

PERANCANGAN KIT PRAKTIKUM ELEKTROPNEUMATIK UNTUK MENINGKATKAN KOMPETENSI MAHASISWA PADA SISTEM PNEUMATIK

Ilham Saputra

Departemen Teknik Mesin, Sekolah Vokasi, Universitas Gadjah Mada, Indonesia

E-mail: ilham_saputra@ugm.ac.id

Yohanes Sinung Nugroho

Departemen Teknik Aeronautika, Politeknik Negeri Bandung, Indonesia

E-mail: sinung.polban@gmail.com

Adhan Efendi*

Graduate of Precision Manufacturing, National Chin-Yi University of Technology, Taiwan

E-mail: adhan.efendi@gmail.com

Abstrak

Keterbatasan ketersediaan peralatan praktikum pada pembelajaran sistem pneumatik dan elektropneumatik masih menjadi salah satu kendala dalam meningkatkan kompetensi mahasiswa pendidikan vokasi. Penelitian ini bertujuan merancang dan mengembangkan kit praktikum elektropneumatik portabel berbentuk koper sebagai media pembelajaran untuk mendukung kegiatan praktikum secara efektif. Metode penelitian yang digunakan meliputi perancangan konseptual menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor, pemilihan komponen, proses manufaktur, perakitan, serta pengujian fungsional terhadap sistem yang dikembangkan. Kit praktikum terdiri atas unit kompresor, katup kontrol arah, aktuator pneumatik, serta rangkaian kendali listrik yang terintegrasi. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kit praktikum mampu berfungsi dengan baik serta mendukung mahasiswa dalam merancang, merakit, dan mengoperasikan rangkaian elektropneumatik secara langsung. Desain yang portabel juga memberikan kemudahan dalam penggunaan di berbagai ruang praktikum maupun kegiatan pelatihan. Pengembangan kit praktikum ini diharapkan dapat menjadi media pembelajaran yang efektif, ekonomis, dan mudah diimplementasikan untuk meningkatkan kompetensi mahasiswa pada bidang sistem pneumatik.

Kata Kunci: Elektropneumatik; Pendidikan vokasi; Kit praktikum; Sistem pneumatik; Pendidikan teknik; Pembelajaran berbasis kompetensi.

Abstract

The limited availability of practical equipment for pneumatic and electropneumatic learning remains a major challenge in improving the competency of vocational education students. This study aims to design and develop a portable suitcase-type electropneumatic training kit as an instructional medium to support effective hands-on learning activities. The research methodology consisted of conceptual design using Autodesk Inventor software, component selection, manufacturing, assembly, and functional testing of the developed system. The training kit comprises a compressor unit, directional control valves, pneumatic actuators, and an integrated electrical control circuit. The testing results demonstrate that the developed training kit performs effectively and enables students to design, assemble, and operate electropneumatic circuits in real time. Its portable design also provides greater flexibility for use in various laboratory environments and training activities. The proposed training kit is expected to serve as an effective, cost-efficient, and practical learning medium for enhancing students' competency in pneumatic systems.

Keywords: *electropneumatics, vocational education, training kit, pneumatic systems, engineering education, competency-based learning.*

PENDAHULUAN

Pendidikan dan pelatihan vokasi (*Technical and Vocational Education and Training* atau TVET)

memiliki peran penting dalam mempersiapkan sumber daya manusia yang kompeten dan siap menghadapi kebutuhan dunia industri, khususnya

di negara berkembang. Salah satu tantangan utama dalam penyelenggaraan pendidikan vokasi adalah keterbatasan ketersediaan peralatan praktikum yang memadai untuk mendukung proses pembelajaran berbasis praktik (Albertz & Pilz, 2025). Pada bidang otomasi dan sistem tenaga fluida, pemahaman terhadap komponen pneumatik dan elektropneumatik melalui kegiatan praktikum sangat diperlukan untuk mengembangkan kompetensi teknis serta kemampuan pemecahan masalah mahasiswa (Sinung Nugroho et al., 2020). Pengembangan media pembelajaran berbasis kit praktikum juga terbukti mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran praktikum melalui pendekatan *hands-on learning* (Sakanti et al., 2023).

