



Efektivitas Penggunaan Prompt Berbahasa Indonesia Pada Kecerdasan Artifisial Dalam Mengidentifikasi Kesalahan Pada Simulasi Rangkaian Elektronika

Elga Karina Trixi^{1*}, Muhammad Rehan², Perawati³
^{1,2,3}Universitas Muhammadiyah Riau, Pekanbaru, Indonesia

Article Information

Article History

Received : 2026-07-17

Accepted : 2026-07-18

Published : 2026-07-31

Keywords

Artificial Intelligence, Prompt Engineering, Bahasa Indonesia, Simulasi Elektronika, Identifikasi Error.

Correspondence

E-mail:

240604013@Student.umri.ac.id

ABSTRACT

Artificial Intelligence (AI) is currently utilized as an assistant tool for identifying errors in electronic circuit simulations. This study aims to analyze the effectiveness of Indonesian-language prompts in assisting AI to identify such errors. A descriptive experimental method was employed to test five common error scenarios in Proteus software. Each case was tested using Indonesian-language prompts, and the results were compared to the actual simulation conditions. The findings reveal that AI successfully identified four out of five error cases, achieving an 80% accuracy rate. The identified errors included disconnected ground, incorrect resistor values, reversed LED polarity, and insufficient supply voltage. In the transistor pin configuration case, AI only provided general indications due to a lack of prompt details. In conclusion, Indonesian-language prompts are highly effective in supporting error identification. The prompt's quality and comprehensiveness directly influence the AI's analytical accuracy.

ABSTRAK

Artificial Intelligence (AI) kini dimanfaatkan sebagai alat bantu identifikasi kesalahan (error) pada simulasi rangkaian elektronika. Penelitian ini bertujuan menganalisis efektivitas penggunaan prompt berbahasa Indonesia dalam membantu AI mengidentifikasi error tersebut. Metode eksperimen deskriptif digunakan untuk menguji lima skenario error umum pada perangkat lunak Proteus. Setiap kasus diuji menggunakan prompt berbahasa Indonesia, lalu hasilnya dibandingkan dengan kondisi aktual simulasi. Hasil penelitian menunjukkan AI berhasil mengidentifikasi empat dari lima kasus error, mencapai tingkat akurasi 80%. Error yang teridentifikasi meliputi ground tidak terhubung, nilai resistor tidak sesuai, polaritas LED terbalik, dan tegangan sumber kurang. Pada kasus konfigurasi pin transistor, AI hanya memberikan indikasi umum akibat kurangnya detail pada prompt. Kesimpulannya, prompt berbahasa Indonesia terbukti efektif membantu identifikasi error simulasi elektronika. Kualitas dan kelengkapan informasi prompt berbanding lurus dengan ketepatan analisis AI.

1. Introduction

Perkembangan teknologi informasi dan komunikasi telah mendorong inovasi pesat dalam bidang kecerdasan artifisial (Artificial Intelligence/AI), yang kini mulai terintegrasi secara mendalam dalam pendidikan vokasi [1]. Teknologi model bahasa besar (Large Language Model/LLM) seperti Chat GPT telah terbukti membawa peluang signifikan dalam memperkaya pengalaman belajar dan menyediakan asisten interaktif bagi peserta didik [2]. Dalam bidang pendidikan teknik elektronika, AI dapat dimanfaatkan tidak hanya untuk menguasai materi teoritis, tetapi juga sebagai alat bantu diagnostik untuk memecahkan masalah teknis atau troubleshooting secara mandiri [3].

Pada pembelajaran kelistrikan dan elektronika, perangkat lunak simulasi seperti Proteus menjadi instrumen krusial untuk menguji performa rangkaian secara virtual sebelum direalisasikan dalam bentuk fisik [3]. Pendekatan ini dinilai sangat efektif untuk menekan biaya pengembangan serta meminimalisir risiko kerusakan komponen [4]. Namun, mahasiswa kerap menghadapi berbagai kendala error saat menjalankan simulasi, seperti masalah koneksi (ground terputus), ketidaksesuaian nilai komponen, kesalahan polaritas, hingga konfigurasi pin transistor yang tidak tepat. Proses identifikasi kesalahan secara manual ini sering kali menyita waktu dan menjadi tantangan tersendiri bagi mahasiswa.

