai rapor kimia; O2 dan O4 adalah skor tes setelah pembelajaran; X adalah perlakuan model pembelajaran integratif berbasis *TPACK*.

Penggunaan *purposive sampling* dipilih untuk menjaga kesesuaian antara kebutuhan penelitian dan kondisi sekolah. Kelas eksperimen dan kelas kontrol dipertimbangkan berdasarkan kesamaan jenjang, materi yang dipelajari, guru pengampu, serta nilai awal yang relatif setara. Pertimbangan tersebut penting karena penelitian kuasi eksperimen tidak memberikan peluang randomisasi individu. Dengan menjelaskan dasar pemilihan sampel secara terbuka, pembaca dapat menilai kewajaran perbandingan antara dua kelas dan memahami batas generalisasi hasil penelitian.

### Variabel, Perlakuan, dan Instrumen

Variabel bebas penelitian adalah model pembelajaran integratif berbasis *TPACK*, sedangkan variabel terikat meliputi kemampuan berpikir kritis dan



penerapan prosedural pada materi reaksi reduksi oksidasi. Kelas eksperimen memperoleh perlakuan pembelajaran integratif berbasis *TPACK*, sedangkan kelas kontrol mengikuti pembelajaran yang lazim digunakan guru.

Perlakuan pada kelas eksperimen dilaksanakan melalui kegiatan mengamati fenomena redoks, membandingkan pola bilangan oksidasi, menjelaskan hubungan konsep, merumuskan hipotesis, menyetarakan reaksi secara bertahap, dan menyusun generalisasi. Teknologi digunakan untuk mendukung pembacaan fenomena dan proses penyelesaian, antara lain media presentasi visual, simulasi digital yang relevan, dan lembar kerja terstruktur. Penggunaan teknologi dipilih berdasarkan kesesuaian dengan tujuan pembelajaran, sehingga teknologi berfungsi sebagai sarana analisis dan refleksi prosedural.

**Tabel 2.** Variabel, Indikator, dan Instrumen Penelitian

Variabel	Indikator Utama	Instrumen
Berpikir kritis	Inferensi; pengenalan asumsi; deduksi; interpretasi; evaluasi argumen	Tes uraian kontekstual redoks mengacu indikator berpikir kritis
Penerapan prosedural	Menentukan bilangan oksidasi; menentukan reaksi setengah; menyetarakan atom; menyetarakan muatan; menggabungkan reaksi	Tes uraian penyetaraan redoks metode setengah reaksi
Keterlaksanaan perlakuan	Kesesuaian sintaks integratif; fungsi teknologi; aktivitas siswa; penguatan konsep dan prosedur	Lembar observasi keterlaksanaan pembelajaran

### Teknik Analisis Data

Instrumen terlebih dahulu ditelaah melalui validitas isi dengan mencocokkan tujuan pembelajaran, indikator kemampuan, materi redoks, dan butir soal. Skor hasil pengukuran dianalisis secara deskriptif untuk memperoleh rata-rata, simpangan baku, skor minimum, dan skor maksimum pada setiap kelompok. Pengujian prasyarat dilakukan melalui uji normalitas *Shapiro-Wilk* dan uji homogenitas *Levene* dengan taraf signifikansi 0,05.

Apabila prasyarat parametrik terpenuhi, pengujian hipotesis dilakukan menggunakan *independent samples t-test* untuk membandingkan skor akhir kelas eksperimen dan kelas kontrol pada dua variabel terikat. Keputusan pengujian ditetapkan dengan menolak hipotesis nol apabila nilai signifikansi lebih kecil dari 0,05. Selain itu, ukuran efek disarankan untuk dilaporkan agar makna praktis perlakuan dapat dijelaskan secara lebih kuat (Field, 2018).