Sistem pneumatik merupakan teknologi yang memanfaatkan udara bertekanan sebagai media untuk menghasilkan gerakan mekanis dan banyak diterapkan pada berbagai proses industri karena memiliki keunggulan dalam hal keandalan, kecepatan operasi, serta tingkat keamanan yang tinggi (Cheng et al., 2022; Efendi & Abadi, 2021). Teknologi tersebut juga telah banyak diterapkan pada berbagai sistem otomasi, seperti *servo-pneumatic manipulator*, *soft robotic gripper*, dan sistem aktuasi proporsional, yang menunjukkan pentingnya integrasi antara sistem pneumatik dan sistem kendali elektronik (Chin-Yi Cheng et al., 2022). Sementara itu, sistem elektropneumatik mengintegrasikan aktuator pneumatik dengan sistem kendali elektronik sehingga mampu meningkatkan fleksibilitas serta mendukung penerapan sistem otomasi yang lebih kompleks (Gomes et al., 2026). Kompleksitas sistem tersebut menuntut tersedianya media pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman praktis kepada mahasiswa melalui kegiatan praktikum secara langsung.

Pada berbagai institusi pendidikan vokasi di Indonesia, ketersediaan peralatan praktikum yang memenuhi standar industri masih relatif terbatas, terutama pada perguruan tinggi vokasi yang baru berkembang. Kondisi tersebut juga dijumpai pada Program Studi Pemeliharaan dan Perbaikan Mesin di Politeknik Negeri Subang, yang masih membutuhkan media praktikum yang mudah digunakan, portabel, dan sesuai dengan kebutuhan

pembelajaran. Oleh karena itu, diperlukan suatu media pembelajaran yang mampu mensimulasikan sistem elektropneumatik secara nyata sehingga mahasiswa dapat memahami prinsip kerja maupun penerapan sistem tersebut secara lebih efektif (Efendi & Abadi, 2021).

Beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan media pembelajaran interaktif berbasis praktikum mampu meningkatkan pemahaman konseptual mahasiswa pada bidang sistem tenaga fluida. (Tuleja, 2024) melaporkan bahwa kombinasi simulasi dan eksperimen pada sistem elektropneumatik dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap konsep dasar sistem kendali. Selain itu, (Chookaew et al., 2022) menyatakan bahwa kit praktikum yang dirancang secara modular mampu mendorong pembelajaran eksploratif serta meningkatkan penguasaan keterampilan pada bidang otomasi.

Dalam pembelajaran berbasis kompetensi, media praktikum perlu dirancang sesuai dengan capaian pembelajaran sehingga mampu meningkatkan keterlibatan mahasiswa selama proses pembelajaran (Staneviciene & Žekienė, 2025). Selain itu, aspek biaya, portabilitas, dan kemudahan penggunaan juga menjadi pertimbangan penting dalam pengembangan media pembelajaran pada lingkungan pendidikan vokasi yang memiliki keterbatasan fasilitas (Haleem et al., 2022).

