



Enhancing vocational teacher competencies and student critical thinking through digital technology integration in hydraulic and pneumatic systems training

Wagino¹, Milana¹, Rifdarmon¹, Rahmat Desman Koto¹, Yuniswar², Daflis Eka Putra³, Deno Saputra²

¹ Universitas Negeri Padang, Padang, Indonesia

² SMK Negeri 1 Sumatera Barat, Padang, Indonesia

³ SMK Negeri 1 Lubuk Basung, Agam, Indonesia

 wagino@ft.unp.ac.id

 <https://doi.org/10.31603/ce.14798>

Abstract

The integration of digital technology in automotive engineering education has become a pressing necessity to prepare competent workforce for the Industry 4.0 era. This Community Partnership Empowerment Program aims to enhance the competence of Automotive Engineering Subject Teacher Group (MGMP) members and vocational high school (SMK) students in West Sumatra through training on hydraulic and pneumatic systems integrated with digital technology. The service methodology included intensive workshops, hands-on training, mentorship in developing learning media, and industry site visits, all delivered through a blended learning approach utilizing an e-learning platform for teachers and physical simulators for students. Evaluation results demonstrate a significant increase in teachers' digital technology competence, rising from an average score of 42 (basic level) to 87 (proficient level). Furthermore, students' critical thinking skills in solving hydraulic and pneumatic system problems improved by an average of 30 points, increasing from an initial score of 45 to 75. Additionally, the program successfully developed various video tutorials and interactive learning media, and established sustainable partnerships between the university, schools, and industry, following the triple helix model.

Keywords: Digital technology; Hydraulic and pneumatic systems; Competency; Critical thinking

Meningkatkan kompetensi guru kejuruan dan berpikir kritis siswa melalui integrasi teknologi digital dalam pelatihan sistem hidrolis dan pneumatik

Abstrak

Integrasi teknologi digital dalam pendidikan teknik otomotif telah menjadi kebutuhan mendesak untuk mempersiapkan tenaga kerja kompeten di era Industri 4.0. Program Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat ini bertujuan meningkatkan kompetensi guru MGMP Teknik Otomotif dan siswa SMK di Sumatera Barat melalui pelatihan sistem hidrolis dan pneumatik terintegrasi teknologi digital. Metode pengabdian meliputi workshop intensif, pelatihan hands-on, pendampingan pengembangan media pembelajaran, dan kunjungan praktik industri dengan pendekatan blended learning menggunakan platform e-learning untuk guru dan simulator fisik untuk siswa. Hasil evaluasi menunjukkan peningkatan signifikan kompetensi teknologi digital guru dari rata-rata skor 42 (tingkat dasar) menjadi 87 (tingkat mahir), serta kemampuan berpikir kritis siswa dalam memecahkan masalah

Contributions to
SDGs



Article History

Received: 13/09/25

Revised: 01/10/25

Accepted: 07/10/25

sistem hidrolik dan pneumatik meningkat rata-rata 30 poin dari skor awal 45 menjadi 75. Selain itu, program berhasil mengembangkan berbagai video tutorial, media pembelajaran interaktif yang beragam, dan membangun kemitraan berkelanjutan antara perguruan tinggi, sekolah, dan industri mengikuti model triple helix.

Kata Kunci: Teknologi digital; Sistem hidrolik dan pneumatik; Kompetensi; Berpikir kritis

1. Pendahuluan

Era globalisasi dan revolusi industri 4.0 menuntut pendidikan kejuruan untuk menghasilkan lulusan yang tidak hanya memiliki kompetensi teknis tetapi juga kemampuan beradaptasi dengan teknologi digital (Wagino, Maksum, et al., 2023; Yoto et al., 2024). Bidang teknik otomotif, khususnya sistem hidrolik dan pneumatik pada alat berat, memerlukan pemahaman mendalam tentang integrasi teknologi digital dalam operasional dan pemeliharaan sistem (Garcia et al., 2025; Liu et al., 2024). Seiring dengan perkembangan teknologi, sistem hidrolik dan pneumatik menjadi semakin kompleks dan terintegrasi dengan sistem kontrol digital, sehingga menuntut tenaga kerja yang mampu mengoperasikan, mendiagnosis, dan memelihara sistem tersebut dengan pendekatan teknologi terkini (Hidayat et al., 2022).