## HASIL DAN PEMBAHASAN

### Hasil Rancangan Implementasi Model Integratif Berbasis TPACK

Berdasarkan telaah dokumen proposal dan komentar reviewer, hasil yang dapat ditegaskan pada naskah ini adalah hasil rancangan intervensi pembelajaran, bukan hasil efektivitas empiris. Rancangan intervensi menghasilkan keterpaduan antara sintaks model integratif, komponen *TPACK*, dan indikator hasil belajar. Penegasan



ini penting agar naskah tidak menyatakan klaim peningkatan kemampuan siswa sebelum data *posttest* dan analisis statistik tersedia.

Rancangan pembelajaran diawali dengan penyajian fenomena redoks, misalnya korosi, kerja baterai, pemutihan, atau pencemaran lingkungan. Fenomena tersebut disajikan melalui media visual atau simulasi digital sehingga siswa memperoleh data awal untuk dideskripsikan. Pada tahap berikutnya, siswa membandingkan pola perubahan bilangan oksidasi, menjelaskan hubungan oksidasi dan reduksi, merumuskan hipotesis terhadap perubahan kondisi reaksi, lalu menyusun generalisasi dan menerapkan prosedur penyetaraan. Alur ini sesuai dengan karakter *TPACK* karena teknologi digunakan untuk mendukung keputusan pedagogis dan pemahaman konten (Lachner et al., 2021; Petko et al., 2025).

**Tabel 3.** Integrasi Fase Pembelajaran, *TPACK*, dan Hasil Belajar

Fase Integratif	Peran TPACK	Aktivitas Redoks	Kemampuan yang Dilatihkan
Mendeskripsikan dan mencari pola	Konten dan teknologi	Mengamati fenomena/ simulasi serta mencatat perubahan bilangan oksidasi	Interpretasi data dan inferensi awal
Menjelaskan persamaan dan perbedaan	Pedagogi dan konten	Membandingkan oksidasi, reduksi, oksidator, dan reduktor	Analisis alasan dan ketepatan konsep
Mengajukan hipotesis	Pedagogi dan teknologi	Memprediksi perubahan hasil ketika kondisi reaksi diubah	Deduksi dan evaluasi argumen
Menyusun generalisasi	Konten, pedagogi, dan teknologi	Menyetarakan reaksi dan menyimpulkan prinsip redoks	Prosedur sistematis dan simpulan ilmiah

Hasil rancangan juga menunjukkan bahwa setiap fase pembelajaran memiliki fungsi yang berbeda. Fase mendeskripsikan berfungsi membuka akses siswa terhadap fenomena redoks, fase membandingkan membantu siswa menemukan perubahan bilangan oksidasi, fase menjelaskan mendorong siswa menyusun alasan ilmiah, fase hipotesis melatih siswa memprediksi kemungkinan perubahan, sedangkan fase generalisasi mengarahkan siswa menyusun prinsip redoks dan prosedur penyetaraan. Keterpaduan fungsi tersebut membuat pembelajaran lebih terstruktur dan memberikan ruang yang lebih luas bagi siswa untuk menghubungkan konsep dengan langkah kerja.

Pada kelas kontrol, pembelajaran yang lazim digunakan guru tetap dapat membantu siswa memahami contoh penyetaraan reaksi. Namun, rancangan penelitian ini mengasumsikan bahwa pembelajaran rutin memiliki keterbatasan ketika siswa diminta menjelaskan alasan, membandingkan pola, atau mengevaluasi argumen berbasis kasus. Oleh karena itu, pembahasan hasil empiris nantinya perlu menilai apakah kelas eksperimen benar-benar menunjukkan keunggulan pada indikator yang berkaitan dengan interpretasi, inferensi, evaluasi argumen, dan ketepatan prosedur. Analisis per indikator akan membuat hasil penelitian lebih kuat daripada hanya menyajikan skor total.



