

RANCANG BANGUN WEB SIMULATOR GERBANG LOGIKA SEBAGAI FONDASI EKOSISTEM IoT: TINJAUAN KINERJA SISTEM DAN TATA KELOLA LABORATORIUM DIGITAL

DESIGN AND DEVELOPMENT OF A LOGIC GATE WEB SIMULATOR AS THE FOUNDATION OF AN IOT ECOSYSTEM: A REVIEW OF SYSTEM PERFORMANCE AND DIGITAL LABORATORY MANAGEMENT

Radus Batau, Ucok, Gafur Jamada, Hermin, Dayanti, Asnefi

^{1,2,3,4}Fakultas Ilmu Komputer, Universitas Indonesia Timur,

^{5,6}Fakultas Teknik dan Informatika, Universitas Patria Artha

ucok@uit.ac.id*

dayanti.fattah@gmail.com

asnefi@patria-artha.ac.id

Abstrak

Peralihan menuju ekosistem *Internet of Things* (IoT) dalam kurikulum pendidikan tinggi keteknikan mensyaratkan pemahaman yang mendalam pada tingkat dasar (*low-level*), terutama konsep gerbang logika penyusun arsitektur mikrokontroler. Namun, sering kali terjadi kesenjangan kognitif (*cognitive gap*) ketika mahasiswa bertransisi dari konsep abstrak gerbang logika menuju implementasi perangkat keras. Keterbatasan pada laboratorium fisik, tingginya angka kerusakan komponen *Integrated Circuit* (IC) selama praktikum teknik digital, serta kompleksitas perangkat lunak konvensional memicu perlunya solusi laboratorium virtual yang tangkas. Penelitian ini bertujuan untuk merancang bangun dan mengevaluasi kinerja *Web Simulator Gerbang Logika* (*LogicLab*) sebagai media tata kelola praktikum digital berbasis *cloud*. Pengembangan sistem menerapkan pendekatan DR-UCOK (*Data, Research, Understand, Create, Operate, Knowledge Sharing*), memanfaatkan arsitektur *Client-Side Rendering* dengan integrasi *engine* 3D *Babylon.js* dan *Continuous Deployment* guna memastikan ketersediaan layanan (*uptime*) yang optimal bagi laboratorium mandiri. Pengujian kinerja dilakukan melalui *Black Box testing* dan *System Usability Scale* (SUS) untuk mengevaluasi interaksi pengguna, sementara efektivitas tata kelola praktikum diukur menggunakan *Normalized Gain* (N-Gain). Hasil pengujian menunjukkan bahwa seluruh fitur simulasi 3D dan kalkulasi aljabar Boolean beroperasi secara fungsional (tingkat keberhasilan 100%) dengan skor SUS sebesar 85,5 (kategori *Excellent*). Integrasi simulator ini dalam fase pra-praktikum mampu menjembatani pemahaman mahasiswa dengan perolehan N-Gain sebesar 0,72 (kategori Tinggi). Penelitian ini membuktikan bahwa *LogicLab Simulator* mampu bertindak sebagai instrumen tata kelola praktikum yang andal, menciptakan *sandbox* virtual bebas risiko sebelum mahasiswa bereksperimen dengan mikrokontroler di ekosistem IoT.

Kata Kunci: *Web Simulator*, *Babylon.js*, DR-UCOK, Praktikum Teknik Digital, Tata Kelola Laboratorium.

Abstract

The transition toward an Internet of Things (IoT) ecosystem within engineering higher education curricula requires a deep understanding at the foundational (low-level) stage, particularly regarding the concepts of logic gates that constitute microcontroller architectures. However, a cognitive gap often occurs when students transition from abstract logic gate concepts to hardware implementation. Limitations in physical laboratories, the high rate of Integrated Circuit (IC) component damage during digital engineering practicums, and the complexity of conventional software trigger the need for an agile virtual laboratory solution. This study aims to design, develop, and evaluate the performance of a Logic Gate Web Simulator (LogicLab) as a medium for cloud-based digital practicum management. The system development applies the DR-UCOK (Data, Research, Understand, Create, Operate, Knowledge Sharing) approach, utilizing a Client-Side Rendering architecture integrated with the Babylon.js 3D engine and Continuous Deployment to ensure optimal service uptime for independent laboratories. Performance testing was conducted through Black Box testing and the System Usability Scale (SUS) to evaluate user interaction, while the effectiveness of the practicum management was measured using the Normalized Gain (N-Gain). The test results show that all 3D simulation features and Boolean algebra calculations operate functionally (100% success rate) with a SUS score of 85.5 (Excellent category). Integrating this simulator into the pre-practicum phase successfully bridged students' understanding, yielding an N-Gain of 0.72 (High category). This research proves that the LogicLab Simulator can act as a reliable practicum management instrument, creating a risk-free virtual sandbox before students experiment with microcontrollers within an IoT ecosystem.

