

KETERAMPILAN PROSES SAINS MAHASISWA DALAM PENGUNAAN LABORATORIUM VIRTUAL BERBASIS TINKERCAD PADA MATERI GERBANG LOGIKA

Wilfrida Mayasti Obina¹, Adnan Sahar², Evani Doana Nababan³, Andi Nurfahrurnisa⁴

^{1, 2, 3, 4}Universitas Musamus Merauke, Jl. Kamizaun, Merauke, Papua Selatan, Indonesia

Email: wilfridamayasti@unmus.ac.id

Article History

Received: 02-06-2026

Revision: 23-06-2026

Accepted: 27-06-2026

Published: 30-06-2026

Abstract. This study aims to analyze students' science process skills in using Tinkercad-based virtual laboratories on logic gates. The study used a qualitative method with a descriptive case study approach, with subjects being students of the Physics Education Study Program at Musamus University who took the Digital Electronics course in the 2025/2026 academic year. Data collection was carried out systematically through direct observation, questionnaires, and in-depth interviews to obtain an overview of students' science process skills. Indicators used include the skills of observing, predicting, conducting experiments, analyzing and solving problems, and drawing conclusions. The results showed that students' science process skills in using Tinkercad-based virtual laboratories were in the good category, with an average observation score of 73.00% and supported by questionnaire results of 75.83%. The skill of conducting experiments was in the very good category with a percentage of 82.50%. Meanwhile, the skills of analyzing and solving problems and drawing conclusions each reached 75.00%, observation skills were 72.50%, and prediction skills were in the fairly good category with a percentage of 60.00%. These findings indicate that the use of a Tinkercad-based virtual laboratory is effective in supporting the development of students' science process skills through experimental simulation experiences on logic gate material.

Keywords: Science Process Skills, Virtual Laboratory, Tinkercad, Logic Gates, Digital Electronics.

Abstrak. Penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika. Penelitian menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus deskriptif, dengan subjek mahasiswa Program Studi Pendidikan Fisika Universitas Musamus yang mengikuti mata kuliah Elektronika Digital pada tahun akademik 2025/2026. Pengumpulan data dilakukan secara sistematis melalui observasi langsung, angket, dan wawancara mendalam untuk memperoleh gambaran keterampilan proses sains mahasiswa. Indikator yang digunakan meliputi keterampilan mengamati, memprediksi, melakukan percobaan, menganalisis dan menyelesaikan masalah, serta menarik kesimpulan. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad berada pada kategori baik, dengan nilai rata-rata hasil observasi sebesar 73,00% dan didukung oleh hasil angket sebesar 75,83%. Keterampilan melakukan percobaan memperoleh kategori sangat baik dengan persentase 82,50%. Sementara itu, keterampilan menganalisis dan menyelesaikan masalah serta menarik kesimpulan masing-masing mencapai 75,00%, keterampilan mengamati sebesar 72,50%, dan keterampilan memprediksi berada pada kategori cukup baik dengan persentase 60,00%. Temuan ini menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad efektif dalam mendukung pengembangan keterampilan proses sains mahasiswa melalui pengalaman simulasi percobaan pada materi gerbang logika.

Kata Kunci: Keterampilan Proses Sains, Laboratorium Virtual, Tinkercad, Gerbang Logika, Elektronika Digital.

How to Cite: Obina, W. M., Sahar, A., Nababan, E. D., & Nurfahrurnisa, A. (2026). Keterampilan Proses Sains Mahasiswa dalam Penggunaan Laboratorium Virtual Berbasis Tinkercad pada Materi Gerbang Logika. *HORIZON: Indonesian Journal of Multidisciplinary*, 4 (3), 2923-2933. <http://doi.org/10.54373/hijm.v4i3.6567>

