



INOVASI PEMBELAJARAN INSTALASI MOTOR LISTRIK BERBASIS SIMULASI DIGITAL: IMPLEMENTASI SIMURELAY PADA MATERI RANGKAIAN DOL

Mega Risna¹, Hasan Maksum², Dony Novaliendry³

Universitas Negeri Padang^{1,2,3}

e-mail: megarisna15@gmail.com

ABSTRAK

Penelitian ini dilatarbelakangi oleh keterbatasan sarana praktik pada pembelajaran instalasi motor listrik di SMK yang menyebabkan rendahnya frekuensi latihan siswa dan berdampak pada kurang optimalnya penguasaan konsep serta keterampilan psikomotorik, khususnya pada materi rangkaian Direct Online (DOL). Fokus penelitian ini adalah menganalisis efektivitas penggunaan aplikasi simulasi digital SimuRelay sebagai media pembelajaran untuk meningkatkan hasil belajar siswa pada materi DOL. Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan desain one-group pretest-posttest yang melibatkan 32 siswa kelas XI TITL 2 SMK Negeri 8 Palembang. Langkah penelitian meliputi tahap persiapan instrumen, pelaksanaan pembelajaran berbasis simulasi, pemberian pretest dan posttest, serta penilaian psikomotorik melalui rubrik observasi. Data dianalisis menggunakan perbandingan nilai pretest-posttest serta analisis deskriptif untuk ranah psikomotorik. Hasil penelitian menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 61,6 pada pretest menjadi 80,2 pada posttest, dengan seluruh siswa (100%) mengalami peningkatan skor. Nilai tertinggi meningkat dari 75 menjadi 90, sedangkan nilai terendah dari 50 menjadi 60, menunjukkan bahwa pembelajaran melalui SimuRelay memberi dampak merata pada seluruh siswa. Secara psikomotorik, siswa menunjukkan peningkatan kemampuan dalam memahami logika kerja kontaktor, alur self holding, dan identifikasi gangguan rangkaian. Disimpulkan bahwa simulasi digital SimuRelay efektif meningkatkan hasil belajar kognitif dan mendukung penguatan keterampilan dasar praktik, sehingga dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang relevan pada kondisi sekolah dengan keterbatasan fasilitas.

Kata Kunci: *SimuRelay, Direct Online (DOL), Hasil Belajar Siswa*

ABSTRACT

This study is motivated by the limited availability of practical facilities in motor installation learning at vocational high schools, which reduces students' practice frequency and leads to suboptimal mastery of concepts and psychomotor skills, particularly in the Direct Online (DOL) motor starter topic. The focus of this research is to analyze the effectiveness of the SimuRelay digital simulation application as a learning medium for improving students' learning outcomes on DOL material. The study employed a quantitative approach with a one-group pretest-posttest design involving 32 students of class XI TITL 2 at SMK Negeri 8 Palembang. The research procedures included instrument preparation, implementation of simulation-based learning, administration of pretest and posttest, and psychomotor assessment using an observation rubric. Data were analyzed by comparing pretest and posttest scores and conducting descriptive analysis for the psychomotor domain. The results showed an increase in the average score from 61.6 on the pretest to 80.2 on the posttest, with all students (100%) demonstrating improvement. The highest score increased from 75 to 90, while the lowest rose from 50 to 60, indicating that SimuRelay-based learning had a uniformly positive impact on all students. Psychomotor observations revealed improvement in students' understanding of contactor working logic, self-holding circuits, and troubleshooting steps. It is concluded that the SimuRelay digital simulation effectively enhances cognitive learning outcomes and supports

the development of basic practical skills, making it a relevant alternative learning medium for schools with limited laboratory facilities.

Keywords: *SimuRelay, Direct Online (DOL), Student Learning Outcomes*

PENDAHULUAN

Laju perkembangan teknologi industri yang sedemikian pesat saat ini menuntut institusi pendidikan vokasi untuk beradaptasi dengan cepat guna menghasilkan lulusan yang tidak hanya paham teori, tetapi juga memiliki keterampilan praktik yang mumpuni dan relevan dengan kebutuhan pasar. Dalam sektor ketenagalistrikan, kompetensi teknis pada bidang instalasi motor listrik menjadi salah satu keahlian vital yang wajib dikuasai oleh siswa sekolah kejuruan sebagai bekal memasuki dunia kerja. Secara ideal, kurikulum pendidikan vokasi menargetkan setiap siswa untuk memiliki kemampuan komprehensif mulai dari merancang, merangkai, menguji, hingga melakukan analisis pemecahan masalah atau *troubleshooting* pada berbagai jenis rangkaian pengendali. Salah satu kompetensi dasar yang menjadi fondasi utama adalah penguasaan rangkaian *starter* motor jenis *Direct Online* (DOL). Rangkaian ini merupakan sistem pengasutan motor yang paling fundamental dan banyak diaplikasikan di industri, sehingga penguasaan mutlak terhadap teknik perakitan dan pemeliharaannya menjadi standar kompetensi yang tidak bisa ditawarkan bagi lulusan yang ingin berkariern sebagai teknisi listrik profesional yang kompeten dan berdaya saing tinggi (Nasution & Amin, 2024; Wulandari et al., 2024).