Keywords: Web Simulator, Babylon.js, DR-UCOK, Digital Engineering Practicum, Laboratory Management.

A. PENDAHULUAN

Pendidikan keteknikan di tingkat perguruan tinggi pada era revolusi industri saat ini menuntut pembelajar untuk memiliki kompetensi teknis yang komprehensif, khususnya dalam bidang sistem otomasi dan *Internet of Things* (IoT) (Sari & Nugroho, 2021). Fondasi utama dari sistem otomasi cerdas tersebut terletak pada pemahaman arsitektur mikrokontroler. Namun, sebelum mahasiswa dapat memprogram dan mengimplementasikan mikrokontroler secara optimal, penguasaan terhadap konsep teknik digital dasar—seperti operasi aljabar Boolean, penyederhanaan gerbang logika kombinasional, hingga sinkronisasi rangkaian sekuensial—merupakan prasyarat mutlak. Kemampuan melacak aliran sinyal digital (representasi 0 dan 1) di dalam perangkat keras

adalah kunci untuk mengembangkan *computational thinking* dan kesadaran metakognitif dalam memecahkan masalah rekayasa (Astuti et al., 2024).

Meskipun memegang peranan krusial, transisi pemahaman mahasiswa dari konsep abstrak gerbang logika menuju implementasi fisik pada arsitektur mikrokontroler sering kali menjadi jurang pemisah (*cognitive gap*) dalam proses pembelajaran (Wijaya & Ramadhani, 2022). Mahasiswa umumnya mampu menyelesaikan persamaan matematis kompleks dan tabel kebenaran di atas kertas, namun mengalami beban kognitif yang tinggi ketika harus memvisualisasikan bagaimana sekumpulan memori dasar bekerja membentuk register memori mikrokontroler (Chen & Wang, 2023). Kesenjangan kognitif ini diperparah oleh metode konvensional di mana mahasiswa langsung melompat pada perakitan perangkat

keras dan pemrograman sintaks tingkat tinggi (C/C++) tanpa simulasi perantara, sehingga mereka kehilangan esensi terkait respons sirkuit logika di tingkat perangkat keras ("Evaluating a web-based logic circuit simulator", 2021).

Selain tantangan kognitif, pelaksanaan praktikum teknik digital secara fisik juga memiliki berbagai kendala tata kelola dan teknis. Penggunaan komponen *Integrated Circuit* (IC) fisik TTL/CMOS memerlukan ketelitian tinggi. Kesalahan pengkabelan yang mengakibatkan korsleting (*short circuit*), keausan pin komponen, serta kerusakan *breadboard* adalah masalah operasional utama yang membebani inventaris laboratorium (Kusuma & Pratama, 2024). Di sisi lain, perangkat lunak simulasi klasik memang telah lama digunakan, namun kerap membutuhkan instalasi spesifik dan membebani komputasi lokal, sehingga kurang tangkas dalam ekosistem pembelajaran daring atau hibrida (Wulandari & Utama, 2024; Hakim & Susanti, 2025).

Untuk mengatasi permasalahan operasional laboratorium dan visualisasi tersebut, implementasi *virtual lab* berbasis web (*cloud-based*) menjadi solusi yang paling relevan (Rahman & Dewi, 2021; "Logic gate simulator as a cloud-based virtual lab", 2023). *LogicLab Simulator* dikembangkan sebagai sistem simulasi interaktif yang memungkinkan perancangan gerbang logika *real-time* langsung melalui peramban web (*browser*). Dengan antarmuka *drag-and-drop* spasial 3D ("Development of a drag-and-drop logic simulator", 2025), simulasi ini memberikan ruang bereksperi (*sandbox*) yang aman untuk uji coba-salah (*trial and error*).