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi yang pesat di era *Society 5.0* menuntut peserta didik memiliki kemampuan literasi sains guna memenuhi tuntutan kompetensi abad 21 yaitu kemampuan berpikir kritis dan pemecahan masalah (*critical thinking & problem solving*), berpikir kreatif dan inovatif (*creativity & innovation*), kolaborasi (*collaboration*) dan komunikasi (*communication*) (Arsanti et al., 2021). Literasi sains dalam pendidikan di Indonesia mulai mengalami peningkatan melalui penerapan Kurikulum Merdeka, namun menjadi tantangan besar dalam mengejar ketertinggalan yang masih di bawah rata-rata global berdasarkan hasil PISA (OECD, 2023). Sarana yang menjadi fokus utama dari literasi sains yaitu Keterampilan Proses Sains (KPS), namun penguasaan keterampilan proses sains mahasiswa masih tergolong rendah (Trisnawati, 2025). Keterampilan proses sains dapat ditingkatkan melalui pembelajaran fisika karena merupakan ilmu empiris yang penyelesaian masalahnya harus logis dan sistematis (Anggereni et al., 2021). Literasi sains tidak hanya berkaitan dengan penguasaan konsep, tetapi juga kemampuan menerapkan pengetahuan melalui proses ilmiah secara sistematis. Oleh karena itu, peningkatan kualitas pembelajaran sains menjadi kebutuhan yang mendesak.

Salah satu komponen utama literasi sains adalah keterampilan proses sains (KPS), yang mencakup kemampuan mengamati, memprediksi, melakukan eksperimen, menganalisis data, dan menarik kesimpulan (Aditiyas & Kuswanto, 2024). Namun, berbagai penelitian menunjukkan bahwa keterampilan proses sains mahasiswa, khususnya pada pembelajaran fisika, masih tergolong rendah (Trisnawati, 2025). Padahal, fisika merupakan ilmu empiris yang menuntut proses berpikir logis, sistematis, dan berbasis pembuktian melalui eksperimen (Anggereni et al., 2021). Rendahnya KPS berdampak pada lemahnya kemampuan mahasiswa dalam memecahkan masalah dan mengaitkan konsep fisika dengan fenomena nyata. Hal ini menegaskan urgensi penguatan keterampilan proses sains dalam pembelajaran fisika di perguruan tinggi.

Peningkatan keterampilan proses sains melalui kegiatan praktikum masih menghadapi berbagai kendala. Praktikum konvensional sering terkendala keterbatasan fasilitas laboratorium, ketersediaan alat dan bahan, alokasi waktu yang terbatas, serta risiko kerusakan komponen elektronik akibat kesalahan prosedur (Obina et al., 2025; Pawarangan et al., 2024). Kondisi tersebut menyebabkan pembelajaran praktikum sering dilakukan secara demonstratif, sehingga mengurangi keterlibatan aktif mahasiswa. Akibatnya, mahasiswa kurang memperoleh pengalaman langsung dalam mengamati, bereksperimen, dan menganalisis hasil percobaan, yang pada akhirnya berdampak pada rendahnya keterampilan proses sains (Widiantie et al., 2025).

Permasalahan tersebut semakin terasa pada materi gerbang logika dalam mata kuliah elektronika digital, yang menuntut pemahaman konseptual sekaligus keterampilan praktik dalam merancang dan menguji rangkaian digital. Gerbang logika bekerja berdasarkan prinsip bilangan biner dan aljabar Boolean, sehingga pemahaman konsep perlu didukung oleh pengalaman eksperimen untuk memverifikasi tabel kebenaran dan fungsi rangkaian (Harahap et al., 2024; Hoiriyah et al., 2025; Pertiwi et al., 2023). Seiring perkembangan teknologi, keterbatasan laboratorium fisik dapat diatasi melalui pemanfaatan laboratorium virtual, salah satunya menggunakan aplikasi Tinkercad yang memungkinkan mahasiswa merancang, merangkai, dan mensimulasikan rangkaian elektronik secara aman dan fleksibel (Golubev et al., 2023; Fidela & Sulaiman, 2026). Meskipun berbagai penelitian melaporkan bahwa penggunaan Tinkercad mampu meningkatkan pemahaman konsep dan keaktifan belajar (Riskawati et al., 2022; Pawarangan et al., 2024), kajian yang secara khusus menganalisis keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan Tinkercad pada materi gerbang logika masih terbatas.