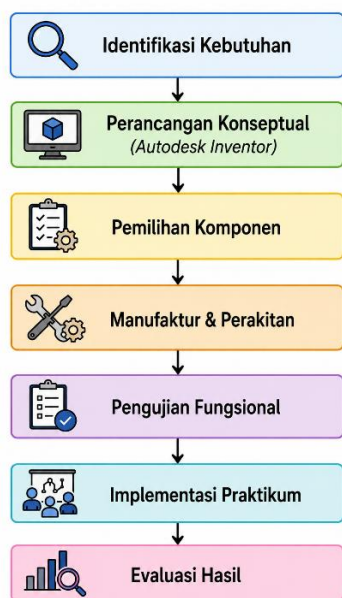
Penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh (Ramdani et al., 2020) telah mengembangkan trainer pneumatik tipe desktop untuk kegiatan praktikum, namun media tersebut masih memiliki keterbatasan dari sisi portabilitas sehingga kurang fleksibel dalam penggunaannya. Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini mengembangkan kit praktikum elektropneumatik portabel berbentuk koper yang mengintegrasikan sistem pneumatik dan sistem kendali elektronik dalam satu perangkat. Kit praktikum yang dikembangkan diharapkan dapat menjadi media pembelajaran yang praktis, mudah dipindahkan, serta mampu meningkatkan efektivitas pembelajaran pada sistem pneumatik dan elektropneumatik di lingkungan pendidikan vokasi.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode *Design-Based Research* (DBR) yang berfokus pada proses perancangan, pengembangan, dan evaluasi suatu produk pembelajaran secara sistematis. Tahapan penelitian meliputi proses perancangan, pemilihan komponen, manufaktur, perakitan, serta pengujian fungsional terhadap kit praktikum elektropneumatik yang dikembangkan seperti ditunjukkan pada gambar 1.

Perancangan Sistem

Perancangan kit praktikum diawali dengan penyusunan desain konseptual menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor (Fathurohman et al., 2022). Perangkat lunak tersebut digunakan untuk membuat model tiga dimensi (3D) sehingga tata letak komponen pneumatik, rangka, dan sistem kelistrikan dapat dirancang secara optimal sebelum proses manufaktur dilakukan.



Gambar 1. Diagram alir metode penelitian.

Dalam proses perancangan, penempatan setiap komponen mempertimbangkan aspek ergonomi, kemudahan penggunaan, keamanan, serta kemudahan perawatan. Selain itu, panel transparan digunakan pada beberapa bagian sebagai media pembelajaran sehingga mahasiswa dapat mengamati secara langsung konfigurasi komponen dan aliran sistem elektropneumatik selama praktikum berlangsung.

Pemilihan Komponen

Komponen yang digunakan dalam kit praktikum dipilih berdasarkan kebutuhan sistem elektropneumatik serta kesesuaiannya dengan materi pembelajaran pada pendidikan vokasi. Komponen utama yang digunakan meliputi:

- Kompresor udara portabel 12 V.
- Dua buah silinder pneumatik kerja ganda (*double-acting cylinder*).
- Katup solenoid 5/2.
- Tombol tekan (*push button*) dan relai.
- Antarmuka terminal yang kompatibel dengan PLC.
- Regulator udara, selang pneumatik, dan katup pengatur aliran (*flow control*).

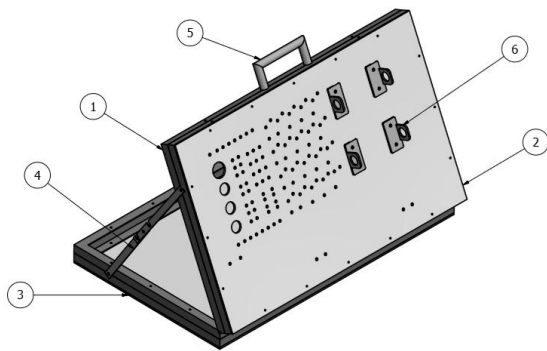
Seluruh komponen dirancang agar mudah dipasang, dilepas, dan dikonfigurasi ulang sehingga dapat digunakan pada berbagai skenario praktikum.

Proses Manufaktur

Rangka kit praktikum dibuat menggunakan panel aluminium yang dipadukan dengan lapisan busa (*foam lining*) untuk meningkatkan ketahanan terhadap benturan selama proses penyimpanan maupun pemindahan. Seluruh komponen pneumatik dan kelistrikan dipasang menggunakan sistem modular sehingga memudahkan proses perakitan, pemeliharaan, serta penggantian komponen apabila diperlukan.

