



**URGENSI PENGEMBANGAN MEDIA PEMBELAJARAN PLC
BERBASIS SIMULASI: TINJAUAN TERHADAP PEMBELAJARAN
TEKNIK OTOMASI INDUSTRI**

***THE URGENCY OF DEVELOPING PLC LEARNING MEDIA BASED ON REAL
PROJECT SIMULATION: A REVIEW OF AUTOMATION ENGINEERING
LEARNING***

Agus Suyetno¹, Hakkun Elmunsyah²

¹Jurusan Pendidikan Kejuruan, Sekolah Pascasarjana, Universitas Negeri Malang

²Jurusan Teknik Elektro, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang

Email. ¹agus.suyetno.2305519@students.um.ac.id, ²hakkun@um.ac.id

Info Artikel

Sejarah Artikel:

Diterima: April 2024
Disetujui: April 2024
Dipublikasikan: Mei 2024

Kata Kunci:

Media pembelajaran
PLC, Simulator
PLC, Urgensi
simulator PLC

Keywords:

PLC learning
media, PLC
simulator,
Urgency of PLC
simulator

Abstract

Pengembangan teknologi dalam bidang pendidikan telah memberikan dampak yang signifikan dalam memperbaiki proses pembelajaran. Salah satu teknologi yang sedang berkembang pesat adalah penggunaan media pembelajaran berbasis simulasi untuk memfasilitasi pembelajaran di berbagai bidang, termasuk bidang teknik otomasi. Artikel ini membahas urgensi pengembangan media pembelajaran PLC (*Programmable Logic Controller*) berbasis simulasi dalam konteks pembelajaran teknik otomasi. PLC merupakan perangkat keras yang digunakan secara luas dalam industri untuk mengendalikan proses otomatisasi. Namun, pengajaran praktis tentang PLC seringkali terbatas oleh keterbatasan akses terhadap peralatan fisik dan biaya implementasi. Oleh karena itu, penggunaan media pembelajaran berbasis simulasi dapat menjadi solusi yang efektif untuk mengatasi kendala tersebut.

Abstract

The development of technology in the field of education has had a significant impact in improving the learning process. One technology that is developing rapidly is the use of simulation-based learning media to facilitate learning in various fields, including the field of automation engineering. This article discusses the urgency of developing simulation-based PLC (Programmable Logic Controller) learning media in the context of learning automation techniques. PLC is hardware that is widely used in industry to control automation processes. However, practical teaching of PLCs is often limited by limited access to physical equipment and implementation costs. Therefore, the use of simulation-based learning media can be an effective solution to overcome these obstacles.

PENDAHULUAN

Programmable Logic Controller (PLC) telah mengalami perkembangan yang signifikan sejak pertama kali diperkenalkan pada awal tahun 1970-an. Perkembangan ini mencakup berbagai aspek, fitur, kemampuan, ukuran, dan integrasi dengan teknologi lainnya. PLC pertama kali dikembangkan sebagai pengganti dari sistem relay dan panel kontrol kabel yang rumit dalam proses otomatisasi industri. PLC adalah perangkat prosesor tunggal berbasis komputer yang meniru perilaku diagram tangga listrik yang mampu mengendalikan banyak jenis peralatan industri dan seluruh sistem otomatis (Alphonsus & Abdullah, 2016). Seiring berjalannya waktu, teknologi dalam PLC mengalami perkembangan pesat. Salah satu perkembangan penting adalah integrasi PLC dengan jaringan komunikasi industri seperti Ethernet/IP, Profinet, dan Modbus TCP/IP. Integrasi jaringan komunikasi tersebut memungkinkan PLC untuk terhubung ke sistem yang lebih luas, termasuk sistem manufaktur berbasis IoT (*Internet of Things*).