Namun, realitas implementasi pembelajaran di lapangan sering kali menunjukkan adanya kesenjangan yang cukup lebar antara tuntutan ideal kurikulum dengan kondisi faktual yang terjadi di sekolah-sekolah kejuruan. Di banyak sekolah, proses pembelajaran praktik instalasi motor listrik menghadapi berbagai kendala struktural yang serius, mulai dari keterbatasan ketersediaan alat praktik yang tidak sebanding dengan jumlah siswa, hingga kondisi bengkel kerja yang kurang memadai. Besarnya rasio jumlah peserta didik dalam satu kelas sering kali menyebabkan antrean penggunaan alat yang panjang, sehingga jam terbang atau kesempatan siswa untuk berlatih secara langsung menjadi sangat terbatas. Selain itu, faktor risiko keselamatan kerja akibat bahaya sengatan listrik membuat guru cenderung membatasi eksplorasi siswa dan lebih banyak menekankan pada aspek teoritis. Akibat dari akumulasi kendala ini, keterampilan ranah *psychomotor* dan pemahaman konsep siswa terhadap instalasi motor listrik sering kali tidak berkembang secara optimal, yang pada akhirnya menghasilkan lulusan yang gagap ketika berhadapan dengan peralatan nyata di industri (Dhiefayanti & Mundir, 2025; Nasution & Amin, 2024; Rahayu et al., 2024).

Merespons tantangan keterbatasan fasilitas dan risiko keselamatan tersebut, integrasi teknologi melalui penggunaan simulasi *digital* hadir sebagai salah satu solusi alternatif yang sangat menjanjikan untuk menjembatani kesenjangan yang ada. Media simulasi menawarkan lingkungan belajar virtual yang aman, di mana siswa dapat berlatih merangkai komponen kelistrikan tanpa risiko kerusakan alat atau bahaya kecelakaan kerja. Keunggulan utama dari metode ini adalah fleksibilitasnya yang memungkinkan siswa untuk melakukan pengulangan prosedur kerja berkali-kali hingga mereka benar-benar paham, sebuah kemewahan yang sulit didapatkan dalam praktik konvensional dengan bahan habis pakai yang mahal. Lebih jauh lagi, simulasi *digital* memberikan ruang bagi siswa untuk mengeksplorasi berbagai skenario kesalahan atau *error* yang mungkin terjadi dalam sistem kelistrikan. Efektivitas pendekatan ini dalam meningkatkan hasil belajar pada bidang keteknikan telah terbukti secara empiris mampu memperkuat pemahaman konsep dasar serta mempertajam kemampuan analisis siswa sebelum mereka terjun langsung menangani peralatan fisik yang sesungguhnya (Badarudin et al., 2024; Isnaini et al., 2023; Rahayu et al., 2024).

Dalam konteks spesifik pembelajaran instalasi motor listrik, pemanfaatan aplikasi berbasis teknologi seperti *SimuRelay* telah menunjukkan potensi yang sangat besar dalam mendongkrak kualitas pembelajaran praktik. Aplikasi ini memungkinkan visualisasi aliran arus dan logika kontrol yang sering kali bersifat abstrak bagi siswa pemula, menjadi lebih konkret dan mudah dipahami. Melalui antarmuka yang interaktif, siswa dapat menyusun komponen-komponen saklar, relai, dan kontaktor secara virtual, serta menguji fungsionalitas rangkaian yang mereka buat secara *real-time*. Berbagai studi eksperimental menunjukkan bahwa penggunaan media *SimuRelay* memberikan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan kompetensi siswa, terutama dalam memahami prinsip kerja sistem kontrol motor listrik. Kombinasi antara simulasi virtual dengan aktivitas praktik yang terstruktur terbukti mampu meningkatkan keterlibatan atau *engagement* siswa di dalam kelas, sekaligus membangun kesiapan mental dan teknis mereka sebelum menghadapi situasi kerja nyata yang penuh dengan standar operasional prosedur yang ketat (Handarkho et al., 2025; Wut et al., 2025).