Untuk mengatasi kendala diagnostik tersebut, AI generatif dapat diandalkan guna mempercepat proses identifikasi error. Akan tetapi, akurasi AI dalam mendiagnosis masalah teknis sangat bergantung pada kualitas prompt engineering, yaitu teknik merancang instruksi masukan agar sistem menghasilkan luaran yang presisi dan spesifik [5]. Penggunaan bahasa Indonesia dalam merumuskan prompt memberikan kemudahan kognitif bagi mahasiswa lokal untuk mendeskripsikan gejala error secara detail, tanpa terhambat oleh keterbatasan penguasaan bahasa asing.

Meskipun pemanfaatan AI dalam pendidikan semakin meluas, studi spesifik yang mengkaji efektivitas prompt engineering menggunakan bahasa Indonesia khususnya pada domain identifikasi error simulasi elektronika masih sangat terbatas. Berdasarkan kesenjangan tersebut, perumusan masalah dalam penelitian ini difokuskan pada: (1) Bagaimana efektivitas penggunaan prompt berbahasa Indonesia pada kecerdasan artifisial dalam mengidentifikasi kesalahan pada simulasi rangkaian elektronika?; (2) Apa saja jenis kesalahan pada simulasi rangkaian elektronika yang dapat diidentifikasi oleh kecerdasan artifisial melalui prompt berbahasa Indonesia?; dan (3) Faktor-faktor apa yang mempengaruhi efektivitas penggunaan prompt berbahasa Indonesia dalam proses identifikasi kesalahan pada simulasi rangkaian elektronika?

Penelitian ini mengusulkan pendekatan eksperimen deskriptif untuk menguji tingkat akurasi AI dalam mengenali berbagai skenario error simulasi. Tujuan penelitian ini adalah mengukur efektivitas serta menganalisis faktor penentu keberhasilan prompt berbahasa Indonesia. Kontribusi praktis yang diharapkan dari penelitian ini adalah tersusunnya panduan perumusan prompt yang efektif, sehingga AI dapat dioptimalkan secara maksimal sebagai alat bantu troubleshooting dalam pendidikan teknik elektronika.

2. Methods

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen deskriptif kuantitatif untuk mengukur tingkat efektivitas penggunaan prompt berbahasa Indonesia pada model kecerdasan artifisial (Large Language Model). Pendekatan ini dipilih karena penelitian berfokus pada evaluasi luaran (output) analitik AI saat diberikan instruksi teknis secara spesifik, bukan pada pengukuran variabel statistik yang kompleks, sehingga desain eksperimen deskriptif dinilai paling sesuai untuk memetakan pola keberhasilan maupun kegagalan AI pada setiap skenario error yang diujikan.

Objek pengujian difokuskan pada identifikasi kesalahan (troubleshooting) pada perangkat lunak simulasi Proteus 8 Professional, yang merupakan standar simulator pada program studi Pendidikan Vokasional Teknik Elektronika (PVTE). Pemilihan Proteus sebagai media simulasi didasarkan pada kelaziman penggunaannya dalam praktikum dan pembelajaran rangkaian elektronika di lingkungan vokasional, sehingga kondisi error yang disimulasikan pada penelitian ini merepresentasikan permasalahan yang umum dihadapi mahasiswa dalam praktik sehari-hari. Dengan demikian, hasil pengujian diharapkan dapat memberikan gambaran yang relevan mengenai sejauh mana AI dapat diandalkan sebagai alat bantu identifikasi error dalam konteks pembelajaran teknik elektronika berbasis simulasi.