### **Pembahasan Penguatan Berpikir Kritis**

Model integratif berbasis *TPACK* diperkirakan mendukung kemampuan berpikir kritis karena siswa ditempatkan dalam aktivitas yang menuntut penafsiran bukti, perbandingan informasi, penyusunan alasan, dan evaluasi argumen. Pada materi redoks, siswa tidak hanya diminta menyebutkan definisi oksidasi dan reduksi, tetapi juga harus menilai pernyataan ilmiah berdasarkan perubahan bilangan oksidasi dan konteks kasus. Pola ini sejalan dengan temuan Ananda et al. (2023) bahwa pembelajaran redoks berbasis masalah dan dukungan *platform* digital dapat mendorong siswa mencapai kemampuan berpikir kritis yang lebih tinggi melalui proses pencarian informasi, penalaran, refleksi, dan pengaturan diri.

Dukungan teknologi menjadi penting ketika siswa perlu menghubungkan fenomena nyata dengan bentuk simbolik persamaan reaksi. Akan tetapi, teknologi tidak boleh berhenti sebagai media presentasi. Niyamae menunjukkan bahwa animasi dapat gagal membantu pemahaman redoks jika siswa tidak diarahkan menafsirkan representasi submikroskopik secara tepat (Niyamae et al., 2026). Oleh karena itu, rancangan pembelajaran ini menempatkan pertanyaan pemantik, lembar kerja, diskusi, dan rubrik berpikir kritis sebagai pendamping media digital. Dengan cara tersebut, media berfungsi sebagai sumber bukti yang harus dianalisis, bukan sekadar ilustrasi.

Kerangka *TPACK* juga memperkuat peran guru dalam memilih teknologi yang sesuai. Petko menekankan bahwa *TPACK* harus dibaca dalam konteks, yaitu mempertimbangkan materi, peserta didik, lingkungan, dan tujuan pedagogis (Petko et al., 2025). Pada pembelajaran redoks, konteks tersebut tampak pada pemilihan simulasi atau visualisasi yang benar-benar membantu siswa membaca perubahan bilangan oksidasi dan menyusun alasan ilmiah. Dengan demikian, pengaruh terhadap berpikir kritis tidak berasal dari teknologi itu sendiri, tetapi dari keterpaduan teknologi dengan aktivitas pedagogis yang menuntut siswa berpikir.

Dengan demikian, pengaruh terhadap berpikir kritis perlu dibaca melalui kesesuaian antara aktivitas belajar dan indikator yang diukur. Aktivitas mengamati fenomena berkaitan dengan interpretasi, aktivitas membandingkan pola berkaitan dengan inferensi, aktivitas menjelaskan hubungan berkaitan dengan deduksi, sedangkan aktivitas mempertahankan alasan dalam diskusi berkaitan dengan evaluasi argumen. Keterhubungan ini memperkuat argumentasi bahwa model integratif berbasis *TPACK* memiliki landasan pedagogis yang jelas untuk mengembangkan kemampuan berpikir kritis siswa pada materi redoks.

### **Pembahasan Penguatan Penerapan Prosedural**

Penerapan prosedural pada materi redoks menuntut siswa mengikuti urutan kerja yang benar dan memahami alasan dari setiap langkah. Model integratif membantu siswa membangun prosedur dari pemahaman pola. Setelah siswa memahami perubahan bilangan oksidasi dan perpindahan elektron, mereka lebih siap menjalankan langkah penyetaraan reaksi setengah. Dengan demikian, prosedur tidak diposisikan sebagai rumus mekanis, tetapi sebagai konsekuensi dari hubungan konsep redoks.



Hisyam dan Fibonacci menegaskan pentingnya media pembelajaran redoks berbasis representasi majemuk untuk membantu siswa menghubungkan representasi makroskopis, submikroskopis, dan simbolik (Hisyam & Fibonacci, 2024). Gagasan ini mendukung rancangan penelitian karena lembar kerja dan media digital digunakan untuk memandu siswa berpindah dari pengamatan fenomena menuju notasi reaksi, lalu menuju langkah penyetaraan. Jika prosedur diajarkan langsung tanpa hubungan representasi, siswa berisiko menghafal urutan tetapi keliru ketika bentuk reaksi berubah.