Perkembangan berupa integrasi PLC dengan berbagai jenis perangkat lain yang kompleks melalui berbagai jaringan komunikasi juga merupakan dampak dari adanya revolusi industri 4.0. Menurut Stankovski et al. (2022) aplikasi sistem kontrol industri dalam banyak kasus bersifat kompleks dan mengintegrasikan berbagai jenis perangkat yang terhubung ke jaringan industri. Contoh paling nyata dari integrasi berbagai jenis perangkat yang terhubung didalam jaringan industri adalah industri otomotif yang memiliki beberapa robot yang bekerja berdasarkan logika kerja yang terprogram didalam PLC (Flordal et al., 2007). Menurut Dahl et al. (2023) kemampuan pemrograman dan pengoperasian PLC menjadi kompetensi yang dibutuhkan dimasa depan pada bidang manufaktur.

Keberadaan PLC sebagai bagian dari sistem kontrol menjadi sangat penting dan menjadi sulit untuk dilepaskan dari dunia industri modern. Berdasarkan fakta tersebut, maka menjadi dasar dari dimunculkannya berbagai skema pembelajaran sistem kontrol berbasis PLC mulai tingkat sekolah menengah kejuruan (SMK) hingga perguruan tinggi. Dalam mendukung keberhasilan dari pembelajaran tersebut, maka turut berkembang pula berbagai media pembelajaran sistem kontrol otomasi berbasis PLC. Salah satunya adalah pengembangan trainer sistem kontrol berbasis PLC di SMK-SMTI Padang yang dikembangkan oleh Robbi Maulana & Almasri (2024). Pengembangan media selanjutnya juga dilakukan oleh Ramadani & Almasri (2023) yang mengembangkan trainer mini industri (*shorting machine*) berbasis PLC omron sebagai media pembelajaran pada mata pelajaran pengendali sistem robotik SMK Negeri 1 Sumatera Barat. Dari hasil pengembangan trainer tersebut, diketahui bahwa pengembangan media pembelajaran trainer PLC layak digunakan dan mendapatkan respon positif dari siswa.

Tren pengembangan media pembelajaran sistem kontrol otomasi berbasis PLC di Indonesia pada kurun waktu 10 tahun terakhir masih banyak didominasi oleh pengembangan media pembelajaran berupa pengembangan trainer pembelajaran. Pengembangan media pembelajaran berupa trainer praktikum merupakan jenis media pembelajaran yang terbukti mampu memberikan dampak pencapaian kompetensi yang maksimal. Menurut Francom & Reeves (2010) yang merujuk kepada *Dale's Cone of Experience* menyatakan bahwa media pembelajaran yang mampu memberikan pengalaman langsung kepada pemakai media akan lebih bermakna jika dibandingkan dengan media pembelajaran yang hanya memberikan penjelasan visual saja. Namun, pembelajaran tentang PLC seringkali sulit dilakukan karena keterbatasan akses terhadap trainer dan biaya implementasi perangkat keras yang tinggi.

Penggunaan media pembelajaran berbasis simulasi dipandang mampu mengatasi kendala dari penggunaan dan pengadaan trainer praktikum. Terdapat beberapa alasan yang membuat pengembangan media pembelajaran berbasis simulasi menjadi pilihan yang lebih menguntungkan. Menurut Lateef (2010) pembelajaran berbasis simulasi dapat

mengembangkan pengetahuan, keterampilan, dan sikap profesional sekaligus melindungi dari risiko yang tidak perlu dan meningkatkan kinerja serta mengurangi kesalahan. Penggunaan simulasi memungkinkan akses yang lebih mudah bagi siswa untuk belajar tentang PLC tanpa harus bergantung pada perangkat fisik yang mungkin sulit diakses atau terbatas. Selain itu pembelian dan pemeliharaan trainer PLC fisik dapat menjadi investasi yang mahal bagi lembaga pendidikan. Media pembelajaran telah terbukti mampu mempermudah dan menarik minat belajar peserta didik serta efektif dalam mencapai tujuan pembelajaran (Alvin Maulana Al Bahri et al., 2024). Berdasarkan latar belakang tersebut, maka perlu ditinjau lebih dalam tentang urgensi pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi proyek nyata dari berbagai pandangan ahli yang telah melakukan pengembangan media pembelajaran.