Meskipun manfaat simulasi *digital* telah banyak diakui, tinjauan terhadap literatur yang ada menunjukkan bahwa mayoritas penelitian sebelumnya masih memiliki fokus yang terbatas. Sebagian besar kajian cenderung hanya menyoroti peningkatan pada aspek kognitif atau pengetahuan teoritis semata, serta membahas penggunaan simulasi secara umum tanpa spesifikasi pada jenis rangkaian tertentu. Masih sangat sedikit penelitian yang secara mendalam mengkaji efektivitas simulasi *digital* secara spesifik pada materi rangkaian *Direct Online* (DOL), padahal materi ini adalah gerbang utama menuju kompetensi kendali motor yang lebih kompleks. Selain itu, jarang ditemukan studi yang melakukan penilaian secara simultan dan integratif terhadap ketiga ranah kompetensi utama, yaitu kognitif, *psychomotor*, dan *affective*, dalam satu bingkai penelitian. Hal ini mengindikasikan adanya celah penelitian atau *research gap* yang perlu segera diisi untuk menghasilkan model pembelajaran yang lebih komprehensif dan mampu memotret perkembangan kompetensi siswa secara utuh dalam pembelajaran praktik kejuruan.

Berangkat dari identifikasi masalah dan celah penelitian tersebut, studi ini hadir dengan menawarkan nilai kebaruan (*novelty*) yang signifikan dalam khazanah pendidikan teknik elektro. Penelitian ini berfokus pada pengembangan model pembelajaran instalasi motor listrik yang mengintegrasikan simulasi *digital* menggunakan aplikasi *SimuRelay*, yang dirancang secara khusus dan spesifik untuk pendalaman materi rangkaian *Direct Online* (DOL). Inovasi utama dari penelitian ini terletak pada mekanisme integrasi antara penggunaan simulasi virtual dengan penilaian keterampilan *psychomotor* secara langsung di bengkel kerja. Pendekatan ini tidak hanya berhenti pada seberapa baik siswa menjalankan simulasi di layar gawai, tetapi mengukur sejauh mana keterampilan virtual tersebut dapat ditransfer menjadi kemampuan praktik nyata yang presisi dan aman. Dengan demikian, penelitian ini berupaya membuktikan korelasi positif antara kefasihan menggunakan alat simulasi dengan peningkatan kinerja teknis siswa saat merangkai komponen fisik yang sesungguhnya, sebuah aspek yang sering terabaikan dalam studi-studi sejenis sebelumnya.

Selain memberikan kontribusi pada aspek pedagogis dan teknis, penelitian ini juga memiliki nilai strategis dalam aspek keterterapan media pembelajaran di lingkungan sekolah dengan sumber daya terbatas. Dengan memvalidasi efektivitas penggunaan aplikasi *SimuRelay* yang mudah diakses dan minim biaya, penelitian ini memberikan solusi praktis bagi Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) yang menghadapi kendala anggaran pengadaan alat praktik. Model pembelajaran yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi rujukan operasional bagi para guru produktif di SMK untuk meningkatkan mutu pembelajaran praktik tanpa harus menunggu kelengkapan fasilitas fisik yang ideal. Dengan mengoptimalkan teknologi genggam yang sudah



akrab dengan keseharian siswa, proses transfer pengetahuan dapat berjalan lebih efektif dan efisien. Pada akhirnya, tujuan utama dari penelitian ini adalah menciptakan lulusan vokasi yang kompeten, percaya diri, dan siap kerja, dengan memanfaatkan teknologi simulasi sebagai jembatan emas menuju penguasaan keterampilan industri yang sesungguhnya.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menerapkan pendekatan kuantitatif dengan desain eksperimen semu atau *quasi-experiment*, secara spesifik menggunakan rancangan *one-group pretest-posttest design*. Pemilihan desain ini didasarkan pada tujuan penelitian untuk mengukur besaran perubahan kompetensi siswa secara terukur sebelum dan sesudah diberikan intervensi pembelajaran, tanpa menggunakan kelas pembanding. Lokasi penelitian bertempat di SMK Negeri 8 Palembang dengan waktu pelaksanaan pada semester ganjil tahun ajaran 2025-2026. Subjek penelitian yang dilibatkan adalah siswa kelas XI Teknik Instalasi Tenaga Listrik (TITL) 2 yang berjumlah 32 orang. Teknik pengambilan sampel dilakukan secara *purposive sampling*, di mana pemilihan kelas didasarkan pada pertimbangan ketersediaan jadwal mata pelajaran Praktik Instalasi Motor Listrik yang relevan dengan materi penelitian. Melalui rancangan ini, peneliti berupaya mendapatkan data empiris mengenai efektivitas media simulasi dalam meningkatkan hasil belajar siswa pada materi rangkaian *Direct Online* (DOL) sebagai solusi atas keterbatasan fasilitas praktik fisik di sekolah.