Provinsi Sumatera Barat memiliki delapan sekolah menengah kejuruan yang menyelenggarakan program Teknik Alat Berat dengan total 980 siswa. Namun, data menunjukkan bahwa hanya 48% lulusan yang bekerja sesuai bidangnya, dan 37% diantaranya masih memerlukan pelatihan tambahan setelah memasuki dunia kerja (Isnaini et al., 2025). Kondisi ini mengindikasikan adanya kesenjangan antara kompetensi yang diperoleh di sekolah dengan kebutuhan industri yang semakin mengarah pada digitalisasi sistem hidrolik dan pneumatik (R. Zhou et al., 2024).

Musyawarah Guru Mata Pelajaran (MGMP) Teknik Otomotif Sumatera Barat yang beranggotakan 42 guru dari 15 SMK menghadapi tantangan signifikan dalam mengintegrasikan teknologi digital pada pembelajaran sistem hidrolik dan pneumatik (Maksum et al., 2023). Dari 24 guru produktif yang mengampu program Teknik Alat Berat, hanya 20,8% yang memiliki sertifikasi dalam sistem hidrolik-pneumatik dan 12,5% yang mampu mengintegrasikan teknologi digital dalam pembelajaran. Keterbatasan ini berdampak pada kualitas pembelajaran yang masih konvensional dan belum memenuhi standar kompetensi industri modern (Wagino, Maksum, et al., 2024).

Permasalahan keterbatasan fasilitas praktikum juga menjadi kendala utama, dimana lima dari delapan SMK memiliki rasio *trainer* hidrolik dan pneumatik 1:20, jauh dari rasio ideal 1:5. Kondisi peralatan yang 65% berusia lebih dari 10 tahun dengan 40% komponen rusak semakin mempersulit proses pembelajaran praktis. SMK yang baru membuka program Teknik Alat Berat seperti SMK Negeri Sungai Limau dan SMK Negeri 1 Sumatera Barat bahkan belum memiliki *trainer*, sehingga pembelajaran hanya mengandalkan teori tanpa praktik yang memadai (Afnison et al., 2023).

Mengacu pada penelitian sebelumnya yang dilakukan oleh Wagino, Hidayat, et al. (2024), pelatihan sistem hidrolik dan pneumatik dengan menggunakan metode *problem-based learning* dan *project-based learning* terbukti efektif meningkatkan keterampilan siswa program Teknik Alat Berat. Penelitian tersebut menunjukkan peningkatan signifikan dengan rata-rata 25 poin setelah mengikuti pelatihan. Model pelatihan yang telah teruji ini menjadi dasar pengembangan program pengabdian masyarakat untuk

MGMP Teknik Otomotif Sumatera Barat dengan penambahan integrasi teknologi digital sebagai inovasi utama (Wagino, Rinaldi, et al., 2023).

Integrasi teknologi digital dalam pendidikan vokasi telah menjadi fokus penelitian global dalam dekade terakhir, dengan berbagai studi menunjukkan dampak positif terhadap *learning outcomes* dan kesiapan kerja lulusan. Maksun et al. (2025) melaporkan bahwa *blended learning approach* yang menggabungkan *e-learning platform* dengan *hands-on practice* menghasilkan peningkatan signifikan dalam keterlibatan siswa dan tingkat retensi dibandingkan metode konvensional. Temuan ini diperkuat oleh Wagino et al. (2025) yang mengidentifikasi bahwa penggunaan simulator digital dalam *technical training* mampu mengurangi kurva belajar secara substansial dan meningkatkan keterampilan memecahkan masalah peserta didik. Dalam konteks pelatihan sistem hidraulik dan pneumatik, Shahrezaei et al. (2024) menunjukkan bahwa kombinasi *virtual simulation* dengan *physical practice* menghasilkan pencapaian kompetensi yang lebih tinggi dibandingkan praktik konvensional, sekaligus mengurangi biaya operasional pelatihan secara signifikan. Solusi yang ditawarkan dalam program ini mengadopsi praktik terbaik dari penelitian-penelitian tersebut dengan kontekstualisasi pada kondisi pendidikan vokasi di Indonesia, khususnya untuk mengatasi keterbatasan infrastruktur dan kompetensi guru dalam mengintegrasikan teknologi digital.