METODE PENELITIAN

Metode penelitian yang dipergunakan dalam penelitian ini adalah metode penelitian kualitatif dengan teknik penelitian studi kepustakaan (*systematic review*). Teknik penelitian studi pustaka merupakan serangkaian kegiatan ilmiah yang dilakukan dengan mengumpulkan sejumlah informasi yang relevan dengan topik atau masalah yang akan atau sedang dikaji dengan kepustakaan sebagai sumber utama referensi (Indra & Cahyaningrum, 2019).

Penelitian *systematic review* dilakukan sesuai dengan pedoman *Preferred Reporting Items for Systematic Reviews and Meta-Analyses* (PRISMA) (Tricco et al., 2018). Pengumpulan artikel jurnal sebagai bahan *systematic review* dilakukan dengan mencari di basis data Proquest, Springer, dan Consensus. Proquest dan Springer memuat basis data dari jurnal internasional yang bereputasi, sedangkan Consensus adalah portal pencarian dengan AI (*artificial intelligence*) yang mampu mencari artikel secara spesifik dari jurnal internasional dan jurnal nasional berbagai bahasa termasuk berbahasa Indonesia.

Fokus dari *systematic review* yang akan dilakukan adalah menilai urgensi pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi proyek nyata. Kata kunci yang digunakan untuk mengidentifikasi artikel jurnal yang relevan adalah “*PLC learning media*”, “*project simulation*” dan “*industrial automation*”.

Identifikasi dan Seleksi Artikel

Seluruh artikel jurnal hasil pencarian dari ketiga basis data disimpan di dalam program manajemen referensi (*reference management software*) Zotero. Proses seleksi dimulai dengan melakukan penghapusan artikel yang terindikasi duplikat. Langkah selanjutnya adalah melakukan seleksi dengan cara membaca judul dan abstrak. Untuk langkah seleksi terakhir adalah mengecualikan/eksklusi (*exclude*) artikel berdasarkan kriteria inklusi dan kriteria eksklusi pada Tabel 1.

Tabel 1. Kriteria Inklusi dan kriteria eksklusi

Kriteria Inklusi	Kriteria Eksklusi
Artikel yang diterbitkan dalam bahasa Inggris dan bahasa Indonesia	Artikel di mana data lengkap tidak dapat diakses
Artikel yang diterbitkan dalam rentang waktu 2020 hingga 2024	Artikel yang tidak sesuai dengan topik pembelajaran PLC
Artikel tentang pengembangan media pembelajaran pada pembelajaran praktikum	