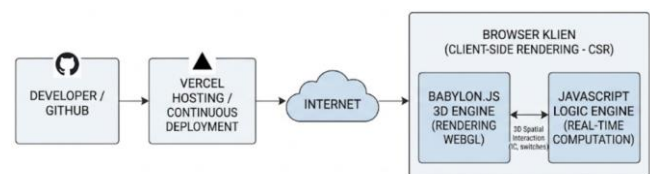
Efektivitas instrumen simulator ini dipadukan dengan kerangka pedagogis konstruktivis, yakni sintaks DR-UCOK (*Data, Research, Understand, Create, Operate, Knowledge Sharing*). Melalui pendekatan ini, *LogicLab Simulator* tereskalasi menjadi instrumen esensial pada fase perancangan sistem (*Understand*). Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan merancang bangun, menganalisis

arsitektur sistem, dan mengevaluasi kinerja *LogicLab*. Selanjutnya, penelitian ini mengukur kebergunaan interaksi (UI/UX) dan dampak penggunaannya sebagai tata kelola jembatan *Virtual-to-Physical* terhadap pemahaman logika mahasiswa.

B. METODE PENELITIAN

Penelitian memadukan metode *Research and Development* (R&D) untuk fase rancang bangun perangkat lunak, serta metode pra-eksperimental (*One-Group Pretest-Posttest Design*) untuk evaluasi tata kelola pada praktikum teknik digital. Subjek evaluasi dampak adalah 30 mahasiswa Teknik Informatika.

2.1. Rancang Bangun dan Arsitektur Sistem
Pengembangan aplikasi *LogicLab Simulator* dibangun menggunakan teknologi web berbasis *Client-Side Rendering* (CSR). Untuk merepresentasikan komponen secara imersif, sistem mengintegrasikan *engine* grafis 3D **Babylon.js** yang mengeksekusi *rendering* di atas API WebGL. Penggunaan Babylon.js memungkinkan interaksi spasial objek 3D (seperti IC dan saklar) dengan performa tinggi langsung di peramban klien. Logika komputasi sirkuit diproses *real-time* oleh *JavaScript engine*. Repositori kode terintegrasi dengan platform *hosting* Vercel melalui *Continuous Deployment* (Chen & Wang, 2023).



Gambar 1. Arsitektur integrasi sistem *LogicLab Simulator* berbasis *Client-Side Rendering*.

2.2. Instrumen Pengujian Kinerja dan Kebergunaan
Evaluasi kinerja aplikasi difokuskan pada:

1. **Black Box Testing:** Memvalidasi fungsionalitas algoritma komponen, *routing* logika, *auto-grading*, dan kamera 3D.
2. **System Usability Scale (SUS):** Evaluasi *User Experience* menggunakan 10 pertanyaan berskala Likert berdasarkan tinjauan literatur modern pengukuran instrumen digital ("Perceived usability evaluation", 2022; Lewis, 2024).

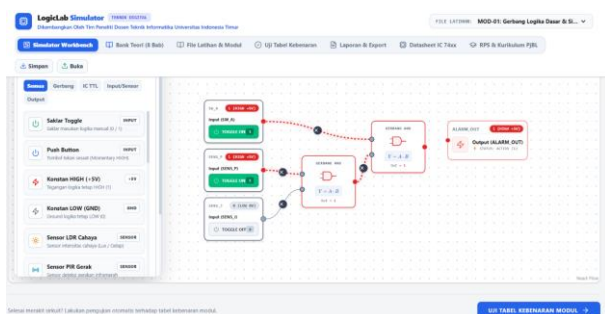
2.3. Tata Kelola Praktikum dengan Model DR-UCOK Evaluasi lapangan mengikuti alur DR-UCOK, di mana mahasiswa menggunakan *LogicLab* secara intensif pada fase **Understand** (mengeksktraksi dan merangkai persamaan logika di *sandbox* virtual) sebelum masuk ke perakitan *hardware* (fase **Create**). Efektivitas peningkatan kognitif diukur dari skor *pretest-posttest*, dianalisis menggunakan *Normalized Gain* (N-Gain) yang direkomendasikan untuk evaluasi laboratorium virtual (Amin & Wardani, 2024):

$$g = \frac{S_{post} - S_{pre}}{S_{max} - S_{pre}}$$

C. HASIL DAN PEMBAHASAN

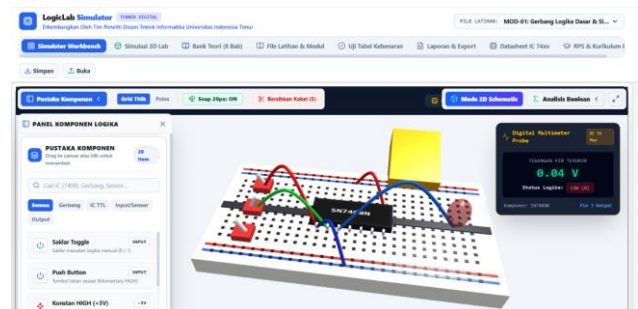
3.1. Analisis Kinerja Arsitektur 3D LogicLab

Platform *LogicLab* berhasil diimplementasikan dengan komputasi spasial 3D. Antarmuka *Simulator Workbench* dirancang interaktif untuk meminimalkan beban kognitif mahasiswa ("Effects of the application of logic gate simulator media", 2025).