Analisis prosedural dalam penelitian ini perlu dilakukan hingga tingkat indikator. Skor total saja belum cukup menjelaskan sumber kesulitan siswa. Dua siswa dapat memperoleh skor akhir yang sama, tetapi satu siswa mungkin gagal menentukan bilangan oksidasi, sedangkan siswa lain keliru menyetarakan muatan. Oleh karena itu, rubrik penilaian perlu memisahkan tahap penentuan bilangan oksidasi, pemisahan reaksi setengah, penyetaraan atom, penyetaraan muatan, dan penggabungan reaksi. Analisis indikator semacam ini akan memberi informasi diagnostik yang lebih berguna bagi guru.

Pembahasan penerapan prosedural juga perlu memperhatikan kualitas umpan balik selama pembelajaran. Lembar kerja terstruktur dapat membantu siswa menuliskan langkah secara runtut, tetapi peran guru tetap diperlukan untuk mengarahkan diskusi ketika terjadi kesalahan. Misalnya, ketika siswa salah menambahkan elektron atau tidak menyamakan jumlah elektron pada dua setengah reaksi, guru dapat meminta siswa kembali memeriksa muatan sebelum dan sesudah reaksi. Umpan balik seperti ini membuat prosedur tidak dipahami sebagai daftar langkah yang kaku, melainkan sebagai proses penalaran kimia yang dapat diverifikasi.

### **Kebaruan Rancangan dan Perbandingan dengan Pembelajaran Rutin**

Kebaruan penelitian ini terletak pada penempatan *TPACK* ke dalam sintaks model integratif secara eksplisit. Banyak pembelajaran digital hanya menambahkan video, slide, atau simulasi ke dalam pembelajaran yang tetap berpusat pada guru. Rancangan ini berbeda karena teknologi diposisikan sebagai bagian dari aktivitas berpikir siswa: media menjadi sumber fenomena, data pembanding, alat pencatat pola, dan penuntun refleksi prosedural. Dengan demikian, teknologi tidak berdiri sendiri, tetapi mendukung fase berpikir yang dirancang dalam model integratif.

Selain itu, penelitian ini menggabungkan dua capaian yang sering diperlakukan terpisah, yaitu berpikir kritis dan penerapan prosedural. Dalam pembelajaran redoks, kedua capaian tersebut saling berhubungan. Siswa yang mampu mengevaluasi argumen tentang perubahan bilangan oksidasi akan lebih mudah memahami mengapa elektron harus disetarakan, sedangkan siswa yang memahami prosedur penyetaraan akan memiliki dasar yang lebih kuat untuk menjelaskan fenomena redoks. Hubungan inilah yang menjadi kontribusi konseptual penelitian.



**Tabel 4.** Posisi Kebaruan Rancangan Pembelajaran

Aspek	Pembelajaran Rutin	Rancangan Integratif Berbasis TPACK	Kontribusi Pengukuran
Penyajian redoks	Konsep dan contoh latihan disampaikan guru	Fenomena, visualisasi, dan reaksi dianalisis melalui pola	Memunculkan interpretasi dan inferensi
Penggunaan teknologi	Media terutama sebagai tayangan materi	Media menjadi sumber data, organizer, dan dukungan prosedur	Menilai fungsi teknologi secara pedagogis
Latihan penyetaraan	Siswa meniru langkah dari contoh	Siswa menerapkan langkah setelah menjelaskan alasan konsep	Mengukur prosedur bertahap
Konteks masalah	Konteks terpisah dari prosedur hitungan	Kasus lingkungan dianalisis dengan konsep dan prosedur redoks	Mengukur evaluasi argumen dan keputusan

### Pengembangan Instrumen dan Jaminan Kualitas Pengukuran

Instrumen berpikir kritis dirancang dalam bentuk soal uraian kontekstual agar siswa dapat menunjukkan bukti dan alasan yang mendasari jawabannya. Setiap butir soal memuat wacana yang mengandung fakta, dugaan, premis, dan simpulan. Indikator inferensi digunakan ketika siswa menarik kesimpulan dari data; pengenalan asumsi digunakan ketika siswa memeriksa gagasan yang tidak dinyatakan secara eksplisit; deduksi digunakan untuk menilai hubungan premis dan simpulan; interpretasi digunakan untuk membaca bukti; sedangkan evaluasi argumen digunakan untuk menentukan kuat atau lemahnya klaim.