Berdasarkan uraian tersebut, permasalahan utama dalam penelitian ini adalah bagaimana keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika, di tengah keterbatasan praktikum laboratorium fisik. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis keterampilan proses sains mahasiswa berdasarkan indikator mengamati, memprediksi, melakukan percobaan, menganalisis dan menyelesaikan masalah, serta menarik kesimpulan dalam penggunaan Tinkercad. Penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi empiris terkait pemanfaatan laboratorium virtual berbasis teknologi digital sebagai alternatif pembelajaran praktikum yang efektif dalam meningkatkan keterampilan proses sains mahasiswa pada mata kuliah elektronika digital.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode kualitatif dengan pendekatan studi kasus deskriptif. Metode penelitian digunakan untuk mendeskripsikan secara mendalam dan mendetail keterampilan proses sains mahasiswa dalam pemanfaatan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika. Populasi dari penelitian yaitu seluruh mahasiswa Pendidikan Fisika yang mengikuti mata kuliah elektronika digital tahun akademik 2025/2026 di Universitas Musamus dengan subyek penelitian berjumlah 8 mahasiswa. Pengambilan sampel menggunakan teknik *purposive sampling* dimana kebutuhan memilih sampel sesuai

dengan pertimbangan tertentu yang memperkaya data dan mendukung tercapainya tujuan penelitian (Mirna & Annisa, 2025; Weyant, 2022).

Pengambilan data dilakukan dengan teknik triangulasi yaitu menggunakan lebih dari satu instrumen agar dapat dibandingkan, dikonfirmasi dan diperoleh data yang lebih valid (Trisnawati, 2025). Instrumen penelitian yang digunakan yaitu observasi, angket dan wawancara. Observasi digunakan untuk mengobservasi keterampilan proses sains mahasiswa saat percobaan/praktikum berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika dilaksanakan. Indikator keterampilan proses sains penelitian ini diadaptasi dari penelitian terdahulu dimana batasan penelitian hanya mengambil lima indikator antara lain indikator mengamati, memprediksi, melakukan percobaan, menganalisis dan menyelesaikan masalah serta menarik kesimpulan (Aditiyas & Kuswanto, 2024; Mirna & Annisa, 2025; Saputra, 2025; Trisnawati, 2025). Data wawancara dan angket akan digunakan untuk mengkonfirmasi hasil dari data observasi yang dilaksanakan per siswa. Data observasi dan angket dianalisis menggunakan teknik persentase, kemudian diklasifikasikan ke dalam kategori keterampilan proses sains.

$$\text{Keterampilan proses sains (KPS)} = \frac{\text{Capaian skor KPS}}{\text{Skor total KPS}} \times 100\% \quad (1)$$

Tabel 1. Kategori keterampilan proses sains dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad

Persentase (%)	Kategori KPS
81-100	Sangat Baik
61-80	Baik
41-60	Cukup Baik
21-40	Kurang Baik
0-20	Sangat Kurang Baik

Sumber: Mirna & Annisa (2025)

Penelitian ini dinyatakan berhasil apabila hasil analisis menunjukkan keterampilan proses sains mahasiswa berada pada kategori “Baik” atau “Sangat Baik” secara dominan. Kriteria tersebut dipilih karena mencerminkan ketercapaian indikator keterampilan proses sains secara memadai, baik dari aspek aktivitas eksperimen, kemampuan analisis, maupun penarikan kesimpulan. Dengan demikian, keputusan keberhasilan penelitian tidak hanya didasarkan pada capaian angka persentase, tetapi juga pada konsistensi temuan dari hasil observasi, angket, dan wawancara yang saling menguatkan.

HASIL DAN DISKUSI

Keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika diukur menggunakan lima indikator. Hasil observasi akan didukung atau dikonfirmasi dengan data hasil wawancara dan hasil angket. Data hasil observasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kategori keterampilan proses sains dari hasil observasi

Indikator KPS	Persentase	Kategori KPS
Mengamati	72.50%	Baik
Memprediksi	60.00%	Cukup Baik
Malakukan Percobaan	82.50%	Sangat Baik
Menganalisis dan Menyelesaikan Masalah	75.00%	Baik
Menarik Kesimpulan	75.00%	Baik
Rata-rata	73.00%	Baik

