

Pembelajaran Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi pada Alat Ukur Listrik

Eka Hilal Hamdi^{1*}, Fivia Eliza²

^{1,2} Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

Email Penulis Korespondensi*: ekahilalhamdi@student.unp.ac.id

Article Info

Article history:

Received 27 July 2026

Revised 18 August 2026

Accepted 26 August 2026

Kata kunci:

Pembelajaran berbasis masalah,
Simulasi PhET,
Hasil belajar kognitif,
Alat ukur Listrik,
Pendidikan kejuruan

ABSTRAK

Pembelajaran alat ukur listrik di SMK memerlukan kegiatan yang menghubungkan pemahaman konsep dengan pemecahan masalah pengukuran. Penelitian ini bertujuan membandingkan hasil belajar kognitif peserta didik yang mengikuti pembelajaran berbasis masalah (PBL) berbantuan simulasi *Physics Education Technology* (PhET) dengan pembelajaran konvensional. Penelitian menggunakan eksperimen semu dengan nonequivalent control group design pada 72 peserta didik kelas X Teknik Instalasi Tenaga Listrik di SMKN 1 Sumatera Barat, masing-masing 36 peserta didik pada kelas eksperimen dan kelas kontrol. Data diperoleh melalui tes pilihan ganda 25 butir dan dianalisis menggunakan statistik deskriptif, Shapiro-Wilk, Levene's test, dan independent-samples t-test. Pretest menunjukkan kemampuan awal tidak berbeda signifikan, $t(70) = 0,448$, $p = 0,656$. Pada posttest, kelas eksperimen memperoleh rata-rata 81,22 dengan ketuntasan 66,7%, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 69,78 dengan ketuntasan 38,9%. Uji t terhadap skor posttest menunjukkan perbedaan signifikan, $t(70) = 4,057$, $p < 0,001$, dengan selisih rata-rata 11,44 poin dan interval kepercayaan 95% sebesar 5,82–17,07. Kecenderungan data menunjukkan capaian kognitif dan proporsi ketuntasan lebih tinggi pada kelas PBL berbantuan PhET

Penulis Korespondensi:

Eka Hilal Hamdi

Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang

Kampus UNP Pusat, Jl. Prof. Hamka, Air Tawar, Padang 25131, Indonesia

Email: ekahilalhamdi@student.unp.ac.id

A. PENDAHULUAN

Pendidikan teknik dan kejuruan memerlukan keterampilan praktis perlu disertai kemampuan berpikir kritis agar peserta didik dapat menilai informasi dan menyelesaikan persoalan yang muncul dalam konteks teknis. López et al. menunjukkan bahwa intervensi pembelajaran yang terstruktur pada konteks technical and vocational education and training dapat meningkatkan keterampilan berpikir kritis [26]. Pada pembelajaran praktik instalasi listrik, Hudallah melaporkan bahwa tugas berbasis masalah nyata yang diselesaikan secara kolaboratif meningkatkan keterlibatan, pemahaman konsep, dan hasil belajar peserta didik [27]. Temuan tersebut relevan dengan mata pelajaran Dasar-Dasar Ketenagalistrikan pada program Teknik Instalasi Tenaga

Listrik. Materi alat ukur listrik menjadi salah satu fondasi karena peserta didik harus memahami besaran arus, tegangan, dan hambatan; menentukan fungsi alat ukur; memasang amperemeter secara seri dan voltmeter secara paralel; serta menafsirkan hasil pengukuran. Kesalahan pada tahap ini tidak hanya menghasilkan jawaban akademik yang keliru, tetapi juga dapat membentuk prosedur pengukuran yang tidak tepat ketika peserta didik berhadapan dengan peralatan nyata.

Hasil observasi awal di SMKN 1 Sumatera Barat menunjukkan bahwa capaian peserta didik pada materi tersebut belum merata. Dari 36 peserta didik kelas X TITL 3, sebanyak 14 peserta didik atau 39% belum mencapai Kriteria Ketercapaian Tujuan Pembelajaran sebesar 75. Pengamatan pembelajaran juga menunjukkan bahwa peserta didik masih memerlukan kegiatan yang secara konsisten menempatkan mereka sebagai pemecah masalah: mengenali gejala pengukuran yang tidak wajar, merumuskan dugaan, menguji susunan rangkaian, membandingkan data, dan menjelaskan perbaikan. Apabila konsep hanya diberikan sebagai prosedur siap pakai, peserta didik dapat menghafal posisi alat ukur tanpa memahami alasan kelistrikannya.

Pembelajaran berbasis masalah atau *Problem Based Learning* (PBL) mengorganisasikan pengalaman belajar melalui masalah autentik sebagai titik awal penyelidikan. Peserta didik mengaktifkan pengetahuan awal, menentukan informasi yang diperlukan, mencari bukti, menguji alternatif penyelesaian, menyajikan hasil, dan merefleksikan prosesnya, sedangkan guru memberi tujuan, pertanyaan penuntun, dan scaffolding sesuai kebutuhan [1], [2]. Kajian terdahulu menunjukkan bahwa PBL cenderung kuat dalam membangun keterampilan penerapan pengetahuan, walaupun hasil pada penguasaan pengetahuan dapat dipengaruhi oleh kualitas masalah, waktu, dan dukungan pembelajaran [3]. Oleh karena itu, penerapan PBL tidak cukup hanya dengan memberi tugas kelompok berlabel masalah; masalah harus relevan, penyelidikan harus terarah, dan hasilnya harus dikaitkan kembali dengan konsep.