Pengujian Fungsional

Pengujian dilakukan untuk memastikan seluruh komponen pada kit praktikum berfungsi sesuai dengan rancangan. Parameter yang diuji meliputi kestabilan tekanan udara pada rentang 5–6 bar, waktu respons katup solenoid, akurasi langkah silinder pneumatik, serta keberhasilan penyusunan rangkaian elektropneumatik sesuai modul praktikum. Selanjutnya, kit praktikum diimplementasikan dalam kegiatan pembelajaran dengan melibatkan mahasiswa untuk menyusun, mengoperasikan, dan melakukan *troubleshooting* pada rangkaian elektropneumatik tingkat dasar hingga menengah. Hasil pengujian digunakan untuk mengevaluasi kinerja sistem serta kelayakan kit praktikum sebagai media pembelajaran pada pendidikan vokasi.



Gambar 2. Desain Tiga Dimensi Kit Praktikum Elektropneumatik Menggunakan Autodesk Inventor.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Perancangan dan Kinerja Fungsional Kit Praktikum Elektropneumatik

Gambar 2 menunjukkan hasil perancangan kit praktikum elektropneumatik menggunakan perangkat lunak Autodesk Inventor. Kit praktikum dirancang dalam bentuk koper (*suitcase*) sehingga mudah dipindahkan dan digunakan sebagai media pembelajaran pada berbagai lingkungan praktikum. Sementara itu, Tabel 1 menyajikan komponen utama yang digunakan dalam perancangan kit praktikum.

Tabel 1. Komponen Utama Kit Praktikum Elektropneumatik.

No	Nama Komponen
1	Rangka kit praktikum elektropneumatik
2	Pelat nilon
3	Papan kayu lapis (<i>plywood</i>)
4	Penyangga
5	Pegangan
6	Dudukan aktuator

Berdasarkan Gambar 2, proses perancangan diawali dengan penyusunan desain konseptual yang kemudian dikembangkan menjadi model tiga dimensi menggunakan Autodesk Inventor. Perangkat lunak tersebut memungkinkan visualisasi tata letak komponen, analisis ergonomi, serta simulasi proses perakitan sebelum proses manufaktur dilakukan. Kit praktikum dirancang dengan dimensi 60 cm × 40 cm × 20 cm dalam bentuk koper portabel sehingga lebih mudah dipindahkan dibandingkan trainer konvensional. Melalui simulasi CAD, posisi setiap komponen, lubang baut, serta jalur sambungan pneumatik dapat dirancang secara presisi

sehingga meminimalkan kesalahan pada saat proses fabrikasi maupun perakitan.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa kit praktikum mampu mempertahankan tekanan pneumatik sebesar 5,5 bar dengan fluktuasi sekitar $\pm 0,1$ bar, memiliki waktu respons aktuator berkisar 0,3–0,5 detik, serta mampu beroperasi secara stabil selama lebih dari 100 siklus operasi. Hasil tersebut menunjukkan bahwa sistem memiliki kinerja yang baik dan layak digunakan sebagai media pembelajaran sistem elektropneumatik. Selain digunakan untuk proses perancangan, Autodesk Inventor juga dimanfaatkan untuk melakukan analisis struktur rangka dan titik pemasangan komponen sehingga mampu mengurangi potensi deformasi akibat penggunaan maupun proses pemindahan. Pendekatan ini sejalan dengan penelitian (Cinar et al., 2025) dan (Chin-Yi Cheng et al., 2022) yang memanfaatkan simulasi CAD untuk meningkatkan keandalan sistem elektropneumatik.

Hasil implementasi yang ditunjukkan pada Gambar 3 memperlihatkan bahwa seluruh komponen berhasil dirakit sesuai dengan desain yang telah dibuat. Tata letak komponen yang tersusun secara modular memberikan kemudahan dalam proses perakitan, pengoperasian, maupun pemeliharaan kit praktikum. Selain itu, desain ergonomis yang diterapkan memungkinkan mahasiswa mengamati secara langsung hubungan antara komponen pneumatik dan sistem kendali listrik selama kegiatan praktikum berlangsung.