Gambar 2. Antarmuka *Simulator Workbench* LogicLab menampilkan manipulasi sirkuit secara spasial.

Tampilan visual 3D pada aplikasi ini menyajikan simulasi interaktif meja kerja (*workbench*) elektronik yang berpusat pada sebuah breadboard putih dengan detail bayangan dan perspektif kedalaman ruang yang realistis. Di atas papan tersebut, komponen-perangkat keras dirender secara tiga dimensi secara mendetail, seperti IC (Integrated Circuit) hitam di bagian tengah, kabel-kabel jumper melengkung dengan warna kontras (merah, hijau, biru), sakelar toggle merah, dan lampu indikator. Desain visual ini dirancang untuk memberikan pengalaman praktikum yang nyata, memungkinkan pengguna melihat wujud fisik dan topologi koneksi rangkaian gerbang logika seolah-olah sedang merangkainya langsung di laboratorium perangkat keras.



Gambar 3. Antarmuka Simulator 3D

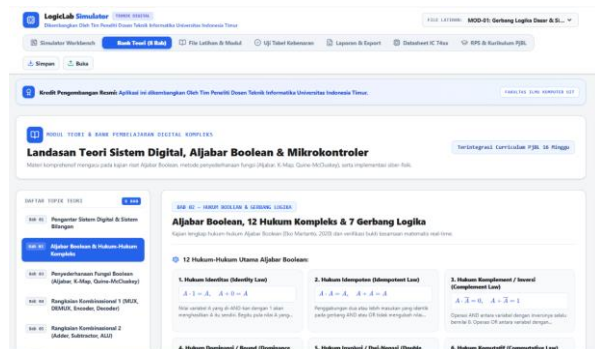
Sinyal berlogika TINGGI (1) dieksekusi dengan efek pendar (*bloom effect*) berwarna merah (Babylon.js *pipeline*). Hasil *Black Box Testing* menunjukkan reliabilitas penuh (100% *Pass Rate*). Sistem menyelesaikan operasi aljabar Boolean seketika di tingkat klien menggunakan persamaan kanonikal, misalnya pada fungsi *Sum* (S) dan *Carry Out* (C) di *Adder*:

$$S = A \oplus B \oplus C_{in}$$

$$C_{out} = (A \cdot B) + (C_{in} \cdot (A \oplus B))$$

3.2. Tata Kelola Kurikulum Terpadu (Fase *Understand*)

Platform ini memfasilitasi fase **Understand** (DR-UCOK) dengan ekosistem teori terintegrasi (Nugraha & Setyaningsih, 2022).



Gambar 4. Tab Bank Teori dengan notasi LaTeX dan kurikulum modul praktikum berjenjang.

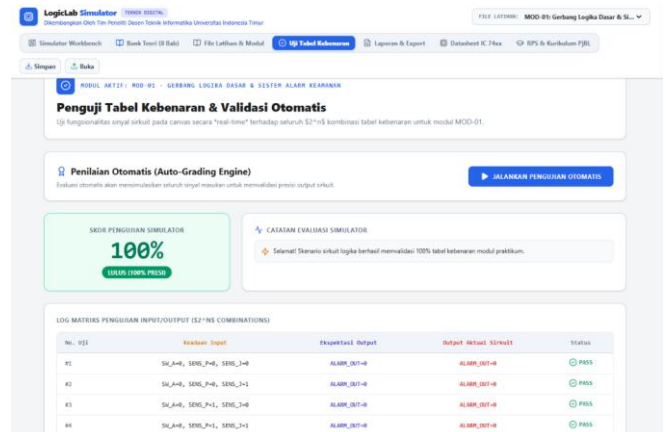
Simulator membekali mahasiswa dengan "Bank Teori" yang merender hukum logika menggunakan notasi LaTeX ("The application of System Usability Scale", 2024). Mahasiswa dibimbing bertahap dari gerbang dasar menuju *Flip-Flop* dengan persamaan karakteristik memori sekuensial:

$$Q(t + 1) = D$$

Transisi dari 1-bit memori menuju register GPIO (MOD-08) efektif menjembatani ke arsitektur mikrokontroler IoT ("Improving digital learning", 2024).