Pada materi alat ukur listrik, penyelidikan dapat terhambat oleh keterbatasan jumlah komponen, risiko kesalahan sambungan, dan kesulitan mengamati aliran listrik secara langsung. Simulasi *Physics Education Technology* (PhET), khususnya Circuit Construction Kit: DC - Virtual Lab, menyediakan lingkungan interaktif untuk membangun rangkaian, mengubah tegangan atau hambatan, memasang alat ukur virtual, serta mengamati konsekuensi perubahan secara langsung [4]-[6]. Simulasi tidak menggantikan praktik nyata, tetapi dapat menyediakan ruang aman untuk prediksi, uji coba berulang, koreksi kesalahan, dan diskusi berbasis data. Agar eksplorasi tidak berubah menjadi kegiatan mencoba-coba tanpa tujuan, arahan, LKPD, dan pertanyaan konseptual tetap diperlukan [7].

Sejumlah penelitian melaporkan kecenderungan positif ketika PBL, simulasi PhET, atau keduanya digunakan dalam pembelajaran sains. PBL dengan pendekatan STEM dilaporkan mendukung hasil belajar kognitif [8], sedangkan perangkat PBL berbantuan PhET dapat melatih berpikir kritis [9]. Penerapan PBL-PhET juga dikaitkan dengan peningkatan hasil belajar, keterampilan berpikir tingkat tinggi, dan pemecahan masalah pada berbagai konteks [10], [11], [14], [15], [17]-[22]. Pada jenjang SMK, pemanfaatan PhET dan pengembangan pembelajaran virtual berbasis PBL juga menunjukkan potensi yang relevan [12], [13], [16]. Meskipun demikian, sebagian besar studi tersebut dilaksanakan pada materi fisika umum, jenjang SMA atau MAN, atau berfokus pada pengembangan produk dan peningkatan skor dalam satu kelompok.

Kesenjangan penelitian ini terletak pada konteks dan prosedur penerapan. Integrasi lima fase PBL Arends dengan Circuit Construction Kit: DC - Virtual Lab diarahkan secara khusus pada masalah pemasangan amperemeter dan voltmeter, pembacaan hasil ukur, serta hubungan arus, tegangan, dan hambatan dalam mata pelajaran Dasar-Dasar Ketenagalistrikan di kelas X TITL. Penelitian membandingkan kelas yang memperoleh PBL berbantuan PhET dengan kelas yang memperoleh pembelajaran konvensional, menggunakan pretest untuk memeriksa kondisi awal dan posttest sebagai data utama. Berdasarkan kerangka tersebut, penelitian bertujuan mengetahui apakah terdapat perbedaan hasil belajar kognitif peserta didik setelah mengikuti dua pengalaman

pembelajaran tersebut. Hipotesis penelitian menyatakan bahwa rata-rata posttest kelas PBL berbantuan PhET berbeda dan lebih tinggi daripada kelas pembelajaran konvensional.

B. METODE

Penelitian menggunakan pendekatan kuantitatif dengan metode eksperimen semu dan rancangan nonequivalent control group design [23]. Rancangan ini dipilih karena penelitian dilakukan pada kelas yang telah terbentuk sehingga pengacakan peserta didik secara individual tidak dapat dilaksanakan. Kedua kelas memperoleh pretest dan posttest. Kelas eksperimen memperoleh PBL berbantuan PhET, sedangkan kelas kontrol mengikuti pembelajaran konvensional yang biasa diterapkan guru dengan materi, tujuan, alokasi waktu, dan cakupan evaluasi yang disetarakan. Rancangan penelitian disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Rancangan penelitian

Kelompok	Pretest	Perlakuan	Posttest
Eksperimen	O ₁	PBL berbantuan PhET	O ₂
Kontrol	O ₁	Pembelajaran konvensional	O ₂

Subjek ditentukan pada tingkat kelas menggunakan cluster random sampling. Tiga kelas X TITL yang mengikuti kurikulum, tingkat, dan materi yang sama diperlakukan sebagai klaster. Melalui pengundian kelas, X TITL 1 ditetapkan sebagai kelas eksperimen dan X TITL 2 sebagai kelas kontrol. Masing-masing kelas terdiri atas 36 peserta didik sehingga jumlah subjek utama sebanyak 72 peserta didik. Kelas X TITL 3 yang juga berjumlah 36 peserta didik digunakan untuk uji coba instrumen dan tidak dimasukkan ke dalam analisis utama. Pengacakan pada tingkat kelas membantu mengurangi pemilihan kelas secara subjektif, tetapi tidak menyamakan rancangan ini dengan eksperimen acak individual [24].