2.1. Skenario Data Pengujian

Data dalam penelitian ini bersifat primer yang diperoleh melalui simulasi langsung. Terdapat lima skenario *error* yang sengaja disisipkan pada rangkaian elektronika virtual. Kelima skenario ini merupakan data nyata yang direpresentasikan dari kesalahan fundamental yang paling sering dilakukan oleh mahasiswa saat merancang rangkaian [1]. Rincian skenario pengujian dapat dilihat pada Tabel 1

Tabel 1. Skenario Kesalahan dan Gejala pada Simulasi

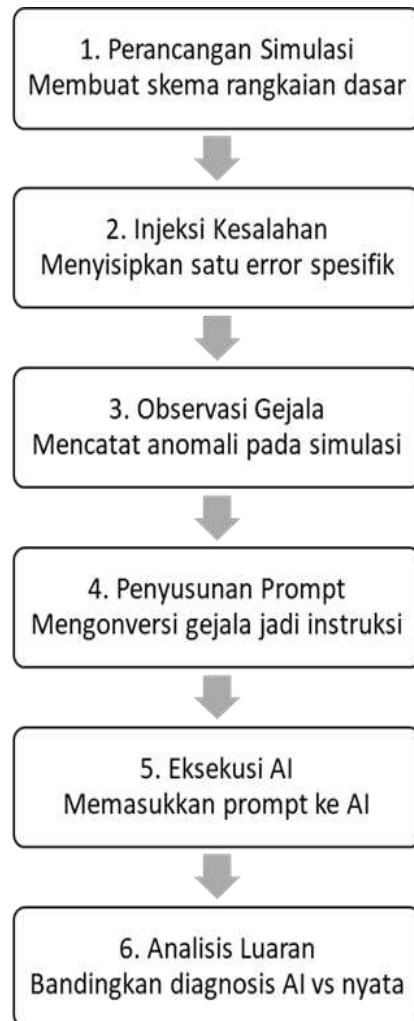
Kasus	Jenis Komponen	Kondisi Kesalahan (Error)	Gejala pada Simulasi
1	Sumber Daya	Jalur <i>ground</i> tidak dihubungkan	Rangkaian mati total, arus tidak mengalir
2	Resistor	Nilai resistansi terlalu besar (220 k Ω menggantikan 220 Ω)	Lampu LED menyala sangat redup
3	LED	Polaritas Anoda dan Katoda terbalik	Lampu LED tidak menyala
4	Sumber Tegangan	Tegangan VCC tidak mencukupi (Hanya 1V)	Transistor sebagai saklar tidak aktif
5	Transistor (NPN)	Konfigurasi pin <i>emitter</i> dan <i>collector</i> tertukar	Tegangan <i>output</i> tidak sesuai hasil teoritis

2.2. Langkah-langkah Penelitian

Proses pengujian dilakukan secara terstruktur melalui interaksi langsung antara peneliti, perangkat lunak simulasi, dan *platform* kecerdasan artifisial. Interaksi ini bersifat siklis, di mana peneliti berperan sebagai operator yang merancang rangkaian, menyisipkan kesalahan, serta menyusun dan menyampaikan *prompt* kepada AI berdasarkan kondisi yang teramati pada simulator. Setiap tahapan dilakukan secara berurutan dan konsisten untuk seluruh lima skenario *error* sebagaimana telah dijabarkan pada Tabel 1, sehingga proses pengujian terhadap masing-masing kasus dapat diperlakukan secara setara dan hasilnya dapat diperbandingkan secara objektif.

Pendekatan terstruktur ini dipilih agar variabel yang berpengaruh terhadap hasil identifikasi AI,

seperti kelengkapan informasi pada *prompt*, dapat dikendalikan dan tidak tercampur dengan faktor-faktor lain di luar kendali peneliti. Secara garis besar, tahapan penelitian yang dimaksud diilustrasikan pada Gambar 1, yang mencakup proses mulai dari perancangan simulasi awal hingga analisis luaran AI sebagai langkah evaluasi akhir.