Meskipun berbagai penelitian telah membuktikan efektivitas integrasi teknologi digital dalam pendidikan vokasi, implementasinya di negara berkembang masih menghadapi tantangan kompleks terkait kompetensi digital guru dan kesiapan institusi. Boonmoh & Sanmuang (2024) mengidentifikasi bahwa mayoritas guru kejuruan di Asia Tenggara memiliki tingkat literasi digital yang masih rendah, sementara Shahzad et al. (2023) menemukan bahwa kurangnya *continuous professional development* menjadi hambatan utama dalam adopsi teknologi. Dalam konteks pelatihan guru, Zamiri & Esmaeili (2024) menekankan pentingnya pendekatan *scaffolded learning* dengan mentoring berkelanjutan untuk memastikan program berkelanjutan. Program ini menjawab gap tersebut melalui pendekatan *triple helix collaboration* yang melibatkan *university expertise*, *school implementation capacity*, dan *industry standards*, sebuah model yang terbukti efektif dalam Hailu (2024) untuk meningkatkan relevansi dan keberlanjutan dari program pendidikan vokasi. Dengan demikian, program ini tidak hanya berfokus pada *transfer of knowledge*, tetapi juga pada membangun ekosistem yang berkelanjutan untuk transformasi digital dalam pendidikan teknik otomotif di Sumatera Barat.

2. Metode

Program pengabdian masyarakat ini dilaksanakan selama empat hari yang terbagi dalam dua tahap, yaitu 23-24 Agustus 2025 dan 30-31 Agustus 2025, bertempat di Departemen Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Peserta program terdiri dari 15 guru MGMP Teknik Otomotif yang berasal dari delapan SMK dengan program Teknik Alat Berat di Sumatera Barat dan 10 siswa SMK terpilih. Mitra kegiatan pengabdian meliputi MGMP Teknik Otomotif Sumatera Barat, SMK Negeri 1 Sumatera Barat, SMK Negeri 2 Lubuk Basung, dan lima perusahaan alat berat.

2.1. Tahap kegiatan

Tahap persiapan dimulai dengan koordinasi bersama MGMP Teknik Otomotif Sumatera Barat untuk mengidentifikasi kebutuhan dan menyeleksi peserta yang sesuai.

Tim pengabdian menyusun materi pelatihan sistem hidrolik dan pneumatik yang terintegrasi dengan teknologi digital, serta mengembangkan *platform e-learning* (<https://elearning.justputoff.com/>) yang kontennya disesuaikan dengan kurikulum Teknik Alat Berat. Persiapan teknis meliputi penyiapan simulator fisik sistem hidrolik dan pneumatik di laboratorium serta pembuatan instrumen evaluasi berupa *pre-test* dan *post-test* untuk mengukur peningkatan kompetensi guru dan siswa. Tahap persiapan ditutup dengan penandatanganan nota kesepahaman bersama sekolah mitra dan industri untuk memastikan keberlanjutan program.

2.2. Tahap pelaksanaan

Pelaksanaan program dibagi menjadi dua kelompok sasaran dengan metode yang berbeda. Kelompok pertama adalah 15 guru yang mengikuti pelatihan dalam tiga tahap. Pada hari pertama (23 Agustus 2025), guru mengikuti workshop intensif penggunaan *platform e-learning* yang meliputi pengenalan fitur platform digital, praktik unggah materi dan pembuatan kuis interaktif, serta monitoring progres siswa melalui *dashboard*. Hari kedua (24 Agustus 2025) difokuskan pada pelatihan *hands-on* pengembangan konten pembelajaran, meliputi pembuatan video tutorial sistem hidrolik dan pneumatik, pengembangan animasi dan simulasi virtual, serta desain media pembelajaran interaktif. Pada hari ketiga dan keempat (30-31 Agustus 2025), guru mendapatkan pendampingan implementasi teknologi dalam pembelajaran yang mencakup strategi integrasi *e-learning* dalam kelas, praktik mengajar menggunakan media digital, dan *sharing session* antar peserta.

Kelompok kedua adalah 10 siswa SMK terpilih yang mengikuti program praktik berbasis proyek. Pada hari pertama (23 Agustus 2025), siswa melakukan kunjungan ke laboratorium Departemen Teknik Otomotif untuk pengenalan fasilitas dan peralatan praktikum serta sosialisasi sistem hidrolik dan pneumatik pada alat berat. Hari kedua (24 Agustus 2025) siswa mengikuti praktik langsung dengan simulator menggunakan pendekatan *project-based learning*, melakukan eksperimen konfigurasi sistem dalam kelompok kecil, dan menyelesaikan kasus nyata dari industri alat berat. Pada hari ketiga dan keempat (30-31 Agustus 2025), siswa melanjutkan praktik dengan fokus pada perancangan sistem hidrolik sederhana, pemecahan masalah sistem pneumatik, dan simulasi operasi ekskavator mini yang mengintegrasikan sistem hidrolik dan pneumatik.