Variabel perlakuan adalah pembelajaran berbasis masalah berbantuan simulasi PhET, sedangkan variabel hasil adalah hasil belajar kognitif pada materi alat ukur listrik. Materi mencakup konsep besaran dan satuan listrik, fungsi dan simbol alat ukur, penggunaan aman, pemasangan amperemeter dan voltmeter, pembacaan hasil ukur, hubungan tegangan-arus-hambatan, serta analisis kesalahan sederhana. Pengendalian prosedural dilakukan melalui kesamaan tujuan pembelajaran, materi pokok, waktu pembelajaran, kisi-kisi tes, dan guru pengampu sejauh kondisi sekolah memungkinkan.

Instrumen utama berupa tes objektif pilihan ganda 25 butir dengan kisi-kisi yang sama untuk pretest dan posttest sebagaimana disajikan pada Tabel 2. Jawaban benar diberi skor 1 dan jawaban salah diberi skor 0, kemudian jumlah skor dikonversi secara linear ke skala 0–100. Sebelum digunakan, bentuk uji coba 35 butir diberikan kepada 36 peserta didik kelas X TITL 3. Validitas butir dianalisis menggunakan korelasi point-biserial dengan r tabel 0,329 ($df = 34$; $\alpha = 0,05$); sebanyak 31 butir memenuhi kriteria validitas, sedangkan S11, S27, S32, dan S34 tidak memenuhi kriteria. Reliabilitas bentuk uji coba dihitung menggunakan KR-21 dan menghasilkan koefisien 0,935, yang menunjukkan konsistensi internal sangat tinggi. Instrumen final kemudian dipilih sebanyak 25 butir dari butir yang valid dengan mempertimbangkan tingkat kesukaran, daya pembeda, dan keterwakilan isi. Koefisien point-biserial 25 butir terpilih berada pada rentang 0,448–0,877. Dengan demikian, instrumen final hanya memuat butir yang memenuhi kriteria validitas, sedangkan bentuk uji cobanya menunjukkan reliabilitas yang sangat tinggi [25].

Tabel 2. Kisi-kisi instrumen pretest dan posttest

Aspek materi	Indikator	Nomor butir
Besaran listrik	Mengidentifikasi arus, tegangan, hambatan, dan satuan yang tepat.	1-3
Fungsi alat ukur	Menentukan fungsi amperemeter dan voltmeter.	4-7
Simbol dan penggunaan aman	Mengidentifikasi simbol serta batas penggunaan alat ukur dalam rangkaian sederhana.	8-10
Pemasangan amperemeter	Menentukan posisi pemasangan amperemeter secara seri.	11-13
Pemasangan voltmeter	Menentukan posisi pemasangan voltmeter secara paralel.	14-16
Pembacaan hasil ukur	Membaca dan menafsirkan nilai arus atau tegangan dari hasil pengukuran.	17-20
Hubungan V, I, dan R	Menganalisis hubungan arus, tegangan, dan hambatan menggunakan data rangkaian.	21-23
Analisis kesalahan pengukuran	Menentukan penyebab dan perbaikan kesalahan sederhana pada rangkaian pengukuran.	24-25
Jumlah butir	Tes hasil belajar kognitif.	25

Perlakuan pada kelas eksperimen dilaksanakan dalam dua pertemuan. Guru menyajikan kasus pengukuran yang keliru, mengorganisasikan kelompok dan LKPD, membimbing penyelidikan dengan Circuit Construction Kit: DC - Virtual Lab, memfasilitasi penyajian solusi berbasis data, dan menutup kegiatan dengan klarifikasi serta refleksi. Peserta didik membangun rangkaian virtual, memasang alat ukur, mengubah parameter, mencatat data, membandingkan hasil dengan dugaan, dan menjelaskan penyebab ketidaksesuaian. Ringkasan integrasi fase PBL dan simulasi disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Integrasi fase PBL dan simulasi PhET

Fase	Aktivitas pembelajaran utama
Orientasi masalah	Guru menyajikan kasus hasil ukur atau pemasangan alat yang keliru; peserta didik mengidentifikasi fakta dan masalah.
Organisasi belajar	Kelompok menyusun pertanyaan, dugaan, pembagian peran, dan rencana pengujian melalui LKPD.
Penyelidikan	Peserta didik membangun rangkaian, memasang alat ukur virtual, memanipulasi variabel, dan mencatat data; guru memberi pertanyaan penuntun.
Penyajian hasil	Kelompok menganalisis bukti, menyusun solusi, mempresentasikan hasil, dan menanggapi kelompok lain.
Analisis dan evaluasi	Guru dan peserta didik mengevaluasi ketepatan solusi, memperbaiki miskonsepsi, dan merumuskan simpulan konseptual.