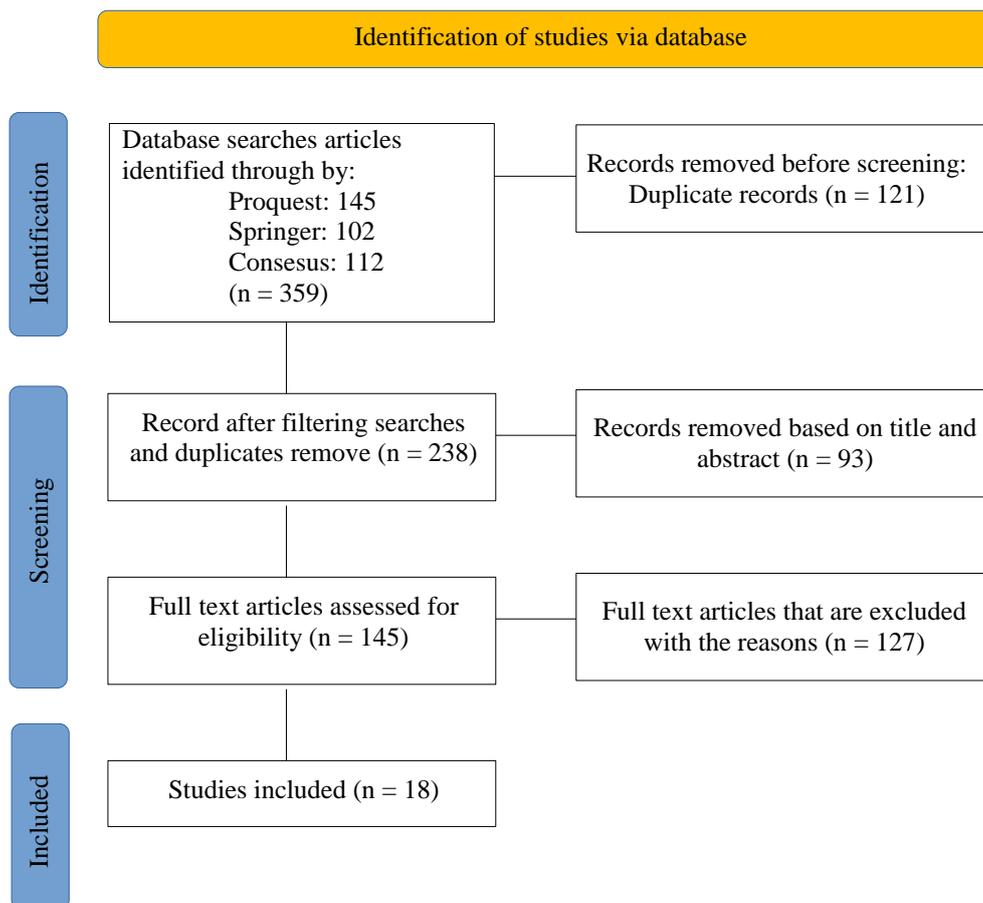
Penilaian kritis (*Critical Appraisal*)

Dari seluruh artikel yang memenuhi kriteria inklusi dilakukan ekstraksi data sesuai fokus penelitian. Apabila dalam proses ekstraksi ditemukan variabel yang menarik, maka variabel tersebut akan diambil/ diekstrak. Proses ekstraksi menggunakan bantuan program lateral.io. Lateral adalah perangkat lunak AI (*artificial intelligence*) modern untuk menavigasi informasi dengan cepat di seluruh dokumen. Lateral sangat membantu dengan asisten AI untuk menemukan informasi dan antar muka sederhana untuk mengatur informasi.

Setelah dilakukan ekstraksi dari *full-text*, selanjutnya dilakukan penilaian terhadap kualitas artikel dengan menggunakan lembar *check-list*. Artikel yang berkualitas berdasarkan jumlah skor tertinggi yang akan diambil untuk diekstraksi datanya. Penulis akan mengekstraksi data dari study yang telah dimasukkan menggunakan tabel ekstraksi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil penilaian ditemukan artikel yang terduplikat sebanyak 121 artikel. Selanjutnya hasil seleksi berdasarkan judul dan abstrak sebanyak 145 artikel. Berdasarkan hasil seleksi dengan memperhatikan kriteria inklusi, maka didapatkan 18 artikel yang layak untuk diekstraksi lebih lanjut. Temuan jumlah artikel dan proses filter dideskripsikan dalam PRISMA *Flowchart* pada Gambar 1.