Instrumen penerapan prosedural dirancang untuk menilai ketepatan langkah penyetaraan, bukan hanya persamaan akhir. Penilaian bertahap lebih sesuai dengan tujuan penelitian karena guru dapat mengetahui apakah kesalahan siswa terjadi pada konsep awal, penyesuaian atom, penyesuaian muatan, atau penggabungan reaksi setengah. Kualitas instrumen dijaga melalui validitas isi, kesesuaian indikator, rubrik penilaian, dan observasi keterlaksanaan pembelajaran.

Observasi keterlaksanaan menjadi bagian penting karena perlakuan berbasis *TPACK* bergantung pada implementasi nyata di kelas. Observer mencatat apakah guru menjalankan fase integratif secara runtut, apakah teknologi digunakan untuk memfasilitasi analisis, dan apakah siswa aktif mendeskripsikan, membandingkan, mengajukan hipotesis, serta menyusun generalisasi. Data observasi akan membantu menafsirkan hasil statistik setelah penelitian dilaksanakan.

**Tabel 5.** Pemetaan Indikator dan Bentuk Bukti yang Dikumpulkan

Variabel	Indikator	Bentuk Tugas Siswa	Bukti Penilaian
Berpikir kritis	Inferensi dan interpretasi	Menarik simpulan dari data kasus redoks dan pencemaran	Uraian berbasis bukti dan rubrik skor
Berpikir kritis	Asumsi, deduksi, evaluasi argumen	Menilai kesesuaian klaim dengan premis dan konsep	Alasan logis dan ketepatan keputusan
Penerapan prosedural	Langkah awal penyetaraan	Menentukan bilangan oksidasi dan memisahkan reaksi	Urutan langkah dan ketepatan simbol



		setengah	
Penerapan prosedural	Kesetaraan atom dan muatan	Menambahkan H <sub>2</sub> O, H <sup>+</sup> , OH <sup>-</sup> , elektron, lalu menyederhanakan reaksi	Persamaan akhir dan konsistensi prosedur
Keterlaksanaan	Sintaks dan fungsi teknologi	Partisipasi siswa dalam fase integratif	Catatan observer dan dokumentasi kelas

### Kerangka Pelaporan Hasil Empiris

Karena naskah sumber masih berbasis proposal, hasil efektivitas empiris belum dapat dinyatakan. Untuk memenuhi tuntutan artikel hasil penelitian, data *posttest* dan hasil uji statistik perlu ditambahkan setelah penelitian selesai. Hasil empiris minimal perlu meliputi statistik deskriptif, uji normalitas, uji homogenitas, *independent samples t-test*, ukuran efek, analisis indikator, dan keterlaksanaan pembelajaran. Pelaporan ini akan membuat kesimpulan memiliki dasar yang kuat dan sesuai dengan tujuan penelitian.

Apabila hasil uji menunjukkan perbedaan signifikan antara kelas eksperimen dan kontrol, pembahasan perlu mengaitkan temuan tersebut dengan fase integratif dan penggunaan *TPACK*. Sebaliknya, apabila hasil tidak signifikan, pembahasan tetap perlu menjelaskan kemungkinan penyebab, misalnya waktu perlakuan, tingkat keterlaksanaan sintaks, kesiapan teknologi, atau kebiasaan siswa dalam menjawab soal uraian. Dengan demikian, artikel tetap memberikan kontribusi ilmiah meskipun hasil empiris nantinya berbeda dari dugaan awal.