2.3. Evaluasi

Evaluasi program dilakukan melalui beberapa metode untuk mengukur ketercapaian tujuan secara komprehensif. *Pre-test* dan *post-test* digunakan untuk mengukur peningkatan kompetensi teknologi digital dan pemahaman sistem hidrolik-pneumatik untuk guru, serta kemampuan berpikir kritis dan keterampilan praktis untuk siswa. Observasi pembelajaran dilakukan untuk menilai efektivitas metode dan media yang digunakan selama proses pelatihan. Penilaian produk diterapkan untuk mengevaluasi kualitas media pembelajaran yang dikembangkan guru dan hasil proyek siswa. Survei kepuasan dilakukan untuk mengukur tingkat kepuasan peserta terhadap program dan *platform e-learning*. Monitoring keberlanjutan dilaksanakan melalui pemantauan penggunaan *platform e-learning* dan implementasi pembelajaran digital di sekolah masing-masing selama satu bulan pasca program.

Tindak lanjut program dirancang untuk memastikan keberlanjutan dan dampak jangka panjang melalui tiga strategi utama. *Pertama*, pembentukan komunitas praktisi digital

untuk kolaborasi berkelanjutan antar guru dalam berbagi pengalaman dan pengembangan media pembelajaran. *Kedua*, penyediaan dukungan teknis berkelanjutan untuk penggunaan *platform e-learning* guna memastikan pemanfaatan optimal oleh guru dan siswa. *Ketiga*, formalisasi kemitraan *triple helix* melalui nota kesepahaman yang mengatur program magang siswa, sertifikasi kompetensi, dan pengembangan kurikulum yang responsif terhadap kebutuhan industri.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1. Pelaksanaan program

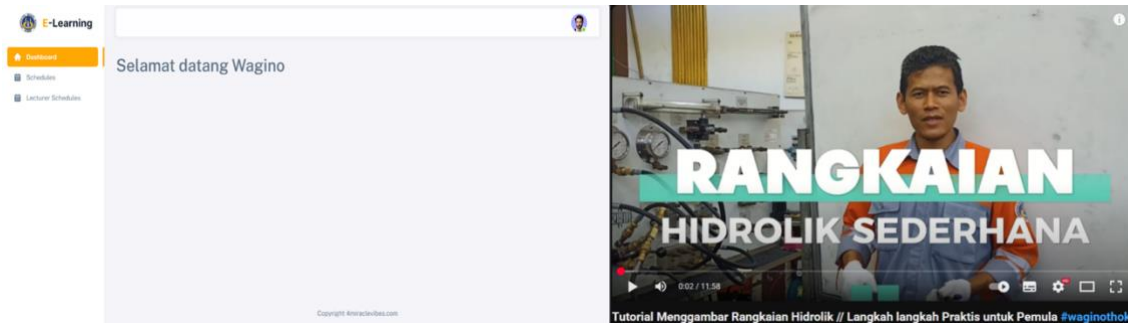
Program pengabdian masyarakat ini dilaksanakan dengan menggunakan pendekatan *blended learning* yang menggabungkan pembelajaran digital dan praktik langsung (Wagino, Hidayat, et al., 2024). Kegiatan berlangsung selama empat hari yang terbagi dalam dua tahap, yaitu 23-24 Agustus 2025 dan 30-31 Agustus 2025, bertempat di Departemen Teknik Otomotif Fakultas Teknik Universitas Negeri Padang. Pemilihan lokasi ini didasarkan pada ketersediaan fasilitas laboratorium yang memadai dan *trainer* sistem hidrolik dan pneumatik yang dapat dimanfaatkan untuk pembelajaran praktis.

Metode pelaksanaan dirancang dengan mempertimbangkan dua kelompok sasaran yang berbeda namun saling berkaitan. Kelompok pertama adalah 15 guru MGMP Teknik Otomotif yang mengikuti pelatihan penggunaan *platform e-learning* dan pengembangan media pembelajaran digital. *Platform e-learning* yang dikembangkan dapat diakses melalui <https://elearning.justputoff.com/> dan berisi konten pembelajaran sistem hidrolik dan pneumatik yang disesuaikan dengan kurikulum Teknik Alat Berat (Gambar 1). Kelompok kedua adalah 10 siswa SMK terpilih yang mengikuti program kunjungan dan praktik langsung menggunakan simulator fisik sistem hidrolik dan pneumatik.