Gambar 1. PRISMA *Flowchart*

Tren Perkembangan Media Pembelajaran PLC

Tren perkembangan media pembelajaran PLC terus berkembang seiring dengan kemajuan teknologi dan evolusi dalam pendekatan pembelajaran kolaboratif. Media pembelajaran PLC telah berkembang mulai dari hanya sekedar audio video hingga menghasilkan media pembelajaran yang mampu mengajak peserta didik untuk aktif berinteraksi melalui simulasi virtual. Contoh pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi adalah media pelatihan PLC oleh Noviyanto & Sudira (2020) yang mengajarkan keterampilan PLC berorientasi industri meliputi pemrograman, pengkabelan, dan pemecahan masalah, sekaligus memberikan simulasi proses produksi untuk latihan. Media pembelajaran simulasi terbukti mempunyai kinerja yang baik dan sangat layak digunakan dalam pembelajaran PLC (Haque & Jakaria, 2020).

Teknologi simulasi terbukti terus berkembang dibuktikan dengan munculnya realitas virtual (VR) dan augmented reality (AR) yang mampu memberikan pendekatan baru dalam pengembangan media pembelajaran PLC yang lebih interaktif. Seperti yang telah dikembangkan oleh Syufrijal (2020) berupa media pembelajaran PLC interaktif menggunakan virtual learning menggunakan software simulator 3D dan akses jarak jauh untuk mengendalikan virtual plant conveyor. Menurut Wu (2023) teknologi simulasi virtual dalam sistem kontrol PLC memungkinkan pembelajaran mandiri, mengurangi batasan jam kelas, peralatan, dan tempat.

Pendekatan pembelajaran berbasis game (*game-based learning*) juga menjadi semakin populer karena memberikan pengalaman belajar yang menarik dan menyenangkan dalam mempelajari PLC. Menurut Xu (2021) sistem pembelajaran PLC yang menggunakan *machine learning* secara efektif meningkatkan pengajaran PLC di perguruan tinggi dan universitas. Selain itu menurut Wang & Wang (2020) simulasi PLC berbasis permainan yang menggabungkan pemodelan 3DMax dan Unity3D secara efektif meningkatkan kemampuan pemrograman PLC siswa dan kesadaran inovasi, sehingga memberikan manfaat bagi strategi kontrol waktu nyata di lingkungan virtual.

Berbagai inovasi pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi virtual menunjukkan bahwa pengembangan media pembelajaran PLC terus beradaptasi dengan perubahan teknologi dan kebutuhan pembelajaran kolaboratif, untuk meningkatkan efektivitas dan relevansi pembelajaran bagi anggota PLC. Selain itu media pembelajaran simulasi virtual mampu membantu peserta didik dalam berlatih mengendalikan proses industri menggunakan PLC dan membantu menganalisis alur kerja dalam mengevaluasi kinerja sistem (Aria et al., 2020).

Urgensi Pengembangan Media Pembelajaran PLC berbasis Simulasi

Pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi sangatlah penting dalam konteks pembelajaran profesional yang berkelanjutan. Simulasi memberikan peserta didik kesempatan untuk terlibat dalam pengalaman belajar yang realistis tanpa risiko kecelakaan kerja di lapangan. Simulator pelatihan berbasis PLC secara efektif memodelkan pekerjaan laboratorium yang memberikan peserta didik cara yang fleksibel dan aman untuk mempelajari PLC dan sistem catu daya (Kholikhmatov et al., 2023). Hal tersebut memungkinkan peserta didik untuk mengasah keterampilan dan mempraktikkan pengetahuan dalam lingkungan yang aman dan terkendali.

Menurut Chang et al. (2021) pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi terbukti meningkatkan efisiensi pembelajaran, mengurangi biaya peralatan pelatihan, dan memungkinkan siswa mempelajari pengetahuan dasar dan mengoperasikan PLC di mana saja. Peserta didik juga dapat terlibat dalam simulasi yang mensimulasikan lingkungan kerja atau situasi profesional secara akurat, memungkinkan mereka untuk

mempraktikkan keterampilan, mengambil keputusan, dan menghadapi tantangan dengan cara yang mirip dengan dunia nyata. Media pembelajaran simulasi juga memfasilitasi pembelajaran yang mandiri dan eksplorasi tanpa batasan waktu atau tempat. Dengan aksesibilitas yang fleksibel, peserta didik dapat belajar secara mandiri dan mengulangi latihan sebanyak yang diperlukan untuk mencapai pemahaman yang mendalam.