Prosedur pelaksanaan penelitian diatur secara sistematis melalui tiga tahapan utama, yaitu tahap persiapan, tahap pelaksanaan pembelajaran, dan tahap akhir atau evaluasi. Dalam proses pembelajaran, alat dan bahan utama yang digunakan meliputi perangkat telepon pintar berbasis *Android* yang telah terinstal aplikasi *SimuRelay*, modul pembelajaran materi rangkaian DOL, serta Lembar Kerja Peserta Didik (LKD) simulasi. Selain perangkat digital, peneliti juga menyiapkan perangkat praktik fisik dalam jumlah terbatas untuk memverifikasi keterampilan dasar siswa secara nyata. Instrumen pengumpulan data terdiri dari dua jenis, yaitu tes tertulis untuk mengukur hasil belajar kognitif yang diberikan saat *pretest* dan *posttest*, serta lembar penilaian psikomotorik. Lembar observasi psikomotorik ini dirancang menggunakan rubrik khusus untuk menilai kemampuan teknis siswa dalam menyusun komponen, merangkai jalur kelistrikan, dan melakukan simulasi operasional pada aplikasi sesuai dengan standar operasional prosedur yang berlaku di industri ketenagalistrikan.

Teknik analisis data dilakukan dengan membandingkan perolehan skor siswa antara tes awal dan tes akhir untuk melihat signifikansi peningkatan kompetensi. Data kuantitatif dari hasil *pretest* dan *posttest* dianalisis menggunakan uji statistik yang relevan untuk membuktikan efektivitas penggunaan aplikasi *SimuRelay* terhadap penguasaan konsep rangkaian kendali. Di sisi lain, data hasil penilaian psikomotorik dianalisis secara deskriptif untuk memberikan gambaran mengenai profil keterampilan siswa, khususnya dalam aspek pemahaman logika kerja kontaktor, mekanisme penguncian atau *self-holding*, serta kemampuan melakukan pelacakan kesalahan atau *troubleshooting*. Analisis deskriptif ini melihat kecenderungan skor pada rubrik observasi untuk menentukan apakah simulasi digital mampu menunjang keterampilan praktik. Keseluruhan hasil analisis data kemudian disintesiskan untuk menarik kesimpulan yang valid mengenai kelayakan dan efektivitas media simulasi digital sebagai alternatif pembelajaran inovatif di tengah kendala sarana prasarana pendidikan vokasi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil

Perbandingan Nilai Pretest dan Posttest

Penelitian ini melibatkan 32 siswa kelas XI TITL 2. Nilai pretest dan posttest yang diperoleh siswa diringkas pada Tabel 1. Secara umum terlihat bahwa seluruh siswa mengalami peningkatan nilai setelah mengikuti pembelajaran menggunakan SimuRelay.

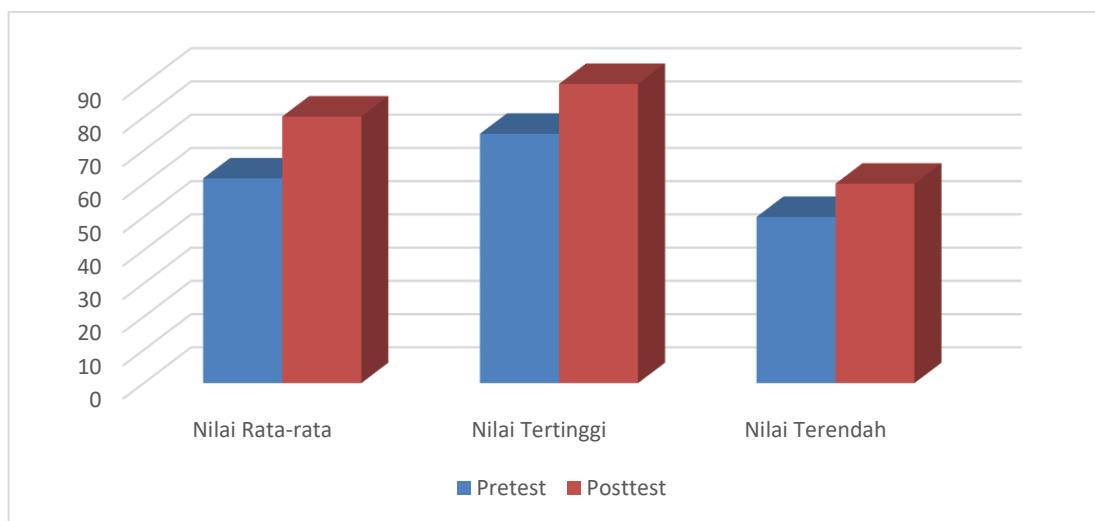
Tabel 1. Ringkasan Nilai Pretest dan Posttest