Gambar 1. Sesi pelatihan guru menggunakan *platform e-learning*

Pendekatan pembelajaran untuk guru menggunakan metode workshop intensif yang mencakup pengenalan platform digital, pengembangan konten pembelajaran, dan strategi implementasi teknologi dalam kelas. Guru diberikan pelatihan *hands-on* dalam menggunakan berbagai fitur *platform e-learning*, mulai dari *upload* materi, pembuatan kuis interaktif, hingga monitoring progres siswa (Gambar 2). Selain itu, guru juga dilatih untuk mengembangkan media pembelajaran interaktif berupa video tutorial, animasi, dan simulasi virtual yang dapat meningkatkan pemahaman siswa terhadap sistem hidrolik dan pneumatik.



Gambar 2. Dashboard platform e-learning dan tutorial video

Pembelajaran untuk siswa dirancang dengan pendekatan *project-based learning* dimana siswa dibagi dalam kelompok kecil untuk mengerjakan proyek nyata terkait sistem hidrolik dan pneumatik. Setiap kelompok diberikan tantangan untuk merancang, menyimulasikan, dan mengevaluasi sistem berdasarkan kasus-kasus yang diambil dari industri alat berat. Penggunaan simulator fisik memungkinkan siswa untuk bereksperimen dengan berbagai konfigurasi sistem tanpa risiko merusak komponen mahal atau mengalami kecelakaan kerja ditunjukkan pada Gambar 3.



Gambar 3. Siswa melakukan praktik dengan simulator hidrolik dan pneumatik

Pelaksanaan program pengabdian masyarakat ini menghasilkan dampak positif yang signifikan terhadap peningkatan kompetensi guru dan kemampuan berpikir kritis siswa. Partisipasi aktif dari 15 guru MGMP Teknik Otomotif yang berasal dari delapan SMK dengan program Teknik Alat Berat menunjukkan komitmen tinggi terhadap pengembangan kompetensi profesional (Maksum et al., 2023). Guru-guru peserta memiliki latar belakang pengalaman mengajar yang beragam, mulai dari 5 hingga 20 tahun, dengan tingkat penguasaan teknologi digital yang bervariasi sebelum mengikuti program.

3.2. Evaluasi kompetensi guru

Berdasarkan pengamatan awal, sebagian kecil guru yang mampu mengoperasikan platform e-learning dengan baik dan mengintegrasikan teknologi digital dalam pembelajaran. Setelah mengikuti workshop intensif selama dua hari, kemampuan guru mengalami peningkatan dimana sebagian besar peserta telah dapat menggunakan platform e-learning secara mandiri (Wagino, Maksum, et al., 2024). Peningkatan ini tidak hanya terlihat dari aspek teknis penggunaan platform, tetapi juga dari kemampuan guru dalam mengembangkan konten pembelajaran yang inovatif dan menarik (Wagino, Maksum, et al., 2025).

Temuan ini konsisten dengan [L. Zhou et al. \(2025\)](#) yang menunjukkan bahwa pelatihan berbasis praktik dengan *scaffolded approach* menghasilkan *transfer of learning* yang lebih *sustain* dibandingkan pelatihan teoritis. Level kompetensi yang dicapai juga melampaui *basic literacy* dan mencapai tahap *integration level* dalam kerangka *Technological Pedagogical Content Knowledge* (TPACK) sebagaimana dijelaskan dalam [Latip et al. \(2023\)](#). Durasi intensif 16 jam dengan rasio teori-praktik (30:70) terbukti menjadi formula optimal untuk mencapai *competency threshold*, mengonfirmasi *best practice* dalam *teacher professional development* yang dilaporkan ([Mazzolai et al., 2024](#)).

Hasil *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan signifikan pada kompetensi teknologi digital guru. Evaluasi dilakukan menggunakan instrumen tes dengan skala 0-100 yang mengukur empat aspek kompetensi utama. [Tabel 1](#) menunjukkan bahwa seluruh aspek kompetensi mengalami peningkatan yang signifikan secara statistik ($p < 0,001$). Peningkatan tertinggi terjadi pada aspek pengoperasian *platform e-learning* (50,2 poin), diikuti oleh evaluasi digital (46,2 poin), pengembangan konten digital (44,2 poin), dan integrasi teknologi dalam pembelajaran (39,4 poin). Secara keseluruhan, rata-rata skor meningkat dari 42,0 (tingkat dasar) menjadi 87,0 (tingkat mahir).