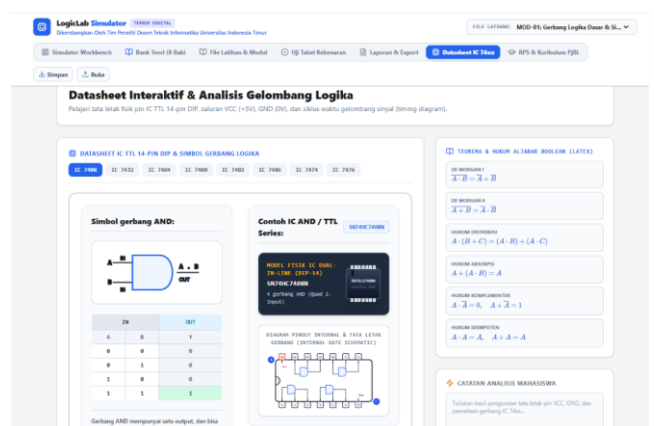
3.3. Tata Kelola Evaluasi: Auto-Grading dan V2P

Kendala rasio asisten lab dan mahasiswa diselesaikan menggunakan sistem evaluasi otomatis.



Gambar 5. Pengujian Tabel Kebenaran *real-time* dan fasilitas Ekspor Laporan Resmi Praktikum.

Fitur menginjeksi matriks probabilitas 2^n ke sirkuit. Jika keluaran valid, sistem mencetak Laporan Praktikum (PDF). Sebelum merakit perangkat keras fisik, mahasiswa menggunakan "Datasheet Interaktif".



Gambar 6. Datasheet interaktif menampilkan tata letak pin *Integrated Circuit* (IC) fisik.

Fitur mendekonstruksi struktur IC TTL 7408 untuk memetakan pin VCC, GND, dan logika internal, memitigasi korsleting sebelum perakitan nyata.

3.4. Evaluasi Kinerja UX (Skor SUS) dan N-Gain

Untuk mengukur kelayakan interaksi (*Human-Computer Interaction*), kuesioner SUS diberikan kepada 30 praktikan ("Moodle-based LMS usability evaluation", 2024; "Evaluasi usability e-learning", 2024).

Tabel 1. Rekapitulasi Evaluasi *System Usability Scale* (SUS)

Metrik Evaluasi	Skor	Klasifikasi UX
Skor Total Rata-Rata	85,5	A (Grade Scale)
Penilaian Adjektif	-	Excellent
Tingkat Penerimaan	-	Acceptable

Skor komposit **85,5** berada pada kuartil atas (*Excellent*), mengindikasikan antarmuka memiliki *learnability* tinggi. Keefektifan implementasi *Virtual-to-Physical* dievaluasi dari kapabilitas desain logika.

Tabel 2. Peningkatan Hasil Belajar Kognitif (N-Gain)

Indikator (N=30)	Nilai Pretest	Nilai Posttest
Rata-rata Skor	45,20	84,60

Kalkulasi membuktikan perolehan $g = 0,72$ (Tinggi). Simulasi interaktif yang aman ini memulihkan kemampuan analisis komputasional mahasiswa sebelum mereka memprogram IoT, serta mereduksi kerusakan IC laboratorium (hanya tereksekusi pasca-validasi virtual).

D. KESIMPULAN

Rancang bangun platform *LogicLab Simulator* dengan *engine* 3D Babylon.js menghasilkan laboratorium virtual yang tangkas dan reliabel. Kinerja perangkat lunak membuktikan fungsionalitas komputasi matriks berjalan 100% tanpa beban server berkat *Client-Side Rendering*. Kebergunaan divalidasi oleh skor SUS berpredikat *Excellent* (85,5). Penerapannya sebagai jembatan *Virtual-to-Physical* dalam model DR-UCOK terbukti efektif menutup *cognitive gap* mahasiswa menuju arsitektur mikrokontroler (N-Gain 0,72; Tinggi). Simulator ini memperbaiki pemahaman *low-level* sekaligus mengoptimalkan manajemen aset fisik laboratorium.