Berdasarkan Tabel 2, keterampilan proses sains mahasiswa hasil observasi dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika berada pada kategori Baik dengan nilai rata-rata sebesar 73,00%. Indikator dengan persentase tertinggi adalah keterampilan melakukan percobaan, yaitu sebesar 82,50% dengan kategori Sangat Baik. Indikator menganalisis dan menyelesaikan masalah, menarik kesimpulan, dan mengamati masing-masing berada pada kategori Baik dengan persentase 72,50%–75,00%, sedangkan indikator memprediksi berada pada kategori Cukup Baik dengan persentase 60,00%. Secara umum, data pada Tabel 2 menunjukkan bahwa penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad mampu memfasilitasi sebagian besar indikator keterampilan proses sains mahasiswa, meskipun kemampuan memprediksi masih relatif rendah dibandingkan indikator lainnya.

Indikator melakukan percobaan menunjukkan capaian tertinggi dengan kategori Sangat Baik. Hasil ini didukung oleh data angket yang juga menunjukkan kategori yang sama. Mahasiswa dinilai mampu mencari dan menggunakan komponen elektronika secara tepat, merangkai rangkaian sesuai petunjuk, serta menjalankan simulasi mengikuti prosedur yang telah ditetapkan (Mirna & Annisa, 2025). Temuan ini menunjukkan bahwa tahapan praktikum dapat dijalankan secara sistematis, yang berkontribusi terhadap keberhasilan hasil percobaan (Nurwahidah & Sari, 2022; Riskawati et al., 2026).

Data wawancara memperkuat hasil tersebut. Mahasiswa menyampaikan bahwa “*sangat mudah mencari komponen yang mau dirangkai, kita tinggal ketik di pencarian bisa langsung muncul contohnya IC gerbang AND*”. Selain itu, mahasiswa merasa lebih bebas bereksperimen karena tidak khawatir merusak komponen, khususnya IC gerbang logika. Kemudahan ini juga

tercermin dalam pernyataan *“cukup mudah karena tampilan komponen dan rangkaian di Tinkercad real seperti dalam petunjuk percobaan”* dan *“cukup mudah, bila sesuai setiap langkah percobaan”*. Hal ini menunjukkan bahwa laboratorium virtual memberikan lingkungan belajar yang aman dan mendukung keterampilan melakukan percobaan secara optimal.

Berdasarkan Tabel 2, indikator menganalisis dan menyelesaikan masalah berada pada kategori Baik dengan persentase 75,00%. Capaian ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu menginterpretasikan data hasil simulasi, menganalisis aliran arus dan sinyal logika, serta mengaitkannya dengan tabel kebenaran dan prinsip aljabar boolean (Saputra, 2025). Mahasiswa juga mampu mengidentifikasi kesalahan rangkaian dan menentukan langkah perbaikan secara mandiri.

Hasil wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa menganalisis rangkaian dengan bantuan visualisasi yang jelas, sebagaimana diungkapkan *“rangkaian yang kita buat jelas dan sederhana sehingga mudah membaca aliran arus dari sumber sampai LED”*. Mahasiswa juga menyatakan *“saya mencari tabel kebenaran di internet, kemudian membandingkannya dengan hasil percobaan”* dan *“saya mengulang sebanyak 3 kali untuk satu percobaan rangkaian untuk mendapatkan hasil yang pasti sesuai tabel kebenaran”*. Ketika terjadi kesalahan, mahasiswa memanfaatkan indikator eror pada Tinkercad, seperti *“tampilan eror atau petir mempermudah saya mengetahui bahwa rangkaian yang saya rakit ada salah”*, serta melakukan perbaikan dengan mengecek pin IC, sambungan kabel, dan sumber tegangan.

Indikator menarik kesimpulan berdasarkan Tabel 2 berada pada kategori Baik dengan persentase 75,00%. Hal ini menunjukkan bahwa mahasiswa mampu menyimpulkan hasil percobaan berdasarkan data simulasi dan analisis yang telah dilakukan (Saputra, 2025). Mahasiswa tidak hanya menyalin hasil, tetapi mampu merumuskan prinsip kerja gerbang logika secara mandiri. Temuan ini diperkuat oleh hasil wawancara, di mana mahasiswa menyampaikan kesimpulan seperti *“gerbang logika NOR memiliki prinsip yang berlawanan dengan gerbang logika OR”* dan *“gerbang AND akan menghasilkan output bernilai 1 bila kedua inputnya adalah 1”*. Pernyataan tersebut menunjukkan bahwa mahasiswa memahami hubungan antara input dan output serta prinsip dasar kerja rangkaian digital yang diuji.