Keterangan	Nilai Rata-rata	Nilai Tertinggi	Nilai Terendah
Pretest	61,6	75	50
Posttest	80,2	90	60

Berdasarkan data ringkasan nilai yang tercantum pada Tabel 1, terlihat adanya peningkatan hasil belajar yang sangat signifikan pada 32 siswa kelas XI TITL 2 setelah penerapan media pembelajaran SimuRelay. Hal ini dibuktikan secara statistik dengan kenaikan nilai rata-rata kelas sebesar 18,6 poin, di mana skor awal pada saat pretest hanya sebesar 61,6 kemudian melonjak tajam menjadi 80,2 pada saat posttest. Perbaikan kualitas pemahaman siswa juga tercermin dari pergeseran positif pada rentang nilai ekstrem, di mana nilai terendah meningkat dari 50 menjadi 60, dan nilai tertinggi berhasil menembus angka 90 dari sebelumnya hanya 75. Keseluruhan data ini mengonfirmasi efektivitas metode pembelajaran tersebut dalam mendongkrak kompetensi akademis seluruh siswa secara merata.

Distribusi Nilai Siswa

Untuk melihat pola kenaikan nilai lebih jelas, data divisualisasikan dalam gambar grafik.



Gambar 1 Ringkasan Nilai Pretest dan Posttest

Berdasarkan visualisasi data statistik yang tersaji pada Gambar 1, terlihat jelas adanya peningkatan hasil belajar yang signifikan antara tahap pretest dan posttest setelah penerapan metode pembelajaran menggunakan SimuRelay. Grafik batang menunjukkan tren kenaikan positif di seluruh indikator pengukuran. Nilai rata-rata kelas mengalami lonjakan substansial, yang digambarkan dengan perbedaan tinggi batang merah yang dominan dibandingkan batang biru. Peningkatan kualitas pembelajaran juga tercermin dari naiknya nilai tertinggi yang hampir mencapai skor maksimal, serta perbaikan pada nilai terendah yang turut terangkat. Fenomena ini mengonfirmasi bahwa intervensi pembelajaran yang dilakukan berhasil meningkatkan kompetensi siswa secara merata dan efektif memperbaiki capaian akademik kelas secara keseluruhan.

Pembahasan

Analisis mendalam terhadap data kuantitatif menunjukkan bahwa penerapan media pembelajaran berbasis simulasi memberikan dampak yang sangat signifikan terhadap

peningkatan kompetensi kognitif siswa pada mata pelajaran instalasi motor listrik. Lonjakan nilai rata-rata kelas sebesar 18,6 poin, yang bergerak dari angka 61,6 pada saat *pretest* menjadi 80,2 pada saat *posttest*, mengindikasikan efektivitas intervensi yang kuat. Perubahan ini tidak hanya terjadi pada level rata-rata, tetapi juga tercermin dari pergeseran distribusi nilai secara keseluruhan, di mana nilai batas bawah dan batas atas mengalami kenaikan yang konsisten. Fakta bahwa seluruh siswa tanpa terkecuali mengalami peningkatan skor membuktikan bahwa metode simulasi ini bersifat inklusif dan mampu memfasilitasi berbagai tingkat kemampuan awal siswa. Keberhasilan menembus angka maksimal 90 menunjukkan bahwa media ini tidak hanya membantu siswa yang kesulitan untuk lulus, tetapi juga memfasilitasi siswa berpotensi tinggi untuk mencapai penguasaan materi yang optimal dalam waktu pembelajaran yang relatif singkat (Sari & Yarza, 2021; Setiyaningsih et al., 2023).

Secara substansial, peningkatan hasil belajar ini mencerminkan adanya transformasi pemahaman siswa terhadap konsep abstrak rangkaian *Direct On Line* (DOL) yang selama ini sering menjadi hambatan. Sebelum penggunaan media simulasi, siswa cenderung hanya menghafal bentuk simbol komponen tanpa memahami logika operasionalnya secara utuh. Namun, visualisasi dinamis yang ditawarkan oleh perangkat lunak memungkinkan siswa untuk melihat secara *real-time* bagaimana arus listrik mengalir melalui kontak bantu *Normally Open* (NO) dan *Normally Closed* (NC). Konsep penguncian atau *self-holding*, yang merupakan prinsip fundamental dalam kendali elektromagnetik, menjadi lebih mudah dipahami ketika siswa dapat melihat simulasi pergerakan tuas kontak saat tombol ditekan dan dilepas. Dengan demikian, peningkatan nilai yang terjadi bukan sekadar hasil dari hafalan jangka pendek, melainkan representasi dari terbentuknya model mental yang kokoh mengenai logika kerja sistem kendali motor listrik yang kompleks (Gobel et al., 2025; Rahayu et al., 2024).