**Tabel 6.** Kerangka Pelaporan Hasil Penelitian Empiris pada Versi Akhir

Komponen Hasil	Data yang Perlu Dilaporkan	Dasar Interpretasi
Data deskriptif	Rerata, simpangan baku, nilai minimum, dan nilai maksimum tiap kelompok	Gambaran capaian sebelum uji hipotesis
Uji prasyarat	Nilai Shapiro-Wilk dan Levene untuk masing-masing variabel	Kelayakan penggunaan uji parametrik
Uji hipotesis	Nilai t, derajat bebas, signifikansi, selisih rerata, dan ukuran efek	Pengaruh model terhadap dua hasil belajar
Analisis indikator	Skor setiap indikator kritis dan prosedural	Menentukan bagian kemampuan yang berkembang atau masih lemah
Keterlaksanaan	Skor/catatan observer dan kendala penggunaan teknologi	Menafsirkan konsistensi perlakuan di kelas

### Implikasi, Keterbatasan, dan Rekomendasi

Rancangan penelitian ini memberikan implikasi praktis bagi guru kimia. Pertama, pembelajaran redoks dapat dirancang sebagai aktivitas analitis yang bergerak dari fenomena menuju konsep dan prosedur, bukan hanya latihan hitungan. Kedua, penggunaan teknologi perlu dipilih berdasarkan fungsi belajar, misalnya untuk memvisualkan proses, menyediakan kasus, atau membantu siswa mencatat pola. Ketiga, rubrik berpikir kritis dan prosedural memungkinkan guru memperoleh informasi diagnostik tentang alasan dan kesalahan siswa sehingga tindak lanjut pembelajaran dapat dirancang lebih tepat.



Keterbatasan rancangan terletak pada penggunaan kelas yang sudah terbentuk, sehingga kontrol terhadap semua faktor eksternal tidak sekuat eksperimen acak. Selain itu, keterampilan guru dalam mengelola diskusi, ketersediaan perangkat teknologi, dan kebiasaan siswa menjawab soal uraian dapat memengaruhi hasil. Keterbatasan tersebut perlu diantisipasi melalui validasi perangkat, observasi keterlaksanaan, dokumentasi kendala, dan pelaporan prosedur penelitian secara transparan.

Penelitian selanjutnya direkomendasikan menerapkan rancangan ini pada beberapa sekolah dengan karakteristik berbeda, membandingkan jenis media digital yang digunakan, menambahkan analisis ukuran efek, dan melibatkan data kualitatif seperti wawancara atau refleksi siswa. Penelitian lanjutan juga dapat mengembangkan lembar kerja digital yang lebih interaktif agar siswa memperoleh umpan balik pada setiap tahap penyetaraan reaksi redoks.

Rekomendasi praktis dari rancangan ini adalah guru perlu menyiapkan media digital yang sederhana, mudah diakses, dan benar-benar mendukung tujuan pembelajaran. Media tidak harus kompleks, tetapi harus membantu siswa melihat pola, menguji alasan, atau memeriksa langkah penyetaraan. Guru juga perlu menyiapkan pertanyaan pemantik yang menuntut siswa menjelaskan sebab-akibat, bukan hanya menyebut jawaban akhir. Untuk peneliti selanjutnya, pengumpulan data perlu dilengkapi dengan analisis ukuran efek, wawancara singkat, dan dokumentasi kesalahan prosedural agar kontribusi model dapat dijelaskan secara lebih mendalam.

## KESIMPULAN

Berdasarkan tujuan pertama, model pembelajaran integratif berbasis *TPACK* secara konseptual memiliki dasar yang kuat untuk melatih kemampuan berpikir kritis siswa pada materi redoks karena sintaksnya menuntut siswa menafsirkan data, mengenali asumsi, menarik deduksi, dan mengevaluasi argumen berdasarkan bukti. Berdasarkan tujuan kedua, rancangan ini juga relevan untuk melatih penerapan prosedural karena siswa diarahkan memahami hubungan perubahan bilangan oksidasi, perpindahan elektron, kesetaraan atom, dan kesetaraan muatan sebelum menyelesaikan persamaan reaksi. Berdasarkan tujuan ketiga, keterpaduan sintaks integratif, media digital, lembar kerja terstruktur, dan rubrik penilaian menghasilkan kerangka intervensi yang lebih sistematis untuk pembelajaran redoks.