Gambar 1. Alur Langkah-Langkah Penelitian

Langkah-langkah operasional yang dilakukan dalam penelitian ini adalah sebagai berikut:

1. **Perancangan Simulasi:** Membuat skema rangkaian elektronika dasar pada perangkat lunak Proteus.
2. **Injeksi Kesalahan:** Memasukkan satu jenis kesalahan secara spesifik (sesuai Tabel 1) pada setiap sesi pengujian.
3. **Observasi Gejala:** Menjalankan simulasi (*running*) dan mencatat anomali atau indikator visual yang terjadi pada komponen.
4. **Penyusunan Prompt:** Mengonversi data gejala visual menjadi instruksi teknis (*prompt engineering*) menggunakan bahasa Indonesia yang baku.
5. **Eksekusi AI:** Memasukkan *prompt* ke dalam platform kecerdasan artifisial (seperti Chat GPT atau Gemini).
6. **Analisis Luaran:** Membandingkan diagnosis dan rekomendasi solusi yang diberikan oleh AI dengan letak *error* yang sebenarnya pada simulator.

2.3. Langkah-langkah Penelitian

Metode evaluasi efektivitas dilakukan dengan mengukur tingkat akurasi luaran AI. Sebuah

identifikasi dianggap "Benar" apabila AI mampu mendiagnosis penyebab utama kerusakan secara spesifik sesuai dengan kondisi simulator yang sebenarnya [1]. Sebaliknya, identifikasi dinilai "Kurang Tepat" apabila AI hanya memberikan indikasi umum tanpa merujuk pada komponen spesifik yang bermasalah.

Tingkat akurasi sistem dihitung menggunakan metrik persentase, yaitu membandingkan jumlah identifikasi analitik yang benar terhadap total kasus yang diujikan [1]. Perhitungan evaluasi tersebut direpresentasikan melalui Persamaan 1 berikut:

$$Akurasi = \frac{\text{Jumlah Identifikasi Benar}}{\text{Total Kasus Pengujian}} \times 100\% \quad (1)$$

Melalui pengukuran akurasi tersebut, dapat ditarik kesimpulan objektif mengenai seberapa presisi model kecerdasan artifisial dalam memproses sintaksis dan terminologi kelistrikan dalam bahasa Indonesia.

3. Results and Discussion

Bagian Bagian ini menyajikan hasil pengujian identifikasi *error* pada simulasi rangkaian elektronika menggunakan *prompt* berbahasa Indonesia untuk kelima skenario yang telah dijabarkan pada Tabel 1, yaitu kesalahan pada jalur *ground*, nilai resistor, polaritas LED, tegangan sumber, dan konfigurasi pin transistor. Setiap skenario diuji secara terpisah dengan mengikuti prosedur yang telah dipaparkan pada bagian Metode Penelitian, mulai dari perancangan simulasi hingga analisis luaran AI, sehingga hasil yang diperoleh dapat dibandingkan secara objektif dengan kondisi *error* yang sebenarnya terjadi pada simulator.