Indikator mengamati menunjukkan kategori Baik dengan persentase observasi sebesar 72,50%. Keterampilan ini mencerminkan kemampuan mahasiswa dalam mengamati fenomena percobaan secara visual dan teliti, termasuk mengenali komponen, alur rangkaian, dan perubahan yang terjadi selama simulasi (Effendi et al., 2021; Trisnawati, 2025). Data angket

juga menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa mampu mengidentifikasi letak pin IC, membedakan warna kabel, serta memahami fungsi masing-masing komponen.

Hasil wawancara menguatkan temuan tersebut melalui pernyataan mahasiswa seperti *“tampilan visual komponen di Tinkercad sangat menarik seperti gambar asli”*, *“warna kabel bisa diatur untuk membedakan jalur arus”*, dan *“saya bisa langsung lihat lampu LED menyala saat simulasi rangkaian”*. Visualisasi yang realistis membantu mahasiswa melakukan pengamatan secara lebih akurat dan sistematis (Susanti et al., 2025). Sebaliknya, indikator memprediksi menunjukkan capaian terendah dengan kategori Cukup Baik. Hal ini mengindikasikan bahwa mahasiswa masih mengalami kesulitan dalam memperkirakan hasil percobaan sebelum simulasi dilakukan. Keterampilan memprediksi menuntut kemampuan mengaitkan konsep, fakta, dan pengalaman sebelumnya secara logis (Effendi et al., 2021). Hasil wawancara menunjukkan bahwa mahasiswa menyatakan *“prediksi sesuai harapan saya, saya juga menggunakan petunjuk dari google, tetapi hasilnya salah”* dan *“sering salah dalam prediksi”*. Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa masih perlu dibiasakan untuk melakukan prediksi secara lebih sistematis agar keterampilan ini berkembang sejalan dengan indikator keterampilan proses sains lainnya (Mirna & Annisa, 2025; Susanti et al., 2025).

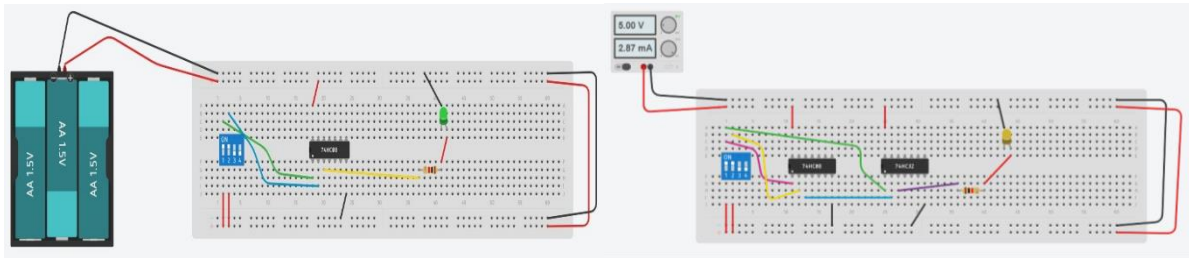
Tabel 3. Ketegori keterampilan proses sains dari hasil angket

Indikator KPS	Persentase	Kategori KPS
Mengamati	80.83%	Baik
Memprediksi	66.67%	Baik
Malakukan Percobaan	82.50%	Sangat Baik
Menganalisis dan Menyelesaikan Masalah	75.83%	Baik
Menarik Kesimpulan	73.33%	Baik
Rata-rata	75.83%	Baik

Hasil rata-rata keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika berada pada kategori Baik, dengan nilai hasil observasi sebesar 73,00% dan didukung oleh hasil angket sebesar 75,83%. Temuan ini menunjukkan bahwa mahasiswa telah memiliki keterampilan proses sains yang memadai dalam memanfaatkan laboratorium virtual untuk kegiatan praktikum rangkaian digital. Capaian tersebut mencerminkan kemampuan mahasiswa dalam mengamati, melakukan percobaan, menganalisis hasil, serta menarik kesimpulan selama proses pembelajaran berbasis simulasi.