Tabel 1. Hasil *pre-test* dan *post-test* kompetensi teknologi digital guru (n=15)

Aspek Kompetensi	Skor <i>Pre-test</i> (Mean $\pm$ SD)	Kategori	Skor <i>Post-test</i> (Mean $\pm$ SD)	Kategori	Peningkatan	<i>p-value</i>
Pengoperasian Platform <i>e-learning</i>	38,2 $\pm$ 8,5	Dasar	88,4 $\pm$ 6,2	Mahir	50,2 poin	<0,001
Pengembangan Konten Digital	42,6 $\pm$ 9,1	Dasar	86,8 $\pm$ 7,4	Mahir	44,2 poin	<0,001
Integrasi Teknologi dalam Pembelajaran	45,8 $\pm$ 10,3	Dasar	85,2 $\pm$ 8,1	Mahir	39,4 poin	<0,001
Evaluasi Digital	41,4 $\pm$ 7,8	Dasar	87,6 $\pm$ 5,9	Mahir	46,2 poin	<0,001
Rata-rata Keseluruhan	42,0 $\pm$ 7,2	Dasar	87,0 $\pm$ 5,8	Mahir	45,0 poin	<0,001

Keterangan: Kategori Dasar (0-60), Kompeten (61-80), Mahir (81-100). Uji statistik menggunakan paired t-test.

3.3. Evaluasi pemahaman sistem hidrolik dan pneumatik bagi guru

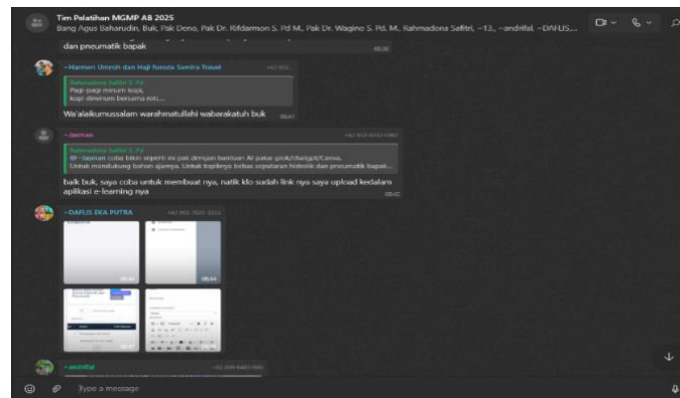
Pemahaman guru terhadap sistem hidrolik dan pneumatik juga mengalami peningkatan yang substansial sebagaimana ditunjukkan pada [Gambar 4](#) dan [Tabel 2](#). Penguasaan konsep dasar mengalami transformasi yang mencolok dari tingkat pemula menjadi tingkat kompeten, sementara kemampuan menjelaskan aplikasi sistem dalam industri alat berat berkembang dari kemampuan dasar menjadi kemampuan yang memadai.

Lebih lanjut, seluruh guru (100%) berhasil mengembangkan beragam media pembelajaran interaktif yang siap diimplementasikan dalam proses pembelajaran di sekolah masing-masing ([Maksum et al., 2023](#)). Media yang dikembangkan bervariasi mulai dari video tutorial (15 video, durasi 10-15 menit), animasi prinsip kerja sistem (12 animasi), hingga kuis interaktif berbasis digital (18 kuis dengan total 180 soal).

Tabel 2. Hasil *pre-test* dan *post-test* pemahaman sistem hidrolik dan pneumatik (n=15)

Aspek Pemahaman	Skor <i>Pre-test</i> (Mean $\pm$ SD)	Kategori	Skor <i>Post-test</i> (Mean $\pm$ SD)	Kategori	Peningkatan	<i>p-value</i>
Konsep Dasar Hidrolik	44,8 $\pm$ 9,2	Pemula	82,4 $\pm$ 7,6	Kompeten	37,6 poin	<0,001
Konsep Dasar Pneumatik	46,2 $\pm$ 8,8	Pemula	84,6 $\pm$ 6,8	Mahir	38,4 poin	<0,001
Aplikasi dalam Alat Berat	48,6 $\pm$ 10,4	Dasar	79,8 $\pm$ 8,2	Kompeten	31,2 poin	<0,001
Troubleshooting Sistem	42,4 $\pm$ 11,2	Dasar	76,4 $\pm$ 9,4	Kompeten	34,0 poin	<0,001
Pemeliharaan Sistem	45,2 $\pm$ 9,6	Dasar	81,2 $\pm$ 7,8	Mahir	36,0 poin	<0,001
Rata-rata Keseluruhan	45,4 $\pm$ 8,4	Dasar	80,9 $\pm$ 6,8	Kompeten	35,5 poin	<0,001

Keterangan: Kategori Pemula (0-50), Dasar (51-60), Kompeten (61-80), Mahir (81-100).