Menurut Jaensch et al. (2021) media pembelajaran PLC berbasis simulasi membantu mengotomatisasi proses rekayasa perangkat lunak dengan mempelajari logika aliran kontrol pada sistem produksi virtual, mendukung modularitas dan mengurangi kompleksitas. Dengan adanya simulasi, peserta didik dapat mengeksplorasi berbagai skenario dan situasi yang mungkin sulit atau bahkan tidak mungkin terjadi dalam kehidupan nyata. Hal tersebut memungkinkan mereka untuk mempersiapkan diri dengan lebih baik dalam menghadapi tantangan di lapangan dan meningkatkan kesiapan mereka dalam menghadapi situasi yang kompleks dan dinamis.

Media pembelajaran simulasi semi-virtual dapat digunakan oleh peserta didik untuk berlatih memprogram PLC sehingga meningkatkan keterampilan dan pengetahuan (Qianqian & Lei, 2021). Media pembelajaran simulasi juga mampu menawarkan umpan balik yang langsung dan terperinci, memungkinkan peserta didik untuk melakukan perbaikan secara instan sehingga mampu meningkatkan pemahaman atas konsep-konsep yang sulit. Dengan kombinasi keunggulan ini, media pembelajaran simulasi menjadi alat yang efektif dalam meningkatkan pembelajaran kolaboratif dan pengembangan profesional bagi peserta didik.

Teknologi simulasi virtual sangat meningkatkan efisiensi belajar siswa dan mendorong hubungan antara kurikulum dan pengajaran praktik, memperkuat integrasi pengajaran teori dan pengajaran praktik (Shi et al., 2020). Dengan demikian, pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi virtual tidak hanya mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan efisien, tetapi juga memperkuat keterampilan dan pengetahuan peserta didik dalam memecahkan masalah sistem otomasi di dunia nyata.

Kelebihan-kelebihan dari media pembelajaran PLC berbasis simulasi menjadi alasan yang kuat untuk terus mengembangkan dan mengimplementasikan media pembelajaran simulasi dalam konteks pembelajaran kolaboratif. Pengalaman belajar praktis dan realistis yang disediakan oleh simulasi memungkinkan peserta didik untuk mempraktikkan keterampilan dan mengambil keputusan dalam lingkungan yang aman dan terkendali. Dengan simulasi, mereka dapat menghadapi tantangan yang kompleks dan memperdalam pemahaman mereka atas konsep-konsep yang sulit tanpa risiko yang terkait dengan situasi di lapangan. Selain itu, aksesibilitas yang fleksibel dan umpan balik yang langsung memperkuat kemampuan peserta didik untuk belajar mandiri dan memperbaiki kinerja mereka secara instan. Melalui kombinasi kelebihan-kelebihan ini, pengembangan media pembelajaran PLC berbasis simulasi menjadi semakin penting dan *urgent* dalam mendukung pembelajaran kolaboratif yang efektif dan pengembangan profesional yang berkelanjutan bagi peserta didik.

SIMPULAN

Pengembangan teknologi simulasi virtual telah secara signifikan meningkatkan efisiensi pembelajaran dan memperkuat hubungan antara kurikulum dan pengajaran praktis, mempercepat integrasi pengajaran teoritis dan praktis. Kemajuan teknologi telah mengarah pada penciptaan media pembelajaran simulasi virtual berbasis PLC yang tidak hanya mendukung pembelajaran yang lebih efektif dan efisien tetapi juga memperkuat keterampilan peserta didik dalam memecahkan masalah dalam sistem otomasi di dunia nyata. Evolusi berkelanjutan dari media pembelajaran PLC yang dimulai dari alat bantu audio-visual dasar hingga mampu berkembang menjadi simulasi virtual interaktif menunjukkan kemampuan beradaptasi terhadap kemajuan teknologi dan kebutuhan pembelajaran kolaboratif.