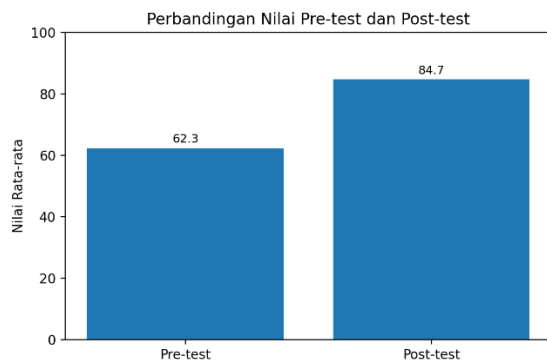


Gambar 3. Prototipe Kit Praktikum Elektropneumatik.

Efektivitas Pembelajaran

Efektivitas kit praktikum elektropneumatik dievaluasi melalui kegiatan pembelajaran yang melibatkan 24 mahasiswa selama tiga minggu pelaksanaan praktikum. Evaluasi dilakukan untuk mengetahui kemampuan mahasiswa dalam memahami konsep dasar, merakit rangkaian, serta melakukan

troubleshooting pada sistem elektropneumatik tingkat dasar hingga menengah.



Gambar 4. Perbandingan Nilai Pre-test dan Post-test Mahasiswa.

Berdasarkan hasil evaluasi yang ditunjukkan pada Gambar 4, terjadi peningkatan hasil belajar mahasiswa setelah menggunakan kit praktikum yang dikembangkan. Nilai rata-rata mahasiswa meningkat dari 62,3 pada pre-test menjadi 84,7 pada post-test. Peningkatan tersebut menunjukkan bahwa penggunaan kit praktikum mampu meningkatkan pemahaman konseptual serta keterampilan mahasiswa dalam mengoperasikan sistem elektropneumatik.

Selain hasil kuantitatif, evaluasi juga dilakukan melalui angket terbuka untuk memperoleh tanggapan mahasiswa terhadap penggunaan kit praktikum. Sebagian besar mahasiswa menyatakan bahwa tata letak komponen yang tersusun secara sistematis, konfigurasi rangkaian yang mudah dipahami, serta desain modular memberikan kemudahan dalam proses pembelajaran. Mahasiswa juga merasa lebih percaya diri dalam merancang, merakit, dan menganalisis rangkaian elektropneumatik setelah mengikuti kegiatan praktikum menggunakan kit yang dikembangkan. Sebanyak 87% mahasiswa menyatakan bahwa kit praktikum membantu mereka memahami hubungan antara sistem pneumatik dan sistem kendali listrik secara lebih baik.

Hasil penelitian ini sejalan dengan (Ismail et al., 2026), yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbasis praktikum mampu memperkuat pemahaman konsep sekaligus meningkatkan kemandirian mahasiswa dalam proses belajar. Selain itu, (Young et al., 2024) juga melaporkan bahwa penggunaan kit pembelajaran modular dapat meningkatkan pemahaman mahasiswa terhadap sistem kendali serta keterampilan praktis melalui kegiatan pembelajaran yang bersifat interaktif. Berdasarkan hasil tersebut, kit praktikum elektropneumatik yang dikembangkan terbukti mampu mendukung proses pembelajaran berbasis praktik secara efektif. Selain meningkatkan hasil belajar, kit praktikum

juga memberikan pengalaman langsung kepada mahasiswa dalam mengoperasikan sistem elektropneumatik sehingga kompetensi teknis yang dibutuhkan di dunia industri dapat dikembangkan secara lebih optimal.