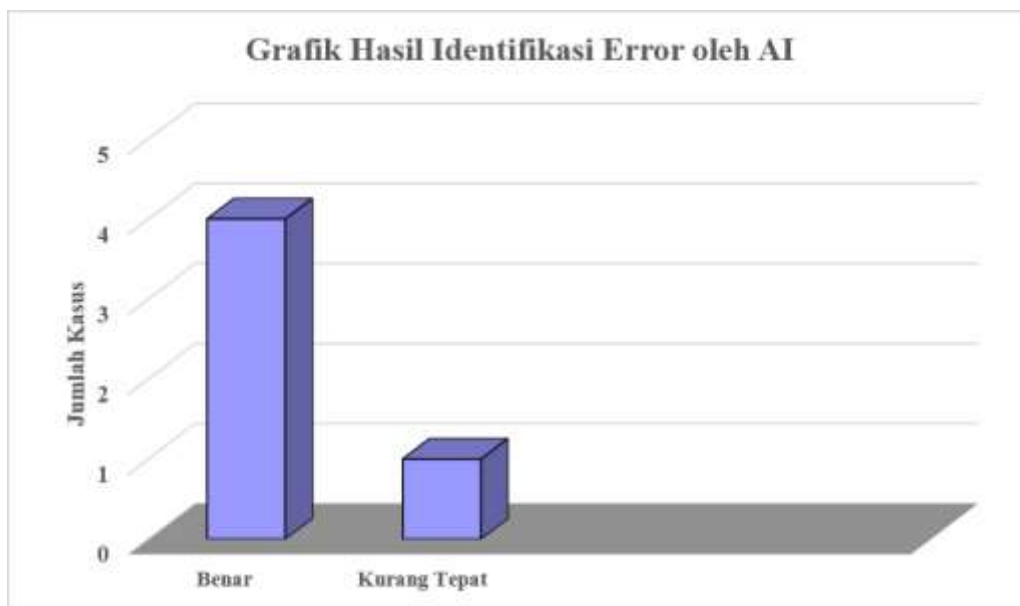
Pemaparan hasil pada bagian ini disusun dalam tiga sub-bagian. Sub-bagian 3.1 menjelaskan hasil identifikasi AI pada masing-masing kasus secara naratif beserta rekapitulasinya dalam bentuk tabel. Sub-bagian 3.2 menampilkan perhitungan tingkat akurasi keseluruhan berdasarkan Persamaan (1) yang telah dirumuskan sebelumnya. Sub-bagian 3.3 memuat pembahasan yang mengaitkan temuan tersebut secara langsung dengan tiga rumusan masalah pada bagian Pendahuluan, yaitu mengenai efektivitas *prompt* berbahasa Indonesia, jenis *error* yang dapat diidentifikasi, serta faktor-faktor yang mempengaruhi keberhasilan identifikasi tersebut.

3.1. Hasil Pengujian Identifikasi Error

Pengujian dilakukan dengan menyusun *prompt* berbahasa Indonesia yang mendeskripsikan gejala *error* sesuai kondisi simulasi pada masing-masing kasus, kemudian *prompt* tersebut diberikan kepada AI untuk dianalisis. Pada Kasus 1 (*ground* tidak terhubung), AI berhasil mengidentifikasi jalur *ground* yang belum terhubung sebagai penyebab utama rangkaian tidak menyala. Pada Kasus 2 (nilai resistor 220 kΩ menggantikan 220 Ω), AI dengan tepat menjelaskan bahwa nilai resistansi yang terlalu besar membatasi arus yang mengalir menuju LED sehingga cahaya menjadi sangat redup. Pada Kasus 3 (polaritas LED terbalik), AI mampu menduga kemungkinan polaritas yang terbalik sebagai penyebab LED tidak menyala. Pada Kasus 4 (tegangan sumber hanya 1V), AI menjelaskan bahwa tegangan tersebut tidak mencukupi untuk mengaktifkan transistor sebagai saklar secara optimal. Sebaliknya, pada Kasus 5 (pin *emitter* dan *collector* transistor tertukar), AI hanya memberikan beberapa kemungkinan penyebab secara umum, seperti kesalahan bias atau nilai resistor yang tidak sesuai, tanpa menyebutkan secara spesifik bahwa kesalahan terletak pada konfigurasi pin transistor. Rekapitulasi hasil identifikasi AI pada kelima kasus tersebut disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Hasil Identifikasi *Error* oleh AI