Media pembelajaran simulasi virtual seperti pembelajaran PLC interaktif yang menggunakan perangkat lunak simulator 3D telah terbukti menjadi media yang signifikan dalam meningkatkan pembelajaran kolaboratif dan pengembangan profesional bagi peserta didik. Media pembelajaran tersebut mampu menawarkan umpan balik terperinci sehingga memungkinkan peserta didik untuk secara instan melakukan koreksi. Umpan balik tersebut juga akan meningkatkan pemahaman mereka tentang konsep kompleks PLC sehingga pada akhirnya dapat mempersiapkan mereka untuk menghadapi tantangan dalam situasi yang dinamis dan kompleks.

DAFTAR PUSTAKA

- Alphonsus, E. R., & Abdullah, M. O. (2016). A Review on The Applications of Programmable Logic Controllers (PLCs). *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, 60, 1185–1205. <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
- Alvin Maulana Al Bahri, Ari Dwi Nur Indriawan Musyono, Dwi Widjanarko, & Sudiyono. (2024). Efektivitas Pembelajaran dengan Multimedia Interaktif untuk Meningkatkan Hasil Belajar Menggunakan Fungsi Perintah dalam Membuat Gambar CAD 3D. *Jurnal Pendidikan Teknik Mesin*, 10(2), 159–166. <https://jptm.ejournal.unsri.ac.id/index.php/jptm/article/view/5>
- Aria, M., Utama, J., Fauzia, F., Rizal, M., Fahmi, M., & Yudha, M. (2020). Virtual Simulation System with Various Examples and Analysis Tools for Programmable Logic Controller Training. *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, 879. <https://doi.org/10.1088/1757-899X/879/1/012108>
- Chang, W., Zhang, Q., Xia, H., & Yang, Y. (2021). Construction of Virtual Simulation Teaching Platform for Elevator Control. *Journal of Physics: Conference Series*, 1848. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1848/1/012120>
- Dahl, H., Tvenge, N., Assuad, C. S. A., & Martinsen, K. (2023). A Learning Approach for Future Competencies in Manufacturing using a Learning Factory. *16th CIRP Conference on Intelligent Computation in Manufacturing Engineering*, 118, 1039–1043. <https://doi.org/10.1016/j.procir.2023.06.178>
- Flordal, H., Fabian, M., Åkesson, K., & Spensieri, D. (2007). Automatic Model Generation and PLC-Code Implementation for Interlocking Policies in Industrial Robot Cells. *Special Issue on Manufacturing Plant Control: Challenges and Issues*, 15(11), 1416–1426. <https://doi.org/10.1016/j.conengprac.2006.11.001>