Dari perspektif psikologi pendidikan, keberhasilan metode ini dapat dikaitkan dengan terciptanya lingkungan belajar yang aman dan bebas risiko atau *risk-free environment*. Dalam pembelajaran instalasi listrik konvensional, ketakutan akan bahaya sengatan listrik atau kerusakan komponen akibat hubungan singkat (*short circuit*) sering kali menjadi barier psikologis yang menghambat eksplorasi siswa. Media simulasi menghilangkan faktor risiko tersebut, sehingga menurunkan filter afektif dan kecemasan siswa. Kondisi ini memungkinkan penerapan prinsip *trial and error* secara leluasa, di mana siswa didorong untuk mencoba, gagal, dan memperbaiki rangkaian berulang kali tanpa konsekuensi biaya atau keselamatan. Proses repetisi dan eksplorasi yang intensif ini selaras dengan teori belajar konstruktivisme, di mana pengetahuan dibangun secara aktif melalui pengalaman langsung. Siswa yang sebelumnya pasif karena takut salah, kini memiliki kepercayaan diri lebih tinggi untuk bereksperimen, yang pada akhirnya memperdalam pemahaman mereka terhadap materi (Isran et al., 2025; Nailinda et al., 2025; Putri et al., 2025).

Temuan penelitian ini juga mengonfirmasi dan memperkuat tren positif yang telah dilaporkan dalam berbagai studi literatur terdahulu mengenai efektivitas laboratorium virtual. Konsistensi hasil ini dengan penelitian-penelitian sebelumnya menegaskan bahwa integrasi teknologi simulasi adalah solusi pedagogis yang valid untuk mengatasi tantangan dalam pendidikan vokasi. Sinergi antara teori dan praktik yang dimediasi oleh teknologi terbukti mampu meningkatkan keterlibatan kognitif siswa. Kemampuan aplikasi simulasi untuk menyajikan representasi visual yang akurat membantu siswa menjembatani kesenjangan antara diagram skematis dua dimensi di atas kertas dengan perilaku komponen fisik di dunia nyata. Hal ini menunjukkan bahwa media *SimuRelay* dan sejenisnya bukan sekadar alat bantu visual tambahan, melainkan instrumen kognitif yang vital untuk membantu siswa memvisualisasikan proses-proses teknis yang tidak kasat mata, seperti aliran arus dan perubahan status kontak dalam sistem kelistrikan (Mustaqim et al., 2025; Ningrum et al., 2022; Rahayu et al., 2024).



Implikasi praktis dari penelitian ini sangat relevan untuk mengatasi kendala struktural yang umum dihadapi oleh Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), yaitu keterbatasan sarana dan prasarana praktik. Rasio jumlah alat yang tidak sebanding dengan jumlah siswa sering kali menyebabkan waktu tunggu yang lama dalam pembelajaran praktik konvensional, sehingga jam belajar efektif berkurang. Penggunaan simulasi digital menawarkan solusi efisiensi dengan memungkinkan setiap siswa memiliki alat peraga virtualnya sendiri melalui gawai masing-masing. Hal ini mendukung pemerataan kesempatan belajar, di mana siswa tidak perlu berebut alat untuk mencoba merangkai sirkuit. Selain itu, simulasi ini dapat berfungsi sebagai jembatan atau *pre-lab activity* yang efektif. Dengan memastikan siswa paham logika rangkaian di dunia maya terlebih dahulu, waktu praktik di bengkel nyata dengan alat fisik dapat dimanfaatkan secara lebih efisien untuk fokus pada keterampilan psikomotorik murni, seperti kerapian pemasangan kabel (Beemt et al., 2022; Bima et al., 2021; Tokatlidis et al., 2024).

Selain pemahaman konsep dasar, media simulasi juga terbukti ampuh dalam melatih kemampuan berpikir kritis siswa melalui aktivitas pelacakan kesalahan atau *troubleshooting*. Umpaman instan yang diberikan oleh sistem ketika terjadi kesalahan pengawatan (*wiring*) memaksa siswa untuk segera melakukan evaluasi diri dan analisis logis. Siswa dilatih untuk tidak sekadar mengikuti instruksi pemasangan kabel secara buta, tetapi memahami hubungan sebab-akibat dalam rangkaian. Misalnya, ketika motor tidak berputar atau lampu indikator tidak menyala sesuai skenario, siswa dituntut untuk melacak kembali jalur arus dan posisi kontak. Kemampuan analisis diagnostik ini merupakan kompetensi tingkat tinggi yang sangat dibutuhkan di dunia industri. Transformasi dari sekadar perakit menjadi analis rangkaian inilah yang menjadi nilai tambah utama dari pembelajaran berbasis simulasi, mempersiapkan siswa untuk menghadapi masalah teknis yang tidak terduga di lapangan kerja nantinya.