Analisis data dilakukan secara bertahap. Pertama, statistik deskriptif digunakan untuk merangkum jumlah subjek, rata-rata, simpangan baku, nilai minimum-maksimum, distribusi frekuensi, serta frekuensi dan persentase ketuntasan berdasarkan KKTP 75. Kedua, data pretest dianalisis untuk memeriksa kondisi kemampuan awal kedua kelas. Ketiga, normalitas posttest diperiksa menggunakan Shapiro-Wilk karena ukuran tiap kelompok 36, sedangkan homogenitas varians diperiksa menggunakan Levene's test. Keempat, perbedaan hasil belajar ditentukan dari perbandingan skor posttest menggunakan independent-samples t-test pada taraf signifikansi 0,05; analisis utama tidak menggunakan N-gain. Karena varians homogen, interpretasi menggunakan baris equal variances assumed dan dilengkapi interval kepercayaan 95%.

Data *pretest* dan *posttest* yang dianalisis telah berada pada skala 0–100. Karena itu, tidak dilakukan konversi ulang pada bagian hasil. Persentase ketuntasan dihitung dari nilai individual dengan ambang KKTP 75 dan dipakai sebagai informasi deskriptif, sedangkan keputusan inferensial mengenai perbedaan hasil belajar tetap didasarkan pada *independent-samples t-test* terhadap skor *posttest*.

C. HASIL DAN DISKUSI

3.1. Kesetaraan Kemampuan Awal

Rata-rata *pretest* kelas eksperimen sebesar 53,11 dan kelas kontrol sebesar 51,89. Kedua kelas memiliki nilai minimum 28 dan maksimum 80, sedangkan simpangan bakunya hampir sama, yaitu 11,58 dan 11,57. Berdasarkan KKTP 75, sebanyak 1 peserta didik kelas eksperimen (2,8%) dan 2 peserta didik kelas kontrol (5,6%) mencapai ketuntasan. Selisih rata-rata awal hanya 1,22 poin dan ketuntasan awal sama-sama rendah, sehingga kemampuan awal kedua kelas tampak relatif berdekatan sebelum pengujian inferensial dilakukan.

Tabel 4. Statistik deskriptif dan pengujian data pretest

Indikator	Eksperimen	Kontrol	Interpretasi
N	36	36	Data lengkap
Rata-rata	53,11	51,89	Selisih 1,22 poin
Simpangan baku	11,58	11,57	Penyebaran hampir sama
Minimum-maksimum	28-80	28-80	Rentang sama
Shapiro-Wilk (p)	0,637	0,330	Keduanya normal
Levene F	F = 0,009; p = 0,923	-	Varians homogen
Uji t independen	t = 0,448; df = 70; p = 0,656	-	Tidak berbeda signifikan
Ketuntasan KKTP 75	1 (2,8%)	2 (5,6%)	Sama-sama rendah

Uji *Shapiro-Wilk* menghasilkan $p = 0,637$ pada kelas eksperimen dan $p = 0,330$ pada kelas kontrol; keduanya lebih besar dari 0,05. *Levene's test* menghasilkan $F = 0,009$ dan $p = 0,923$, sehingga varians kedua kelompok dapat dianggap homogen. *Independent-samples t-test* menghasilkan $t(70) = 0,448$ dan $p = 0,656$, dengan selisih rata-rata 1,22 poin, galat baku 2,73, serta interval kepercayaan 95% dari -4,22 hingga 6,66. Hasil tersebut tidak memberikan bukti adanya perbedaan kemampuan awal yang signifikan. Dengan demikian, perbandingan *posttest* memiliki dasar yang lebih wajar, meskipun *pretest* tidak mengendalikan seluruh perbedaan kelas yang mungkin tidak terukur.

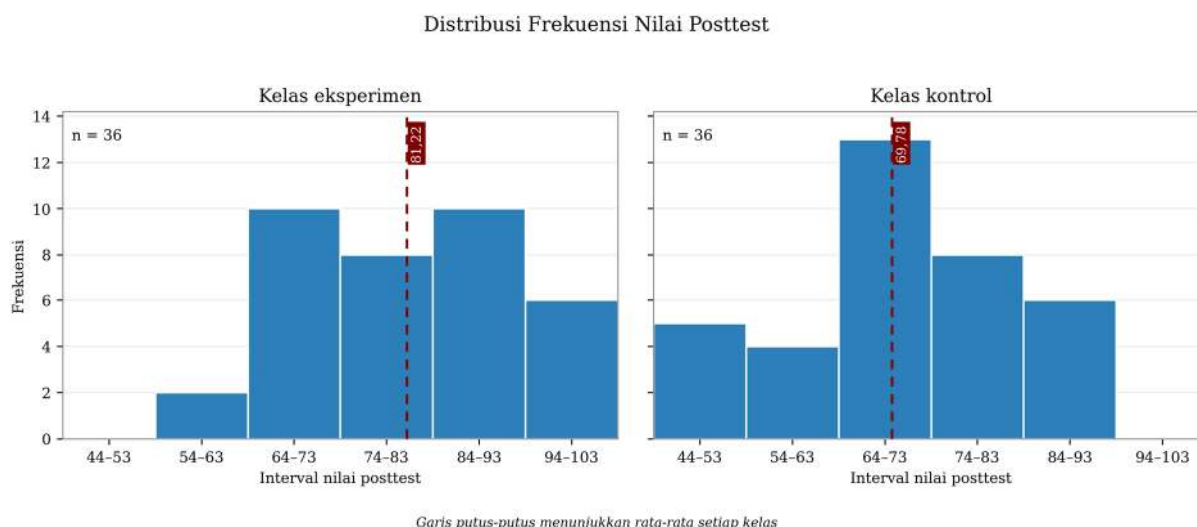
3.2. Perbedaan Hasil Belajar Setelah Perlakuan