Kasus	Jenis Error	Hasil Identifikasi AI	Status
1	Ground tidak terhubung	AI menyebutkan jalur ground yang belum terhubung sebagai penyebab utama kegagalan rangkaian.	Benar
2	Nilai resistor tidak sesuai (220 k Ω menggantikan 220 Ω)	AI menjelaskan bahwa nilai resistansi yang terlalu besar membatasi arus yang mengalir ke LED sehingga intensitas cahaya berkurang.	Benar
3	Polaritas LED terbalik	AI menduga bahwa polaritas LED terbalik dan menyarankan pemeriksaan arah pemasangan anoda dan katoda.	Benar
4	Tegangan sumber tidak mencukupi (1 V)	AI menjelaskan bahwa tegangan sumber terlalu rendah sehingga transistor tidak mencapai kondisi aktif.	Benar
5	Konfigurasi pin emitter dan collector tertukar	AI hanya memberikan indikasi umum mengenai kesalahan pemasangan komponen tanpa menyebutkan secara spesifik bahwa pin emitter dan collector tertukar.	Kurang Tepat



Gambar 2. Grafik Hasil Identifikasi *Error* oleh AI

3.2. Tingkat Akurasi Identifikasi

Berdasarkan rekapitulasi pada Tabel 2, dari lima kasus *error* yang diujikan, AI berhasil memberikan identifikasi yang "Benar" pada empat kasus, yaitu kasus *ground* tidak terhubung, nilai resistor tidak sesuai, polaritas LED terbalik, dan tegangan sumber tidak mencukupi. Sementara itu, satu kasus, yakni kesalahan konfigurasi pin *emitter* dan *collector* pada transistor, dinilai "Kurang Tepat" karena AI hanya memberikan kemungkinan penyebab secara umum tanpa mengarah secara spesifik pada permasalahan konfigurasi pin tersebut.

Dengan mengacu pada Persamaan (1) yang telah dirumuskan pada bagian Metode Penelitian, tingkat akurasi identifikasi dihitung dengan membandingkan jumlah kasus yang teridentifikasi benar terhadap jumlah keseluruhan kasus yang diujikan, sebagai berikut:

$$Akurasi = \frac{4}{5} \times 100\% = 80\% \quad (2)$$

Hasil nilai akurasi sebesar 80% tersebut menunjukkan bahwa AI mampu memberikan diagnosis yang tepat pada sebagian besar skenario error yang umum terjadi pada praktik rangkaian elektronika dasar, khususnya pada permasalahan yang berkaitan dengan komponen pasif (resistor, LED) dan jalur kelistrikan (ground, tegangan sumber). Capaian ini mengindikasikan bahwa AI memiliki potensi untuk membantu proses identifikasi dan troubleshooting awal pada rangkaian elektronika. Temuan tersebut sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa ChatGPT 4o memiliki performa yang cukup baik dalam memahami diagram rangkaian, memecah prosedur penyelesaian, dan memilih formula yang sesuai, meskipun performanya menurun pada aspek interpretasi rangkaian yang lebih kompleks[6][8].

Meski demikian, satu kasus yang tidak teridentifikasi secara tepat memberikan catatan penting bahwa tingkat akurasi AI tidak bersifat mutlak dan dapat dipengaruhi oleh kompleksitas permasalahan serta kelengkapan informasi yang tersedia. Performa GPT-4 jauh lebih baik pada permasalahan yang dirumuskan secara lengkap dibandingkan permasalahan yang informasinya kurang spesifik. Kasus kesalahan konfigurasi pin pada komponen aktif seperti transistor juga dapat memerlukan informasi yang lebih spesifik mengenai tipe komponen, konfigurasi pin, karakteristik rangkaian, dan gejala kerusakan. Oleh karena itu, hasil diagnosis tidak hanya mencerminkan kemampuan model AI, tetapi juga dipengaruhi oleh kualitas informasi yang diberikan kepada model. Penelitian mengenai prompt specificity menunjukkan bahwa prompt yang lebih spesifik dapat meningkatkan akurasi penalaran LLM, terutama pada tugas yang membutuhkan prosedur dan penalaran[9][10].