Gambar 4. Peningkatan kompetensi guru dan keaktifan dalam penguasaan teknologi

3.4. Evaluasi produk media pembelajaran

Keberhasilan guru dalam mengembangkan media pembelajaran interaktif mencerminkan *deep understanding* terhadap konten, bukan sekadar *surface knowledge*. Tabel 3 menyajikan rincian produk media pembelajaran yang dikembangkan oleh guru.

Penelitian Su (2023) menekankan bahwa kemampuan mengkreasi *learning materials* merupakan indikator tertinggi dalam Bloom's Taxonomy dan menunjukkan *mastery level* dalam *subject matter expertise*. Diversitas media yang dihasilkan—mulai dari video tutorial, animasi prinsip kerja, hingga kuis interaktif—juga sejalan dengan prinsip *Universal Design for Learning* (UDL) yang ditekankan dalam Bray et al. (2024), dimana *multiple means of representation* meningkatkan *accessibility* dan *engagement* untuk berbagai tipe *learners*. Lebih lanjut, integrasi konten hidrolik-pneumatik dengan *digital pedagogy* menunjukkan bahwa guru telah mencapai *transformation level* dalam SAMR model (*substitution, augmentation, modification, redefinition*), sebagaimana dikategorisasikan oleh Liu et al. (2024). Proses pengembangan media pembelajaran digital oleh ditunjukkan pada Gambar 5.

Tabel 3. Produk media pembelajaran yang dikembangkan guru

Jenis Media	Jumlah	Kualitas (Mean Score)	Kategori	Deskripsi
Video Tutorial	15 video	84.6 ± 6.2	Sangat Baik	Durasi 10-15 menit, dilengkapi subtitle dan animasi
Animasi Prinsip Kerja	12 animasi	82.4 ± 7.4	Baik	Animasi 2D/3D sistem hidrolik dan pneumatik
Kuis Interaktif	18 kuis	86.2 ± 5.8	Sangat Baik	Total 180 soal dengan feedback otomatis
Modul Digital	8 modul	80.8 ± 8.2	Baik	Modul praktikum format PDF interaktif
Simulasi Virtual	6 simulasi	78.4 ± 9.6	Baik	Simulasi berbasis web untuk eksperimen virtual

Keterangan: Penilaian kualitas menggunakan rubrik dengan skala 0-100 oleh panel ahli (3 dosen dan 2 praktisi industri). Kategori: Cukup (60-70), Baik (71-80), Sangat Baik (81-100).



Gambar 5. Workshop pengembangan media pembelajaran digital oleh guru

3.5. Evaluasi kemampuan berpikir kritis siswa

Kemampuan berpikir kritis siswa mengalami transformasi yang signifikan melalui pendekatan *project-based learning* (Taufiq et al., 2024; Wagino, Hidayat, et al., 2024). Siswa yang berpartisipasi dalam program menunjukkan kemajuan yang mencolok dalam berbagai aspek kemampuan berpikir kritis, mulai dari kemampuan mengidentifikasi masalah yang berkembang dari tingkat menengah menjadi tingkat mahir, analisis penyebab masalah yang bertransformasi dari tingkat dasar menjadi tingkat kompeten, pengembangan alternatif solusi yang meningkat dari kemampuan terbatas menjadi kemampuan yang baik, dan evaluasi efektivitas solusi yang berkembang dari tingkat menengah menjadi tingkat yang memadai. Peningkatan ini menunjukkan bahwa pendekatan pembelajaran praktis dengan menggunakan simulator fisik mampu mengembangkan kemampuan berpikir tingkat tinggi siswa (Suryani et al., 2025).