Portabilitas dan Kemudahan Penggunaan

Kit praktikum elektropneumatik dirancang dalam bentuk koper portabel dengan dimensi 60 cm × 40 cm × 20 cm dan berat sekitar 8,5 kg. Desain tersebut memberikan kemudahan bagi dosen maupun mahasiswa dalam proses penyimpanan, pemindahan, dan penggunaan kit praktikum pada berbagai ruang pembelajaran, laboratorium, maupun kegiatan pelatihan di luar kelas. Berdasarkan hasil implementasi, desain portabel mampu meningkatkan efisiensi proses persiapan praktikum dibandingkan dengan trainer konvensional yang bersifat permanen (*bench-mounted*). Waktu yang dibutuhkan untuk menyiapkan peralatan praktikum berkurang sekitar 45%, sehingga dosen memiliki waktu yang lebih banyak untuk membimbing mahasiswa serta melaksanakan kegiatan pembelajaran secara interaktif.

Selain itu, tata letak komponen yang telah dipasang secara permanen dan dilengkapi dengan penandaan pada setiap terminal maupun jalur sambungan memudahkan mahasiswa dalam merakit rangkaian elektropneumatik. Desain tersebut juga mampu mengurangi kesalahan pemasangan komponen maupun kerusakan sistem akibat kesalahan pengkabelan, sehingga kit praktikum lebih sesuai digunakan oleh mahasiswa yang masih mempelajari dasar-dasar sistem elektropneumatik. Hasil penelitian ini sejalan dengan (Fajrin & Hakim, 2023) yang menyatakan bahwa media pembelajaran berbiaya rendah dan mudah dipindahkan merupakan solusi yang efektif bagi institusi pendidikan dengan keterbatasan fasilitas. Selain itu, (Larasati et al., 2024) juga melaporkan bahwa trainer dengan desain yang ringkas dan ergonomis lebih mudah diterima oleh dosen maupun mahasiswa karena memberikan kenyamanan serta kemudahan selama proses pembelajaran berlangsung.

Dampak terhadap Pembelajaran

Selain menunjukkan kinerja teknis yang baik, kit praktikum elektropneumatik juga memberikan dampak positif terhadap proses pembelajaran. Selama kegiatan praktikum, dosen dapat memanfaatkan kit praktikum sebagai media untuk menjelaskan prinsip kerja sistem elektropneumatik secara langsung sehingga mahasiswa lebih mudah memahami hubungan antara sinyal kendali dan respons aktuator. Kit praktikum juga memungkinkan dosen memberikan tugas praktikum secara individual maupun berkelompok sesuai dengan tingkat kemampuan

mahasiswa. Pendekatan tersebut mendorong mahasiswa untuk belajar secara mandiri, meningkatkan kemampuan pemecahan masalah, serta memperkuat keterampilan praktis melalui proses perakitan dan pengujian rangkaian elektropneumatik secara langsung.

Selain digunakan sebagai media pembelajaran dasar, kit praktikum yang dikembangkan juga dapat diintegrasikan dengan *Programmable Logic Controller* (PLC) sehingga ruang lingkup pembelajaran dapat diperluas ke bidang otomasi industri dan sistem kendali. Integrasi tersebut memberikan pengalaman belajar yang lebih komprehensif dan mendekati penerapan sistem elektropneumatik di dunia industri. Hasil implementasi penggunaan kit praktikum oleh mahasiswa ditunjukkan pada Gambar 5. Gambar tersebut memperlihatkan bahwa mahasiswa dapat melakukan proses perakitan, pengoperasian, serta pengujian rangkaian elektropneumatik secara mandiri dengan bimbingan dosen. Kondisi tersebut menunjukkan bahwa kit praktikum mampu menciptakan suasana pembelajaran yang lebih aktif, interaktif, dan berpusat pada mahasiswa.



Gambar 5. Implementasi Kit Praktikum Elektropneumatik pada Kegiatan Praktikum Mahasiswa.

Hasil penelitian ini sejalan dengan (Ayado & Berame, 2022), yang menyatakan bahwa media pembelajaran modular dan portabel mampu meningkatkan kualitas

pembelajaran teknik pada lingkungan pendidikan dengan keterbatasan fasilitas. Selain itu, (Urrea, 2026) juga menjelaskan bahwa penggunaan kit praktikum berbasis sistem kendali dapat meningkatkan kepercayaan diri mahasiswa, mendorong pembelajaran eksploratif, serta memperkuat kompetensi praktis melalui pengalaman belajar secara langsung.