Kelas eksperimen memperoleh rata-rata *posttest* 81,22 dengan simpangan baku 11,55, sedangkan kelas kontrol memperoleh rata-rata 69,78 dengan simpangan baku 12,37. Selisih deskriptif sebesar 11,44 poin mengarah pada capaian yang lebih tinggi di kelas PBL berbantuan PhET. Nilai kelas eksperimen berada pada rentang 56–100, sedangkan kelas kontrol 44–92. Berdasarkan KKTP 75, sebanyak 24 peserta didik kelas eksperimen (66,7%) dan 14 peserta didik kelas kontrol (38,9%) mencapai ketuntasan. Proporsi ketuntasan kelas eksperimen lebih tinggi 27,8 poin persentase.

Tabel 5. Statistik deskriptif data posttest

Kelas	N	Rata-rata	Simpangan baku	Rentang nilai	Ketuntasan KKTP 75
Eksperimen	36	81,22	11,55	56–100	24 (66,7%)
Kontrol	36	69,78	12,37	44–92	14 (38,9%)

Berdasarkan data interval pada proposal, Gambar 1 menyajikan histogram frekuensi empiris untuk kelas eksperimen dan kelas kontrol. Frekuensi kelas eksperimen pada interval 44–53, 54–63, 64–73, 74–83, 84–93, dan 94–103 berturut-turut adalah 0, 2, 10, 8, 10, dan 6; sedangkan kelas kontrol adalah 5, 4, 13, 8, 6, dan 0. Rata-rata *posttest* masing-masing kelas adalah 81,22 pada kelas eksperimen dan 69,78 pada kelas kontrol.



Gambar 1. Histogram empiris distribusi interval nilai post-test pada kedua kelas

Asumsi parametrik terpenuhi. Nilai Shapiro-Wilk kelas eksperimen sebesar 0,946 dengan $p = 0,078$ dan kelas kontrol sebesar 0,969 dengan $p = 0,411$. Levene's test menghasilkan $F = 0,017$ dan $p = 0,898$. Karena seluruh nilai p untuk pemeriksaan asumsi lebih besar dari 0,05, uji perbedaan diinterpretasikan dengan asumsi varians yang sama. Ringkasan pemeriksaan asumsi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Pemeriksaan asumsi data posttest

Uji	Eksperimen	Kontrol	Keputusan
Shapiro-Wilk	$W = 0,946; p = 0,078$	$W = 0,969; p = 0,411$	Normal
Levene	$F = 0,017; p = 0,898$	-	Varians homogen

Independent-samples t-test terhadap skor posttest menghasilkan $t(70) = 4,057$ dan $p < 0,001$. Selisih rata-rata 11,44 poin memiliki interval kepercayaan 95% dari 5,82 sampai 17,07, sehingga interval tidak melintasi nol. Hipotesis nol ditolak dan terdapat perbedaan hasil belajar kognitif yang signifikan antara kedua kelas. Secara deskriptif, ketuntasan kelas eksperimen mencapai 66,7%, lebih tinggi daripada kelas kontrol sebesar 38,9%. Karena pretest digunakan hanya untuk memeriksa kondisi awal dan tidak menunjukkan perbedaan signifikan, hasil inferensial penelitian dibaca sebagai perbedaan rerata posttest setelah dua pengalaman pembelajaran, bukan sebagai perbandingan N-gain.

Tabel 7. Hasil uji perbedaan posttest

Statistik	Nilai
Selisih rata-rata	11,44 poin
t; df	4,057; 70
p dua arah	< 0,001
Interval kepercayaan 95%	5,82-17,07

3.3. Diskusi Temuan

Perbedaan *posttest* dapat dipahami melalui cara PBL dan *PhET* membentuk proses belajar. Masalah pengukuran yang autentik mendorong peserta didik menggunakan konsep sebagai alat untuk menjelaskan kejadian, bukan sekadar sebagai definisi. Ketika hasil pengukuran tidak sesuai, peserta didik harus memeriksa susunan rangkaian, posisi alat, nilai komponen, dan hubungan antarbesaran. Aktivitas tersebut sejalan dengan karakter PBL yang menekankan analisis masalah,

Pembelajaran Berbasis Masalah Berbantuan Simulasi ... (Eka Hilal Hamdi)

penyelidikan, komunikasi solusi, dan refleksi [1], [2]. Proses elaborasi ini berpotensi menghasilkan representasi pengetahuan yang lebih terhubung daripada pembelajaran yang didominasi penjelasan dan latihan prosedural.