Meskipun penelitian ini menunjukkan hasil yang sangat positif, terdapat beberapa keterbatasan yang perlu diakui secara objektif sebagai bahan evaluasi. Keterbatasan utama terletak pada aspek haptik atau sentuhan fisik; kemahiran merangkai di layar gawai tidak serta-merta menjamin keterampilan tangan siswa dalam mengupas kabel, mengencangkan baut terminal, atau mengatur tata letak komponen di panel nyata. Simulasi hanya memperkuat aspek kognitif dan logika prosedural, namun tidak dapat menggantikan sensasi motorik halus yang diperlukan dalam pekerjaan instalasi listrik sesungguhnya. Oleh karena itu, implikasi jangka panjangnya adalah simulasi harus ditempatkan sebagai metode komplementer atau pelengkap, bukan pengganti total dari praktik bengkel. Rekomendasi untuk pembelajaran masa depan adalah menerapkan model *hybrid*, di mana penguatan logika dilakukan melalui simulasi, sementara penyempurnaan keterampilan teknis tetap dilakukan melalui interaksi langsung dengan perangkat keras di laboratorium.

KESIMPULAN

Penggunaan SimuRelay dalam pembelajaran rangkaian DOL terbukti membantu siswa membangun pemahaman yang lebih mendalam tentang logika kerja sistem kendali motor listrik. Simulasi memungkinkan siswa mengamati hubungan antar komponen secara langsung, mencoba berbagai kondisi rangkaian, serta memahami penyebab gangguan dengan lebih terstruktur. Pembelajaran menjadi lebih bermakna karena siswa tidak hanya mengikuti prosedur, tetapi membangun penalaran secara mandiri. Hasil penelitian ini menunjukkan bahwa simulasi digital dapat menjadi jembatan efektif menuju praktik nyata, terutama di sekolah dengan keterbatasan sarana. SimuRelay dapat memperkuat kesiapan siswa sebelum berhadapan dengan peralatan fisik, sekaligus meningkatkan keberanian dan fleksibilitas mereka dalam bereksperimen. Ke depan, penggunaan simulasi berpotensi dikembangkan pada materi kontrol motor lainnya dan dipadukan dengan model pembelajaran berbasis masalah agar kemampuan



analitis siswa semakin tajam. Selain itu, penelitian lanjutan dapat menguji sejauh mana keterampilan yang diperoleh melalui simulasi berpindah secara konsisten ke praktik nyata. Dengan arah pengembangan ini, SimuRelay dapat menjadi bagian penting dari strategi peningkatan kualitas pembelajaran vokasi di SMK.