PENUTUP

Kesimpulan

Penelitian ini berhasil merancang dan mengembangkan kit praktikum elektropneumatik portabel berbentuk koper sebagai media pembelajaran pada sistem pneumatik dan elektropneumatik di pendidikan vokasi. Kit praktikum yang dikembangkan mampu mengintegrasikan komponen pneumatik dan sistem kendali listrik dalam satu perangkat yang ringkas, mudah dipindahkan, serta mudah digunakan pada kegiatan praktikum. Hasil pengujian menunjukkan bahwa kit praktikum memiliki kinerja yang baik, ditandai dengan kestabilan tekanan udara, respons aktuator yang cepat, serta keandalan sistem selama proses pengoperasian. Selain itu, implementasi kit praktikum dalam kegiatan pembelajaran mampu meningkatkan pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam merancang, merakit, serta mengoperasikan rangkaian elektropneumatik. Desain yang portabel juga memberikan kemudahan dalam proses penyimpanan, pemindahan, dan pelaksanaan praktikum sehingga mendukung efisiensi proses pembelajaran.

Pengembangan kit praktikum ini diharapkan dapat menjadi alternatif media pembelajaran yang efektif, ekonomis, dan mudah diterapkan pada institusi pendidikan vokasi yang memiliki keterbatasan fasilitas praktikum. Pada penelitian selanjutnya, kit praktikum dapat dikembangkan dengan mengintegrasikan PLC dan teknologi *Internet of Things* (IoT) untuk mendukung pembelajaran sistem otomasi yang lebih interaktif serta sesuai dengan kebutuhan industri modern.

DAFTAR PUSTAKA

- Albertz, A., & Pilz, M. (2025). Green Alignment, Green Vocational Education and Training, Green Skills and Related Subjects: A Literature Review on Actors, Contents and Regional Contexts. *International Journal of Training and*