3.3. Pembahasan

Hasil pengujian menunjukkan bahwa AI mampu memahami istilah teknis kelistrikan dalam bahasa Indonesia, seperti *ground*, resistor, polaritas, dan tegangan sumber, dengan cukup baik [2]. Kemampuan AI dalam memahami istilah teknis ini dapat dikolaborasikan dengan media pembelajaran simulasi seperti *software* Proteus. Integrasi antara asisten AI dan *software* simulasi tersebut berpotensi menjadi solusi yang komprehensif untuk mendukung kegiatan praktikum mandiri, mengatasi kebosanan siswa, serta meningkatkan hasil belajar secara signifikan pada mata pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika [3].

Selama pengujian, terlihat jelas bahwa kelengkapan informasi pada *prompt* berbanding lurus dengan ketepatan analisis AI. Pada Kasus 2, misalnya, *prompt* yang secara eksplisit menyebutkan nilai resistor membuat AI dapat langsung mengarah pada penyebab yang tepat. Sebaliknya, pada Kasus 5, *prompt* yang tidak menjelaskan secara rinci konfigurasi pin transistor menyebabkan AI hanya mampu memberikan kemungkinan penyebab secara umum. Kondisi ini menegaskan bahwa teknik *prompt engineering* memegang peranan penting dalam menentukan presisi luaran AI [4], sehingga efektivitas AI tidak hanya ditentukan oleh kapasitas model itu sendiri, tetapi juga oleh kemampuan pengguna dalam merumuskan instruksi yang spesifik.

Dibandingkan dengan proses *troubleshooting* manual yang umumnya menuntut mahasiswa memeriksa setiap komponen satu per satu pada perangkat lunak simulasi seperti Proteus [5], AI terbukti dapat mempercepat proses identifikasi dengan memberikan beberapa kemungkinan penyebab *error* hanya dalam hitungan detik. Hal ini sejalan dengan temuan bahwa pemanfaatan AI berpengaruh positif terhadap kemampuan *troubleshooting* mahasiswa teknik [6], sehingga AI dapat difungsikan sebagai pendamping belajar mandiri di luar jam praktikum.

Penelitian ini masih memiliki beberapa keterbatasan, antara lain jumlah skenario *error* yang terbatas pada lima kasus, pengujian yang hanya dilakukan pada rangkaian sederhana, serta penggunaan satu jenis model AI berbasis *Large Language Model* tanpa pembandingan dari *platform* lain. Kondisi ini sejalan dengan beberapa kajian yang menyoroti bahwa performa model bahasa besar masih dipengaruhi oleh kompleksitas permasalahan dan kelengkapan data masukan yang diberikan pengguna [7]. Dengan demikian, hasil penelitian ini sebaiknya dimaknai sebagai gambaran awal efektivitas *prompt* berbahasa Indonesia, yang masih memerlukan pengujian lanjutan pada skenario yang lebih kompleks dan beragam.

4. Conclusion

Berdasarkan hasil pengujian terhadap lima skenario *error* pada simulasi rangkaian elektronika, dapat disimpulkan bahwa penggunaan *prompt* berbahasa Indonesia cukup efektif dalam membantu AI mengidentifikasi kesalahan pada simulasi Proteus, dengan tingkat akurasi mencapai 80% (empat dari lima kasus teridentifikasi dengan benar). Jenis *error* yang berhasil diidentifikasi meliputi *ground* yang tidak terhubung, nilai resistor yang tidak sesuai, polaritas LED yang terbalik, dan tegangan sumber yang tidak mencukupi, sedangkan kasus kesalahan konfigurasi pin emitter dan collector pada transistor belum dapat diidentifikasi secara spesifik karena minimnya detail pada *prompt* yang diberikan.

Temuan ini menegaskan bahwa kualitas dan kelengkapan informasi pada *prompt* berbanding lurus dengan ketepatan analisis yang dihasilkan AI [3]. Semakin rinci deskripsi gejala, nilai komponen, dan kondisi rangkaian yang disampaikan, semakin tinggi pula peluang AI memberikan diagnosis yang sesuai dengan kondisi simulasi yang sebenarnya. Secara umum, hasil penelitian ini menunjukkan bahwa AI dapat difungsikan sebagai alat bantu yang efektif dalam mendukung proses pembelajaran dan troubleshooting rangkaian elektronika di lingkungan pendidikan vokasional [4]. tanpa mengharuskan mahasiswa menggunakan bahasa Inggris untuk berinteraksi dengan AI.