DAFTAR PUSTAKA

- Badarudin, R., Hariyanto, D., Supriyadi, E., Djatmiko, I. W., Husna, A. F., Kassymova, G. K., & Lu, Y. (2024). Enhancing digital learning in electrical machines practical course using a cutting-edge desktop virtual laboratory for DC motor simulation. *TEM Journal*, 2522. <https://doi.org/10.18421/tem133-78>
- Bima, M., Saputro, H., & Efendy, A. (2021). Virtual laboratory to support a practical learning of micro power generation in Indonesian vocational high schools. *Open Engineering*, 11(1), 508. <https://doi.org/10.1515/eng-2021-0048>
- Dhiefayanti, D. M., & Mundir, M. (2025). Analisis proses berpikir siswa SMP dalam menyelesaikan masalah statistika berdasarkan teori dual-process. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(4), 1658. <https://doi.org/10.51878/science.v5i4.7228>
- Gobel, A. R., Abdullah, G., Aries, N. S., Marshanawiah, A., & Assel, H. Y. (2025). Pengaruh model PBL berbantuan video animasi terhadap kemampuan pemecahan masalah pada materi penjumlahan pengurangan pecahan. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(3), 1059. <https://doi.org/10.51878/science.v5i3.6655>
- Handarkho, Y. D., Indriasari, T. D., W. P., Y. S. P., Dewi, F. K. S., Palangan, C. Y., Citrayasa, V., Pradnya, A. G., & Herlina, H. (2025). Factors affecting students' acceptance of learning simulation tools in computing education courses from social, technology, and personal trait perspectives. *Journal of Information and Organizational Sciences*, 49(2), 251. <https://doi.org/10.31341/jios.49.2.6>
- Isnaini, M., Dewy, M. S., Solihin, M. D., & Hutahaean, H. D. (2023). Trainer pengaturan motor listrik untuk praktikum penggunaan dan pengaturan motor listrik. *Jurnal Teknologi Informasi & Komunikasi Dalam Pendidikan*, 10(2), 71. <https://doi.org/10.24114/jtkp.v10i2.54006>
- Isran, I., Wibowo, E., & Laruli, L. (2025). Penerapan model pembelajaran assurance, relevance, interest, assessment, satisfaction dalam meningkatkan hasil belajar trigonometri. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(4), 1720. <https://doi.org/10.51878/science.v5i4.7217>
- Mustaqim, B., Opetu, D. O., Sibuea, A. M., Siagian, S., & Junaidi, A. (2025). Enhancing learning outcomes in basic electricity and electronics: The power of simulation media in problem-based learning. *Vocational*, 2(1), 1. <https://doi.org/10.58740/vocational.v2i1.365>
- Nailinda, V., Alim, J. A., & Sekarwinahyu, M. (2025). Implementasi pembelajaran STEM (science, technology, engineering, and mathematics) terhadap keterampilan berpikir kritis siswa sekolah dasar. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(1), 363. <https://doi.org/10.51878/science.v5i1.4700>
- Nasution, E. Y., & Amin, M. (2024). Pengembangan lembar kerja praktikum mata pelajaran instalasi motor listrik kelas XI teknik instalasi tenaga listrik di SMK Negeri 1 Lubuk Pakam. *JEVTE Journal of Electrical Vocational Teacher Education*, 3(2), 147. <https://doi.org/10.24114/jevte.v3i2.57183>

- Ningrum, A. S., Muslim, S., & Siregar, E. (2022). Multimedia simulation model on basic electrical and electronics subjects for vocational secondary school. *Journal of Education Research and Evaluation*, 6(1), 72. <https://doi.org/10.23887/jere.v6i1.38783>
- Putri, D. A. H., Suntari, Y., & Yudha, C. B. (2025). Implementasi model children learning in science dalam pembelajaran IPAS materi ekosistem kelas III. *SCIENCE Jurnal Inovasi Pendidikan Matematika dan IPA*, 5(2), 627. <https://doi.org/10.51878/science.v5i2.5096>
- Rahayu, W., Arif, M. S., Sugiarto, H., & Bibi, S. (2024). Pengembangan interactive virtual laboratory rangkaian listrik dasar sebagai pendukung media pembelajaran. *Jurnal Pendidikan Informatika dan Sains*, 13(1), 88. <https://doi.org/10.31571/saintek.v13i1.6752>
- Sari, P. M., & Yarza, H. N. (2021). Pelatihan penggunaan aplikasi Quizizz dan Wordwall pada pembelajaran IPA bagi guru-guru SDIT Al-Kahfi. *SELAPARANG Jurnal Pengabdian Masyarakat Berkemajuan*, 4(2), 195. <https://doi.org/10.31764/jpmb.v4i2.4112>
- Setianingsih, I., Yosiani, P. D., & Sudiana, I. W. (2023). Implementasi media pembelajaran audio visual terhadap kemampuan menulis peserta didik kelas XII MIPA 1 di SMA Negeri 2 Bangli tahun 2022. *Faktor Jurnal Ilmiah Kependidikan*, 10(2), 104. <https://doi.org/10.30998/fjik.v10i2.14769>
- Tokatlidis, C., Tselegkaridis, S., Rapti, S., Sapounidis, T., & Papakostas, D. K. (2024). Hands-on and virtual laboratories in electronic circuits learning—knowledge and skills acquisition. *Information*, 15(11), 672. <https://doi.org/10.3390/info15110672>
- van den Beemt, A., Groothuijsen, S. E. A., Özkan, L., & Hendrix, W. H. A. (2022). Remote labs in higher engineering education: Engaging students with active learning pedagogy. *Journal of Computing in Higher Education*, 35(2), 320. <https://doi.org/10.1007/s12528-022-09331-4>
- Wulandari, A., Ramadhani, A. A., & Putri, J. K. (2024). Pengembangan alat peraga motor listrik sederhana pada materi gaya Lorentz. *Journal on Education*, 6(4), 18268. <https://doi.org/10.31004/joe.v6i4.5700>
- Wut, T. M., Wong, H., & Ng, P. (2025). Does simulation learning environment matter? Student engagement in higher education. *Education and Information Technologies*. <https://doi.org/10.1007/s10639-025-13730-2>