- Development*, 29(2), 243–254. <https://doi.org/10.1111/ijtd.12359>
- Ayado, D. M., & Berame, J. S. (2022). Effectiveness of supplementary modular learning materials to grade 12 students in science, technology, engineering, mathematics track in stoichiometry. *International Journal of Educational Policy Research and Review*, 9(4), 112–135. <https://doi.org/10.15739/IJEPRR.22.013>
- Cheng, C.-Y., Renn, J.-C., Saputra, I., & Shi, C.-E. (2022). Smart Grasping of a Soft Robotic Gripper Using NI Vision Builder Automated Inspection Based on LabVIEW Program. *International Journal of Mechanical Engineering and Robotics Research*, 737–744. <https://doi.org/10.18178/ijmerr.11.10.737-744>
- Chin-Yi Cheng, Jyh-Chyang Renn, Ilham Saputra, & Chen-En Shi. (2022). FEM Design and Implementation of a Novel Linear Motor for Fluid-Power Proportional Valves. *Journal of Innovative Technology*, 4(2). [https://doi.org/10.29424/JIT.202209_4\(2\).0002](https://doi.org/10.29424/JIT.202209_4(2).0002)
- Chookaew, S., Rajjaidee, P., Khanthinthara, W., Howimanporn, S., & Sootkaneung, W. (2022). Learning Factory: A Proposed Framework for Engineering Learning Ecology by Automated Manufacturing System Kits. *International Conference on Computers in Education*, 352–357.
- Cinar, R., Celik, H. K., Ucar, M., & Rennie, A. E. W. (2025). CAD–FEA Integrated Automation Platform for Structural Design, Deformation Simulation, and Size Optimization of Housings in External Gear Pumps. *Applied Sciences*, 15(23), 12564. <https://doi.org/10.3390/app152312564>
- Efendi, A., & Abadi, A. H. (2021). Manufacturing of suitcase electropneumatic trainer kit. *Journal of Physics: Conference Series*, 1833(1), 012003. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1833/1/012003>
- Fajrin, S., & Hakim, D. L. (2023). Implementation of Low-Cost Laboratory in Education: A Systematic Literature Review. *JIPTEK*, 16(2), 163. <https://doi.org/10.20961/jiptek.v16i2.74489>
- Fathurohman, F., Efendi, A., & Baharta, R. (2022). Making a Disc Mill Machine Design Using the Autodesk Inventor Application: *Proceedings of the 5th International Conference on Applied Science and Technology on Engineering Science*, 947–950. <https://doi.org/10.5220/0011966600003575>
- Gomes, E. O., Chang, S.-J., Saputra, I., & Cheng, C.-Y. (2026). A Soft Robotic Gripper With an Embedded Bistable Elastic Mechanism for Pneumatic Actuation and Passive Locking. *2026 ASU International Conference in Emerging Technologies for Sustainability and Intelligent Systems (ICETISIS)*, 183–188. <https://doi.org/10.1109/ICETISIS68266.2026.11549350>
- Haleem, A., Javaid, M., Qadri, M. A., & Suman, R. (2022). Understanding the role of digital technologies in education: A review. *Sustainable Operations and Computers*, 3, 275–285. <https://doi.org/10.1016/j.susoc.2022.05.004>
- Ismail, I., Jamaluddin, A. B., Arifin, A. N., & Pratiwi, A. C. (2026). The power of practicum in science education: An analysis of the role of practical-based learning on learning satisfaction and deep learning. *Journal of Pedagogical Research*, 10(1). <https://doi.org/10.33902/JPR.202641392>
- Larasati, S., Tarigan, A. D., & Adinata, Y. (2024). Design and build basic electronics trainer as a practicum teaching aid at the Electronics Engineering Laboratory, Universitas Pembangunan Panca Budi, Medan. *Journal of Information Technology, Computer Science and Electrical Engineering (JITCSE)*, 1(3), 46–53. <https://doi.org/10.30596/jitcse>
- Ramdani, S. D., Pangestu, A., & Abizar, H. (2020). The dual-design-based pneumatic simulator as supporting media for electro-pneumatic practicum in vocational higher education. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 9(3), 307. <https://doi.org/10.21831/jpv.v9i3.27345>
- Sakanti, M. M., Efendi, A., Surjanto, A., Falahuddin, M. A., Khakim, N., & Kuncoro, C. B. D. (2023). Development of PLC Trainer Kit as a Teaching Aid for Electric Motor Practice. *2023 10th International Conference on Electrical Engineering, Computer Science and Informatics (EECSI)*, 467–474. <https://doi.org/10.1109/EECSI59885.2023.10295587>
- Sinung Nugroho, Y., Efendi, A., & Fahmi, M. (2020). Perawatan Alat Peraga Elektropneumatik Model Suitcase Portable. *Jurnal E-Komtek (Elektro-Komputer-Teknik)*, 4(1), 91–99. <https://doi.org/10.37339/e-komtek.v4i1.218>
- Staneviciene, E., & Žekienė, G. (2025). The Use of Multimedia in the Teaching and Learning Process of Higher Education: A Systematic Review. *Sustainability*, 17(19), 8859. <https://doi.org/10.3390/su17198859>
- Tuleja, P. (2024). Educational procedures for training students in the field of pneumatic systems. *Acta*

Mechatronica, 9(4), 39–42.
<https://doi.org/10.22306/am.v9i4.130>

Urrea, C. (2026). Industrial Robotics and Adaptive Control Systems in STEM Education: Systematic Review of Technology Transfer from Industry to Classroom and Competency Development Framework. *Applied Sciences*, 16(4), 2026.
<https://doi.org/10.3390/app16042026>

Young, V., Cho, S., Talley, C., Voicu, R. C., Tekes, C., & Tekes, A. (2024). A Modular Control Lab Equipment and Virtual Simulations for Engineering Education. *SoutheastCon 2024*, 717–721.
<https://doi.org/10.1109/SoutheastCon52093.2024.10500097>