Namun, karena naskah sumber masih berbasis proposal, kesimpulan mengenai pengaruh empiris model belum dapat ditetapkan sebelum data *posttest* dianalisis. Versi artikel hasil penelitian perlu dilengkapi dengan statistik deskriptif, uji prasyarat, uji hipotesis, ukuran efek, analisis indikator, dan data keterlaksanaan pembelajaran. Penelitian selanjutnya disarankan memperluas sampel, membandingkan variasi media digital, dan menambahkan data kualitatif agar kontribusi model integratif berbasis *TPACK* terhadap berpikir kritis dan penerapan prosedural dapat dijelaskan secara lebih komprehensif.



## DAFTAR PUSTAKA

- Akram, H., Abdelrady, A. H., Al-Adwan, A. S., & Ramzan, M. (2022). Teachers' perceptions of technology integration in teaching-learning practices: A systematic review. *Frontiers in Psychology*, *13*, 920317. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2022.920317>
- Ananda, L. R., Rahmawati, Y., & Khairi, F. (2023). Critical thinking skills of chemistry students by integrating design thinking with STEAM-PjBL. *Journal of Technology and Science Education*, *13*(1), 352–367. <https://doi.org/10.3926/jotse.1938>
- Çer, E. (2025). Enhancing lecturer awareness of technology integration within the TPACK framework: A mixed methods study. *STEM Education*, *5*(3), 356–382. <https://doi.org/10.3934/steme.2025018>
- Creswell, J. W. (2018). *Research design: Qualitative, quantitative, and mixed methods approaches* (5th ed.). SAGE Publications.
- Field, A. (2018). *Discovering statistics using IBM SPSS Statistics* (5th ed.). SAGE Publications.
- Fraenkel, J. R., Wallen, N. E., & Hyun, H. H. (2019). *How to design and evaluate research in education* (10th ed.). McGraw-Hill Education.
- Hisyam, M. R., & Fibonacci, A. (2024). Development of redox reaction learning media based on multiple representations. *EDUSAINS*, *16*(1). <https://doi.org/10.15408/es.v16i1.35713>
- Lachner, A., Fabian, A., Franke, U., Preiß, J., Jacob, L., Führer, C., Küchler, U., Paravicini, W., Randler, T., & Thomas, P. (2021). Fostering pre-service teachers' technological pedagogical content knowledge (TPACK): A quasi-experimental field study. *Computers & Education*, *174*, 104304. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104304>
- Mishra, P., Warr, M., & Islam, R. (2023). TPACK in the age of ChatGPT and generative AI. *Journal of Digital Learning in Teacher Education*, *39*(4), 235–251. <https://doi.org/10.1080/21532974.2023.2247480>
- Niyamae, A. N., Warfa, A. R. M., & Krajcik, J. (2026). Why learning redox is difficult even with animations: Students' adherence to cognitive resources. *Chemistry Education Research and Practice*. <https://doi.org/10.1039/D5RP00192G>
- Petko, D., Mishra, P., & Koehler, M. J. (2025). TPACK in context: An updated model. *Computers and Education Open*, 100244. <https://doi.org/10.1016/j.caeo.2025.100244>
- Schmid, M., Brianza, E., & Petko, D. (2020). Developing a short assessment instrument for Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK.xs)



and comparing the factor structure of an integrative and a transformative model. *Computers & Education*, 157, 103967. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.103967>

Wang, L. H., Chen, B., Hwang, G. J., Guan, J. Q., & Wang, Y. Q. (2022). Effects of digital game-based STEM education on students' learning achievement: A meta-analysis. *International Journal of STEM Education*, 9, 26. <https://doi.org/10.1186/s40594-022-00344-0>