- Francom, G., & Reeves, T. C. (2010). A Significant Contributor to the Field of Educational Technology. *Educational Technology*, 50(3), 55–58. <http://www.jstor.org/stable/44429809>
- Haque, M., & Jakaria, Y. (2020). Development of Practice Learning Media Based on Programmable Logic Controller. *Jurnal Pendidikan Teknologi Dan Kejuruan*, 26, 119–128. <https://doi.org/10.21831/JPTK.V26I2.33893>
- Indra, I. M., & Cahyaningrum, I. (2019). *Cara Mudah Memahami Metodologi Penelitian*. Deepublish.
- Jaensch, F., Steidle, A., & Verl, A. (2021). Curriculum Multi-Stage Reinforcement Learning for Automated Interlinked Production Systems on Virtual Commissioning Simulations. *2021 Third International Conference on Transdisciplinary AI (TransAI)*, 129–136. <https://doi.org/10.1109/TransAI51903.2021.00031>
- Kholikhmatov, B. B., Samiev, S., Erejepov, M., & Nematov, L. (2023). Modelling of Laboratory Work In The Science “Fundamentals of Power Supply” using an Educational Simulator Based on a Programmed Logic Controller. *E3S Web of Conferences*. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202338401032>
- Lateef, F. (2010). Simulation-Based Learning: Just Like The Real Thing. *Journal of Emergencies, Trauma and Shock*, 3, 348–352. <https://doi.org/10.4103/0974-2700.70743>
- Noviyanto, E., & Sudira, P. (2020). *Design of Industrial Oriented PLC Training Media for Vocational School*. 217–221. <https://doi.org/10.2991/assehr.k.200521.048>
- Qianqian, J., & Lei, Z. (2021). Development of Semi-virtual Simulation Training Platform Based on PLC. *2021 4th International Conference on Advanced Electronic Materials, Computers and Software Engineering (AEMCSE)*, 1265–1268. <https://doi.org/10.1109/AEMCSE51986.2021.00258>
- Ramadani, D., & Almasri, A. (2023). Pengembangan Trainer Mini Industri (Shorting Machine) Berbasis Plc Omron sebagai Media Pembelajaran pada Mata Pelajaran Pengendali Sistem Robotik SMK Negeri 1 Sumatera Barat. *Jurnal Pendidikan Tambusai*, 7(1), 4397–4406. <https://doi.org/10.31004/jptam.v7i1.5934>
- Robbi Maulana, & Almasri. (2024). Perancangan dan Pembuatan Trainer Sistem Kontrol Berbasis PLC sebagai Pengembangan Media Pembelajaran di SMK-SMTI Padang. *Scientica: Jurnal Ilmiah Sains Dan Teknologi*, 2(4), 21–32. <https://doi.org/10.572349/scientica.v2i4.1155>
- Shi, X., Liu, Z., Zhang, X., & Yu, W. (2020). The Course Reform of Electronic Control of Machine Tool and PLC based on the Virtual Simulation Technology. *2020 International Conference on Big Data Economy and Information Management (BDEIM)*, 172–175. <https://doi.org/10.1109/BDEIM52318.2020.00046>
- Stankovski, S., Ostojić, G., Baranovski, I., Tegeltija, S., & Smirnov, V. (2022). Robust Automation with PLC/PAC and Edge Controllers. *17th IFAC Conference on Programmable Devices and Embedded Systems PDES 2022*, 55(4), 316–321. <https://doi.org/10.1016/j.ifacol.2022.06.052>
- Syufrijal. (2020). Development of Interactive PLC Learning Media Based on Virtual Learning. *KnE Social Sciences*. <https://doi.org/10.18502/kss.v4i14.7910>

- Tricco, A., Lillie, E., Zarin, W., O'Brien, K., Colquhoun, H., Levac, D., Moher, D., Peters, M., Horsley, T., Weeks, L., Hempel, S., Akl, E., Chang, C., McGowan, J., Stewart, L., Hartling, L., Aldcroft, A., Wilson, M., Garritty, C., & Straus, S. (2018). PRISMA Extension for Scoping Reviews (PRISMA-ScR): Checklist and Explanation. *Annals of Internal Medicine*, 169. <https://doi.org/10.7326/M18-0850>
- Wang, H., & Wang, Z. (2020). Research on PLC Simulation Teaching Platform Based on Unity. *2020 International Conference on Intelligent Design (ICID)*, 15–18. <https://doi.org/10.1109/ICID52250.2020.00011>
- Wu, H. (2023). Research on PLC Control System Based on Virtual Simulation. *2023 8th International Conference on Information Systems Engineering (ICISE)*, 530–534. <https://doi.org/10.1109/ICISE60366.2023.00118>
- Xu, M. (2021). PLC Course Performance Evaluation based on Machine Learning and Image Feature Retrieval. *J. Intell. Fuzzy Syst.*, 40, 7209–7219. <https://doi.org/10.3233/jifs-189548>