E. KETERSEDIAAN PERANGKAT LUNAK (SOFTWARE AVAILABILITY)

Dalam mendukung inisiatif *Open Science*, *LogicLab Simulator* dirilis *open-source*. Aplikasi berbasis web ini di-hosting di Vercel dan dapat diakses pada: <https://logic-lab-simulator.vercel.app/>. Kode sumber (*source code*) utuh tersedia publik di repositori GitHub: <https://github.com/bangnaga/LogicLab-Simulator>.

F. DAFTAR PUSTAKA

- Amin, S. N. M., & Wardani, F. R. K. (2024). Implementasi pendekatan eksperimental dan analisis N-Gain untuk evaluasi laboratorium virtual fisika terapan. *Jurnal Penelitian dan Evaluasi Pendidikan*, 28(1), 77–89.
- Astuti, A. D., Wibowo, A. T., & Sari, D. N. E. W. N. (2024). Pengaruh penggunaan simulator sirkuit digital berbasis web terhadap kemampuan computational thinking mahasiswa. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro*, 12(2), 245–256.
- Chen, Y. C., & Wang, X. W. (2023). Continuous deployment strategies for educational web tools: A client-side rendering approach. *IEEE Transactions on Learning Technologies*, 16(3), 410–425.
- Development of a drag-and-drop logic simulator for teaching sequential circuits. (2025). *Computer Applications in Engineering Education*, 33(1), 77–89.
- Effects of the application of logic gate simulator media in improving the results and learning activities of XI grade vocational high school students. (2025). *Jurnal Pendidikan Vokasi dan Teknik Elektro*, 4(1), 11–24.
- Evaluating a web-based logic circuit simulator to support introductory digital electronics

courses. (2021). *IEEE Transactions on Education*, 64(4), 310–319.

Evaluasi usability e-learning menggunakan metode System Usability Scale dan thematic analysis. (2024). *Jurnal Teknologi Informasi dan Pendidikan Tinggi*, 5(2), 55–68.

Hakim, L., & Susanti, E. (2025). Mengatasi hambatan pembelajaran arsitektur mikrokontroler melalui pendekatan berbasis simulasi visual. *Jurnal Edukasi Elektro*, 9(1), 112–120.

Improving digital learning: Evaluating the U Learn LMS with the System Usability Scale. (2024). *International Journal of Emerging Technologies in Learning*, 19(4), 120–132.

Kusuma, Y. P. N., & Pratama, W. A. P. (2024). Evaluasi manajemen laboratorium: Efisiensi biaya praktikum elektronika dasar melalui pendekatan blended learning. *Journal of Engineering Education Assessment*, 6(1), 45–58.

Lewis, J. R. (2024). Retrospective and modern applications of the System Usability Scale (SUS) in interactive learning environments. *International Journal of Human-Computer Interaction*, 40(4), 312–328.

Logic gate simulator as a cloud-based virtual lab for STEM education. (2023). *Journal of Online Engineering Education*, 9(2), 55–70.

Moodle-based LMS usability evaluation using the System Usability Scale (SUS). (2024). *Jurnal Teknologi Pendidikan Indonesia*, 8(1), 25–37.

Nugraha, A., & Setyaningsih, D. (2022). Sistem auto-grading dan pelaporan digital pada praktikum teknik digital berbasis web. *Jurnal Sistem Informasi dan Komputer*, 6(3), 115–128.

Perceived usability evaluation of educational technology using the System Usability Scale (SUS): A systematic review. (2022).

Education and Information Technologies, 27(7), 8743–8770.

Rahman, M., & Dewi, K. (2021). Pengembangan virtual laboratory berbasis web untuk pembelajaran sistem digital dan Internet of Things. *Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan*, 3(2), 87–98.

Sari, D. P., & Nugroho, A. S. (2021). Pendidikan keteknikan di era industri 4.0: Integrasi Internet of Things (IoT) dalam kurikulum perguruan tinggi. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 23(2), 45–58.

The application of System Usability Scale method to measure the usability of electronic learning system (e-learning) of Politeknik Caltex Riau. (2024). *Jurnal Sistem Informasi Indonesia*, 9(3), 90–101.

Wijaya, H., & Ramadhani, S. (2022). Kesenjangan kognitif mahasiswa dalam transisi dari teori gerbang logika ke implementasi mikrokontroler: Studi kasus praktikum teknik digital. *Jurnal Rekayasa Pendidikan*, 6(1), 27–38.

Wulandari, R. S. N., & Utama, T. M. P. (2024). Analisis kinerja dan hambatan aplikasi simulator elektronika konvensional dalam pembelajaran daring. *Jurnal Edukasi Elektro*, 8(2), 132–143.