Simulasi *PhET* memperkuat penyelidikan dengan memberikan umpan balik langsung. Peserta didik dapat melihat bahwa amperemeter harus menjadi bagian dari lintasan arus, sedangkan voltmeter membandingkan beda potensial pada dua titik. Perubahan hambatan atau sumber tegangan segera diikuti perubahan pembacaan alat ukur. Representasi dinamis tersebut membantu menghubungkan simbol rangkaian, gerak muatan, dan nilai numerik, sesuai prinsip multimedia yang menekankan koordinasi kata dan visual untuk membangun model mental [4]. *PhET* juga memungkinkan pengulangan tanpa merusak komponen, sehingga kesalahan dapat dijadikan sumber bukti, bukan sekadar sesuatu yang harus dihindari [5], [6].

Namun, hasil ini tidak tepat diatribusikan kepada perangkat lunak secara terpisah. Simulasi menyediakan lingkungan, sedangkan kualitas belajar ditentukan pula oleh masalah, LKPD, pembagian peran, pertanyaan penuntun, diskusi, presentasi, dan klarifikasi guru. Penelitian mengenai pembelajaran inkuiri menunjukkan bahwa bimbingan berperan penting agar kebebasan eksplorasi tidak menambah beban dan kebingungan [7]. Dalam penelitian ini, lima fase PBL mengubah simulasi dari media demonstrasi menjadi alat investigasi: peserta didik menyusun dugaan sebelum mencoba, mencatat hasil, dan mempertanggungjawabkan solusi menggunakan data.

Temuan penelitian sejalan dengan laporan Nisa et al. [10], Novita et al. [14], dan Jamila et al. [15] bahwa kelompok yang memperoleh PBL berbantuan *PhET* menunjukkan capaian kognitif lebih baik. Kecenderungan yang sama tampak pada penelitian Rumansara et al. [17] serta Syamsudin et al. [22], walaupun materi, desain, dan jenjangnya berbeda. Penelitian ini juga konsisten dengan hasil pada keterampilan berpikir tingkat tinggi dan pemecahan masalah [11], [18]-[21]. Kesamaan temuan memperkuat dugaan bahwa kombinasi masalah bermakna dan lingkungan simulasi interaktif dapat mendukung pemrosesan konsep secara aktif.

Kontribusi penelitian ini bukan klaim bahwa PBL atau *PhET* belum pernah digunakan. Kebaruannya bersifat kontekstual dan prosedural: integrasi PBL-*PhET* diterapkan pada kompetensi alat ukur listrik di SMK, dengan masalah yang langsung berkaitan dengan pemasangan amperemeter dan voltmeter serta interpretasi hubungan tegangan, arus, dan hambatan. Berbeda dari studi satu kelompok yang menekankan perubahan skor, penelitian ini memeriksa kesetaraan awal dan menjadikan perbandingan *posttest* antarkelas sebagai analisis utama. Pemisahan ini menjaga identitas statistik dan mencegah hasil *gain* diperlakukan seolah-olah merupakan hasil *posttest*.

Hasil signifikan tetap harus dibaca secara kritis. Rancangan eksperimen semu menggunakan kelas yang telah terbentuk. Tidak adanya perbedaan *pretest* mengurangi kekhawatiran mengenai kemampuan awal, tetapi tidak membuktikan bahwa kedua kelas identik pada motivasi, interaksi sosial, kehadiran, literasi digital, atau suasana belajar. Persentase ketuntasan *posttest* menunjukkan bahwa lebih banyak peserta didik kelas eksperimen mencapai KKTP, tetapi perbandingan tersebut bersifat deskriptif dan tidak menggantikan dasar inferensial penelitian.

Pengukuran juga terbatas pada ranah kognitif melalui tes pilihan ganda. Penelitian belum menilai ketepatan peserta didik memasang dan membaca alat ukur nyata, keterampilan keselamatan kerja, retensi setelah beberapa minggu, ataupun kualitas argumentasi selama penyelidikan. Pada kelas eksperimen masih terdapat 12 peserta didik yang belum mencapai KKTP, sedangkan pada kelas kontrol terdapat 22 peserta didik yang belum tuntas. Temuan kelompok karena itu menggambarkan kecenderungan umum dan tidak menjamin hasil yang sama pada setiap peserta didik, sekolah, atau materi.

Secara praktis, guru yang hendak menerapkan pendekatan ini perlu menyiapkan masalah yang realistis, LKPD yang menuntut prediksi dan bukti, perangkat yang memadai, pembagian peran kelompok, serta tahap refleksi. Hasil simulasi perlu dihubungkan dengan penggunaan alat ukur nyata agar pemahaman konseptual dan keterampilan motorik berkembang secara beriringan. Sekolah dapat mendukung penerapan melalui akses perangkat dan jaringan, tetapi teknologi sebaiknya dipandang sebagai bagian dari desain pembelajaran, bukan jimat digital yang otomatis meningkatkan nilai hanya karena layarnya menyala.