Hasil penelitian menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa merasa terbantu dengan penggunaan Tinkercad karena rangkaian elektronika dapat langsung disimulasikan, sehingga memudahkan identifikasi kesalahan tanpa risiko merusak alat atau komponen fisik. Kondisi ini

memberikan rasa aman dan fleksibilitas bagi mahasiswa untuk bereksperimen secara mandiri, sekaligus meningkatkan kepercayaan diri dalam melakukan praktikum. Beberapa contoh hasil rancangan rangkaian gerbang logika yang dibuat mahasiswa menggunakan laboratorium virtual berbasis Tinkercad disajikan pada Gambar 3.



Gambar 3. Rangkaian Gerbang Logika Berbasis Tinkercad

Beberapa hal yang dapat menyebabkan hasil keterampilan proses sains mahasiswa pada penggunaan Tinkercad dalam mempelajari materi gerbang logika belum maksimal yaitu mahasiswa baru pertama kali mencoba menggunakan aplikasi Tinkercad sehingga membutuhkan waktu lebih untuk membuat rangkaian gerbang logika: *“sebelumnya tidak pernah pakai Tinkercad”* dan sebagian kecil mahasiswa belum sepenuhnya mandiri membuat rangkaian sehingga masih membutuhkan kerjasama dari teman: *“terkadang bingung dan masih membutuhkan bantuan teman”*. Kendala lain yang dihadapi beberapa mahasiswa seperti *“sulit memperbesar rangkaian”* dan *“sulit menghubungkan komponen-komponen dalam waktu cepat”*.

KESIMPULAN

Hasil rata-rata keterampilan proses sains mahasiswa dalam penggunaan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika diperoleh kategori “Baik”. Hasil ini menunjukkan bahwa sebagian besar mahasiswa memiliki keterampilan proses sains yang baik yaitu keterampilan melakukan percobaan, menganalisis dan menyelesaikan masalah, menarik kesimpulan, mengamati dan memprediksi dalam memanfaatkan laboratorium virtual berbasis Tinkercad pada materi gerbang logika. Hasil penelitian menunjukkan bahwa keterampilan proses sains harus terus dikembangkan dalam setiap pembelajaran sains karena keterampilan proses sains sifatnya bertahap dan memerlukan perlakuan yang berulang. Penelitian ini juga menunjukkan bahwa laboratorium virtual berbasis Tinkercad sangat menarik dari tampilan visual dan mudah dalam penggunaan, sehingga bila sering digunakan dalam percobaan elektronika pasti keterampilan proses sains mahasiswa akan semakin meningkat dan tercapai keterampilan abad 21.

REKOMENDASI

Hasil penelitian ini menginformasikan bahwa pemanfaatan laboratorium virtual berbasis Tinkercad mampu menciptakan pembelajaran fisika khususnya elektronika yang melatih keterampilan proses sains mahasiswa dari mengamati hingga menarik kesimpulan, menciptakan pembelajaran interaktif dalam melakukan percobaan/praktikum secara virtual karena menyajikan tampilan visual rangkaian seperti praktek langsung. Pemanfaatan laboratorium virtual berbasis Tinkercad juga melatih keterampilan mahasiswa belajar memanfaatkan teknologi digital dalam menghadapi perkembangan teknologi. Sangat disarankan agar pemanfaatan laboratorium virtual berbasis Tinkercad dapat diterapkan dalam materi perkuliahan elektronika lainnya agar mahasiswa terbiasa belajar meningkatkan keterampilan proses sainsnya