Untuk penelitian selanjutnya, disarankan agar pengujian dilakukan dengan jumlah skenario *error* yang lebih banyak dan tingkat kompleksitas rangkaian yang lebih tinggi, termasuk pengujian pada komponen aktif lain selain transistor. Penelitian lanjutan juga dapat membandingkan performa beberapa platform AI yang berbeda, serta membandingkan efektivitas *prompt* berbahasa Indonesia dengan *prompt* berbahasa Inggris pada permasalahan teknis yang sama. Selain itu, mahasiswa disarankan untuk membiasakan diri menyusun *prompt* secara jelas, spesifik, dan informatif agar AI dapat memberikan hasil identifikasi *error* yang lebih akurat.

References

- [1] M. F. Muttaqin, Y. Sukrawan, dan M. I. Rosyadi, "Exploring the Role of Artificial Intelligence in Learning Media for Vocational Education: A Systematic Literature Review," *Journal of Vocational Education Studies (JOVES)*, vol. 7, no. 2, 2024
- [2] Tr, R., dan Ibrahim, "Tinjauan terhadap Peran Chatbot AI sebagai Asisten Virtual dalam Pembelajaran Digital," *Jurnal Review Pendidikan dan Pengajaran (JRPP)*, vol. 8, no. 2, 2025.
- [3] T. Maniar, P. W. Rusimamto, E. Sulisty, dan Y. Fransisca, "Pengaruh Media Pembelajaran Software Proteus terhadap Hasil Belajar Siswa pada Mata Pelajaran Penerapan Rangkaian Elektronika Kelas XI di SMK Negeri 1 Jetis," *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, vol. 10, no. 3, 2021.
- [4] R. S. Syaifullah dan A. C. Gunawan, "Studi Dampak Penerapan Teknologi Artificial Intelligence terhadap Pemahaman Mahasiswa Jurusan Pendidikan Teknik Elektro di Universitas Negeri Medan," *Socius: Jurnal Pendidikan dan Pembelajaran*, vol. 13, no. 2, 2024.
- [5] J. M. Ruiz, A. C. Gómez, and P. L. Gómez, "Interactive simulation software for teaching electronics," *Computer Applications in Engineering Education*, vol. 29, no. 3, 2021.

- [6] R. D. Dermawan dan H. Herdianto, "Meningkatkan Kinerja Output ChatGPT Melalui Teknik Prompt Engineering Yang Dapat Dikustomisasi," *Innovative: Journal of Social Science Research*, vol. 4, no. 1, 2024.
- [7] E. Kasneci, K. Seßler, S. Küchemann, M. Bannert, D. Dementieva, F. Fischer, and G. Kasneci, "ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education," *Learning and Individual Differences*, vol. 103, 2023.
- [8] B. Chen, D. S. Cochran, J. A. Nowak, and G. Wang, "Assessing ChatGPT 4o for AI-assisted problem solving in electric circuits teaching," in *Proc. 2025 ASEE Annual Conf. & Expo.*, Montreal, QC, Canada, Jun. 2025, doi: 10.18260/1-2--55467.
- [9] K. D. Wang, E. Burkholder, C. Wieman, S. Salehi, and N. Haber, "Examining the potential and pitfalls of ChatGPT in science and engineering problem-solving," *Frontiers in Education*, vol. 8, Art. no. 1330486, Jan. 2024, doi: 10.3389/feduc.2023.1330486.
- [10] Z. He, Y. Pu, H. Wu, T. Qiu, and B. Yu, "Large language models for EDA: Future or mirage?," *ACM Transactions on Design Automation of Electronic Systems*, vol. 30, no. 6, Art. no. 90, pp. 1–53, 2025, doi: 10.1145/3736167