D. KESIMPULAN

Penelitian menunjukkan adanya perbedaan hasil belajar kognitif yang signifikan antara kelas yang mengikuti pembelajaran berbasis masalah berbantuan simulasi PhET dan kelas yang mengikuti pembelajaran konvensional pada materi alat ukur listrik. Perbandingan hasil belajar tidak menggunakan N-gain; pretest digunakan untuk memeriksa kondisi kemampuan awal, sedangkan analisis utama menggunakan independent-samples t-test terhadap skor posttest. Kemampuan awal kedua kelas tidak berbeda signifikan, $t(70) = 0,448$, $p = 0,656$. Setelah perlakuan, rata-rata posttest kelas eksperimen sebesar 81,22 dengan ketuntasan 66,7%, sedangkan kelas kontrol sebesar 69,78 dengan ketuntasan 38,9%. Uji posttest menghasilkan $t(70) = 4,057$, $p < 0,001$, dengan selisih rata-rata 11,44 poin dan interval kepercayaan 95% sebesar 5,82–17,07. Pola tersebut menunjukkan kecenderungan capaian kognitif dan ketuntasan yang lebih tinggi pada kelas PBL berbantuan PhET. Secara pembelajaran, perbedaan ini dapat dipahami dari integrasi masalah autentik, penyelidikan kelompok, umpan balik langsung dari simulasi, presentasi berbasis data, dan refleksi, sehingga PhET berfungsi sebagai lingkungan investigasi di dalam struktur PBL, bukan sebagai faktor yang bekerja secara terpisah. Kesimpulan berlaku pada dua kelas X TITL di SMKN 1 Sumatera Barat dan perlu ditafsirkan dengan mempertimbangkan keterbatasan desain eksperimen semu.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih kepada Departemen Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Padang dan SMKN 1 Sumatera Barat atas dukungan akademik dan fasilitas pelaksanaan penelitian. Apresiasi juga disampaikan kepada guru dan peserta didik kelas X Teknik Instalasi Tenaga Listrik yang berpartisipasi dalam kegiatan pembelajaran dan pengumpulan data.

REFERENSI

- [1] R. I. Arends, *Learning to Teach*, 9th ed. New York, NY, USA: McGraw-Hill, 2012.
- [2] C. E. Hmelo-Silver, "Problem-based learning: What and how do students learn?," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 16, no. 3, pp. 235-266, 2004, doi: 10.1023/B:EDPR.0000034022.16470.f3.
- [3] F. Dochy, M. Segers, P. Van den Bossche, and D. Gijbels, "Effects of problem-based learning: A meta-analysis," *Learn. Instr.*, vol. 13, no. 5, pp. 533-568, 2003, doi: 10.1016/S0959-4752(02)00025-7.
- [4] R. E. Mayer, *Multimedia Learning*, 3rd ed. Cambridge, U.K.: Cambridge Univ. Press, 2021, doi: 10.1017/9781316941355.
- [5] K. K. Perkins, W. Adams, M. Dubson, N. Finkelstein, S. Reid, C. Wieman, and R. LeMaster, "PhET: Interactive simulations for teaching and learning physics," *Phys. Teach.*, vol. 44, no. 1, pp. 18-23, 2006, doi: 10.1119/1.2150754.
- [6] C. E. Wieman, K. K. Perkins, and W. K. Adams, "Oersted Medal Lecture 2007: Interactive simulations for teaching physics: What works, what does not, and why," *Am. J. Phys.*, vol. 76, no. 4, pp. 393-399, 2008, doi: 10.1119/1.2815365.
- [7] A. W. Lazonder and R. Harmsen, "Meta-analysis of inquiry-based learning: Effects of guidance," *Rev. Educ. Res.*, vol. 86, no. 3, pp. 681-718, 2016, doi: 10.3102/0034654315627366.
- [8] Y. E. E. Putri, A. D. Lesmono, and L. Nuraini, "Pengaruh model *Problem Based Learning* dengan pendekatan STEM terhadap hasil belajar kognitif pada pembelajaran fisika di SMA," *J. Pembelajaran Fis.*, vol. 10, no. 2, pp. 62-69, 2021, doi: 10.19184/jpf.v10i2.24602.
- [9] A. A. Hawa, B. Supriadi, and S. H. B. Prastowo, "Efektivitas pengembangan perangkat pembelajaran model PBL berbantuan simulasi PhET pada materi termodinamika untuk meningkatkan kemampuan berpikir kritis siswa," *ORBITA*, vol. 7, no. 2, pp. 327-334, 2021, doi: 10.31764/orbita.v7i2.6041.
- [10] H. Nisa, M. Junus, and L. Komariyah, "Penerapan model *Problem Based Learning* berbantuan simulasi PhET berbasis instrumen HOTS terhadap hasil belajar siswa," *J. Ilm. Pendidik. Fis.*, vol. 6, no. 3, pp. 560-567, 2022, doi: 10.20527/jipf.v6i3.5514.
- [11] S. Alfiah and Dwikoranto, "Penerapan model *Problem Based Learning* berbantuan laboratorium virtual PhET untuk meningkatkan HOTS siswa SMA," *J. Penelit. Pembelajaran Fis.*, vol. 13, no. 1, pp. 9-18, 2022, doi: 10.26877/jp2f.v13i1.11494.