REFERENSI

- Aditiyas, S. E., & Kuswanto, H. (2024). Analisis Implementasi Keterampilan Proses Sains di Indonesia Pada Pembelajaran Fisika: Literatur Review. *Jurnal Penelitian Pembelajaran Fisika*, 15(2), 153–166. <https://doi.org/10.26877/jp2f.v15i2.15912>
- Anggereni, S., Suhardiman, S., & Amaliah, R. (2021). Analisis Ketersediaan Peralatan, Bahan Ajar, Administrasi Laboratorium, Keterlaksanaan Kegiatan Praktikum di Laboratorium Fisika. *Jurnal Ilmiah Pendidikan Fisika*, 5(3), 414–423. <https://doi.org/10.20527/jipf.v5i3.3925>
- Arsanti, M., Zulaeha, I., Subiyantoro, S., & S, N. H. (2021). Tuntutan Kompetensi 4C Abad 21 dalam Pendidikan di Perguruan Tinggi untuk Menghadapi Era Society 5 . 0. *Prosiding Seminar Nasional Pascasarjana UNNES*, 4(1), 319–324.
- Effendi, E., Rosa Sinensis, A., Widayanti, W., & Firdaus, T. (2021). Keterampilan Proses Sains Mahasiswa Pendidikan Fisika STKIP Nurul Huda pada Mata Kuliah Optika. *JIPFRI (Jurnal Inovasi Pendidikan Fisika Dan Riset Ilmiah)*, 5(1), 21–26. <https://doi.org/10.30599/jipfri.v5i1.1000>
- Fidela, D., & Sulaiman, O. K. (2026). Perancangan Modul Ajar Berbasis Simulasi Proyek Menggunakan Tinkercad sebagai Upaya Meningkatkan Keterampilan Praktik Siswa dalam Bidang IoT. *Blend Sains Jurnal Teknik*, 4(4), 712–729.
- Golubev, L. P., Tkach, M. M., & Makatora, D. A. (2023). Using Tinkercad To Support Online the Laboratory Work on the Design of Microprocessor Systems At Technical University. *Information Technologies and Learning Tools*, 93(1), 80–95. <https://doi.org/10.33407/itlt.v93i1.4817>
- Harahap, R. K., Christina, E. T., Kristyawati, D., Situmeang, A., & Jamilah, J. (2024). Pelatihan Desain Rangkaian Logika dengan Simulasi Komputer pada Siswa SMK Yadika 13 Tambun. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Bangsa*, 2(4), 1087–1092. <https://doi.org/10.59837/jpmba.v2i4.951>
- Hoiriyah. (2020). Simulasi Gerbang Logika Dalam Aplikasi. *Jurnal Teknik Informatika Dan Elektro*, 2(2), 01–08.
- Hoiriyah, Muhammad Saidi Rahman, Yusup Indra Wijaya, Muhammad Amin, & Fakhriani Ekawati. (2025). Pelatihan Rekayasa Virtualisasi Rangkaian Kombinasional pada Sekolah Menengah Kejuruan Unggulan Husada. *Neptunus: Jurnal Ilmu Komputer Dan Teknologi Informasi*, 3(3), 01–09. <https://doi.org/10.61132/neptunus.v3i3.859>

- Mirna, & Annisa, F. (2025). Analisis Keterampilan Proses Sains Peserta Didik Melalui Kegiatan Praktikum Pada Materi Fluida Statis Di Sman Unggul Pidie Jaya. *Relativitas: Jurnal Riset Inovasi Pembelajaran Fisika*, 8(1), 84–94. <https://doi.org/10.29103/relativitas.v8i1.21320>
- Mokodompit, D. Y., Tumangkeng, J. V., Umboh, S. I., Palilingan, R. N., & Pawarangan, I. (2026). Perbandingan Efektivitas Laboratorium Virtual dan Alat Praktikum Dalam Meningkatkan Pemahaman Konsep Gerbang Logika. *Charm Sains Jurnal Pendidikan Fisika*, 7(1), 81–88.
- Nurwahidah, I., & Sari, D. S. (2022). Analisis Keterampilan Mahasiswa Pendidikan Ipa Dalam Melakukan Praktikum Dan Berkolaborasi. *EduTeach : Jurnal Edukasi Dan Teknologi Pembelajaran*, 3(2), 1–10. <https://doi.org/10.37859/eduteach.v3i2.3795>
- Obina, W. M., Nababan, E. D., & Nurfahrurnisa, A. (2025). Efektivitas Pemanfaatan Simulasi Software Proteus Dalam Membuat Rangkaian Elektronika Pada Materi Semikonduktor Dioda. *OPTIKA: Jurnal Pendidikan Fisika*, 9(2), 361–369.
- OECD. (2023). *PISA 2022 Results: The State of Learning and Equity in Education: Vol. I*. OECD Publishing, Paris. <https://doi.org/10.1787/53f23881-en>
- Pawarangan, I., Musa Rampengan, A., Tumangkeng, J. V., Fisika, P., Matematika Ilmu Pengetahuan Alam dan Kebumihan, F., Negeri Manado, U., & Pendidikan Fisika, P. (2024). Penggunaan Aplikasi Tinkercad dalam Pembelajaran Elektronika Dasar 2: Persepsi dan Pemahaman Konseptual Mahasiswa. *SCIENING: Science Learning Journal*, 5(1), 53–58. <https://ejurnal.unima.ac.id/index.php/sciening/article/view/10311/5473>
- Pertiwi, N. A. S., Fauziyah, A., & Husna, A. L. (2023). Validitas Media Belajar Gerbang Logika Berbasis Praktikum pada Mata Kuliah Elektronika Dasar dengan Pendekatan Saintifik. *JoEMS (Journal of Education and Management Studies)*, 6(6), 10–21. <https://doi.org/10.32764/joems.v6i6.1067>
- Reyes, A. (2022). Electric circuits with tinkercad and STEM integration. In *Digital Maestro Magazine* *Digitalmaestro.org*. <http://www.energiazero.org/simulazioni/Introthinkercad.pdf>
- Riskawati, Said, S., & Herman, N. M. (2022). Efektivitas Simulasi Pola LED Menggunakan Tinkercad : Media Pembelajaran Inovatif pada Elektronika Dasar. *Jurnal Pendidikan Fisika Undiksha*, 12(1), 524–531.
- Riskawati, Sanusi, D. K., Utami, N. W. M. S., & Irfanita, R. (2026). Pelatihan Pembuatan Eksperimen Fisika Digital dengan Arduino di Tinkercad untuk Meningkatkan Kompetensi Calon Guru. *Jurnal Ilmu Pengetahuan Dan Teknologi Bagi Masyarakat (IPMAS)*, 6(1), 1–12.
- Saputra, I. G. P. E. (2025). Efektivitas Pembelajaran Fisika Berorientasi GuidedInquiry Berbantuan PhET Simulasi Terhadap Pengembangan Keterampilan Proses Sains Siswa. *Konstruktivisme: Jurnal Pendidikan Dan Pembelajaran*, 7(2), 326–346. <https://doi.org/10.35457/konstruk.v17i2.4646>
- Susanti, Ernawati, T., & Astuti, N. D. (2025). Analisis Keterampilan Proses Sains Mahasiswa: Studi Kasus pada Mata Kuliah Bedah KIT IPA. *Jurnal Pendidikan MIPA*, 15(3), 1475–1480.
- Trisnawati, O. R. (2025). Analisis Keterampilan Proses Sains Mahasiswa PGMI Pada Materi Sifat-Sifat Cahaya. *PAEDAGOGIE*, 20(2), 131–144. <https://doi.org/10.31603/paedagogie.v20i2.14660>
- Widananta, M., Sulianto, J., & Siswanto, J. (2025). Comparative Study : Tinkercad-Assisted PBL And STAD Cooperative on Learning Activity and Outcomes of Electrical Materials. *Internasional Journal of Elementary Education*, 9(4), 641–651.

- Widiantie, R., Setiawati, I., Nurlaelah, I., & Lela. (2025). Pelatihan Keterampilan Dasar Laboratorium untuk Meningkatkan Keterampilan Proses Sains Siswa SMA. *Ardhi: Jurnal Pengabdian Dalam Negri*, 3(5), 122–134.
- Weyant, E. (2022). Research Design: Qualitative, Quantitative, and Mixed Methods Approaches, 5th Edition: by John W. Creswell and J. David Creswell, Los Angeles, CA: SAGE, 2018, \$38.34, 304pp., ISBN: 978-1506386706. *Journal of Electronic Resources in Medical Libraries*, 19(1–2), 54–55. <https://doi.org/10.1080/15424065.2022.2046231>