- [12] L. Puspitasari, Subiki, and B. Supriadi, "Pengaruh media PhET simulation terhadap motivasi dan hasil belajar fisika siswa SMK," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 11, no. 2, pp. 89-96, 2022, doi: 10.24114/jpf.v11i2.37682.
- [13] D. T. P. Yanto, M. Kabatiah, H. Zaswita, Giatman, and H. Effendi, "Development of virtual learning using problem-based learning models for vocational education students," *ELINVO*, vol. 7, no. 2, pp. 163-172, 2022, doi: 10.21831/elinvo.v7i2.52473.
- [14] N. Novita, I. Aulia, and N. Fatmi, "Pengaruh model pembelajaran PBL dengan media PhET terhadap hasil belajar kognitif siswa," *J. Educ.*, vol. 5, no. 3, pp. 6092-6100, 2023, doi: 10.31004/joe.v5i3.1375.
- [15] S. Jamila, N. N. S. P. Verawati, and M. Makhrus, "Pengaruh model *Problem Based Learning* berbantuan media PhET terhadap hasil belajar fisika siswa kelas XI," *Experiment: J. Sci. Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 32-40, 2023, doi: 10.18860/experiment.v2i2.23108.
- [16] A. Ratnasari, K. Sumardi, and E. T. Berman, "Media pembelajaran berbasis PhET simulasi untuk meningkatkan hasil belajar peserta didik di SMK," *J. Ilm. Profesi Pendidik.*, vol. 8, no. 1b, pp. 711-718, 2023, doi: 10.29303/jipp.v8i1b.993.
- [17] T. H. Rumansara, S. W. Widyaningsih, and K. A. Yenusi, "Penerapan model pembelajaran berbasis masalah berbantuan simulasi PhET untuk meningkatkan hasil belajar dan aktivitas fisika di SMAS Advent Manokwari," *OPTIKA*, vol. 8, no. 1, pp. 1-10, 2024, doi: 10.37478/optika.v8i1.3383.
- [18] S. N. Aisyah, K. Kosim, G. Gunawan, and I. W. Gunada, "The effect of problem-based learning model assisted by PhET media on students' critical thinking skills," *Indones. J. STEM Educ.*, vol. 6, no. 2, pp. 86-101, 2024.
- [19] M. Z. Z. Irsyad, I. Istikaroh, and F. Chaierunnisa, "Impact of PhET simulation-assisted problem-based learning model on students' problem-solving skills," *Univers. Educ. J. Teach. Learn.*, vol. 1, no. 3, pp. 79-87, 2025, doi: 10.63081/uejtl.v1i3.43.
- [20] E. L. Sofa, E. Saptanigrum, N. Khoiri, A. F. Kurniawan, and S. Ristanto, "Effectiveness of integrating deep learning into problem-based learning with PhET simulations to enhance students' problem-solving skills," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 13, no. 3, pp. 416-428, 2025, doi: 10.26618/trea958.
- [21] N. M. Meriantari, R. Sujanem, and I. Yuliana, "Pengaruh model PBL berbasis TPACK terhadap keterampilan berpikir kritis siswa," *OPTIKA*, vol. 10, no. 1, pp. 250-262, 2026, doi: 10.37478/optika.v10i1.7934.
- [22] N. Y. Syamsudin, Y. H. M. Yusuf, and N. U. J. Hauwali, "The effect of using PhET simulation media using *Problem Based Learning* model on improving cognitive learning outcomes of students at MAN Kota Kupang on hydrostatic pressure material," *Wahana Pendidik. Fis.*, vol. 11, no. 1, pp. 11-17, 2026, doi: 10.17509/wapfi.111.20.
- [23] J. W. Creswell and J. D. Creswell, *Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches*, 6th ed. Thousand Oaks, CA, USA: SAGE, 2023.
- [24] Sugiyono, *Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D*, 2nd ed. Bandung, Indonesia: Alfabeta, 2022.
- [25] S. Arikunto, *Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan*, 3rd ed. Jakarta, Indonesia: Bumi Aksara, 2021.
- [26] F. López, M. Contreras, M. Nussbaum, R. Paredes, D. Gelerstein, D. Alvares, and P. Chiuminatto, "Developing critical thinking in technical and vocational education and training," *Educ. Sci.*, vol. 13, no. 6, p. 590, 2023, doi: 10.3390/educsci13060590.
- [27] N. Hudallah, "Problem-Solving, Think Pair Share and Lesson Study Approach for Improvement of Practical Skill of Vocational Students," in *Proc. 1st Vocational Education International Conference (VEIC 2019)*, pp. 167-171, 2019, doi: 10.2991/assehr.k.191217.028.