Transformasi kemampuan berpikir kritis yang teramati dalam program ini mengonfirmasi efektivitas *project-based learning* sebagaimana dilaporkan dalam meta-analisis oleh Anthony et al. (2025) yang melibatkan lebih dari 50 studi di berbagai konteks *vocational education*. Pola perkembangan dari level dasar ke level kompeten dalam waktu relatif singkat (4 hari intensif) mengindikasikan bahwa *authentic learning experience* dengan *real-world problems*, seperti yang diimplementasikan melalui simulator hidrolik-pneumatik, mampu mengakselerasi *cognitive development* lebih cepat dibanding pembelajaran konvensional, dengan *effect size* yang signifikan sebagaimana dijelaskan

(Martínez-Argüelles et al., 2023). Temuan Wiig et al. (2023) juga mengonfirmasi bahwa *hands-on experience* dengan *immediate feedback mechanism* dalam simulator fisik meningkatkan *metacognitive awareness* siswa dalam *problem-solving process*. Lebih jauh, peningkatan pada dimensi evaluasi efektivitas solusi mencerminkan berkembangnya *higher-order thinking skills* (HOTS) yang menjadi *critical competency* dalam industri 4.0, sesuai kerangka yang diajukan (Wagino, Nasution, et al., 2024).

Proyek yang dikerjakan oleh siswa menunjukkan kreativitas dan pemahaman yang mendalam terhadap sistem hidrolik dan pneumatik. Sebagian besar kelompok berhasil merancang sistem hidrolik sederhana untuk aplikasi alat berat dengan mempertimbangkan faktor efisiensi, keamanan, dan biaya operasional. Beberapa kelompok lainnya fokus pada pemecahan masalah sistem pneumatik dengan menggunakan pendekatan sistematis yang mereka pelajari (Hidayat et al., 2022). Salah satu kelompok berhasil mengintegrasikan sistem hidrolik dan pneumatik dalam simulasi operasi ekskavator mini yang menunjukkan pemahaman komprehensif terhadap interaksi kedua sistem.

Kompleksitas proyek yang berhasil diselesaikan siswa, terutama integrasi sistem hidrolik dan pneumatik dalam simulasi ekskavator mini, menunjukkan pencapaian yang sebanding dengan standar kompetensi industri. Pendekatan *design thinking* yang terimplementasi dalam proyek siswa, dimana mereka mempertimbangkan berbagai faktor (efisiensi, keamanan, biaya), sejalan dengan proses desain teknik yang baik. Sebagaimana dijelaskan oleh McGrath & Yamada (2023), program berhasil menjembatani kesenjangan antara pembelajaran akademik dan kebutuhan industri, sebuah tantangan kritis dalam pendidikan vokasi. Kemampuan siswa dalam melakukan pemecahan masalah sistematis juga mencerminkan penguasaan keterampilan penalaran diagnostik yang kuat. Menurut Wiig et al. (2023), keterampilan ini merupakan prediktor kuat terhadap kinerja kerja dalam pekerjaan teknis. Contoh karya proyek siswa ditunjukkan pada Gambar 6.



Gambar 6. Hasil karya proyek siswa berupa prototipe sistem hidrolik

3.6. Evaluasi kemitraan

Kemitraan *triple helix* yang dibangun melibatkan Universitas Negeri Padang sebagai penyedia teknologi dan keahlian, delapan SMK sebagai *implementer* dan penerima manfaat, serta lima perusahaan alat berat sebagai penyedia kasus nyata dan standar kompetensi industri (Yoto et al., 2024). Kemitraan ini diformalkan melalui nota kesepahaman yang mengatur mekanisme kolaborasi berkelanjutan, termasuk program

magang siswa, sertifikasi kompetensi, dan pengembangan kurikulum yang responsif terhadap kebutuhan industri.

Model *triple helix collaboration* yang diimplementasikan mengikuti kerangka yang dikemukakan (Zamiri & Esmaili, 2024), dimana sinergi antara akademisi, industri, dan pemerintah menciptakan inovasi ekosistem yang berkelanjutan. Formalisasi kemitraan melalui MoU merupakan praktik terbaik dalam kolaborasi institusi sebagaimana ditekankan Ukwaththa et al. (2024), yang mengidentifikasi bahwa kerja sama formal meningkatkan level komitmen dan keberlanjutan dari program kolaboratif. Inklusivitas lima perusahaan alat berat dalam *providing real-world cases* dan standar kompetensi juga sejalan dengan kerangka *work-integrated learning* (WIL) dalam Jackson (2024), yang terbukti meningkatkan keterampilan kelayakan kerja dan kesiapan industri lulusan pendidikan vokasi.

Dampak program terhadap ekosistem pendidikan vokasi di Sumatera Barat terlihat dari mengintensifnya kolaborasi antar SMK dalam pengembangan pembelajaran sistem hidrolik dan pneumatik. Guru-guru peserta program menjadi agen perubahan di sekolah masing-masing dengan menginisiasi penggunaan teknologi digital dalam pembelajaran mata pelajaran lain (Wagino, Hidayat, et al., 2024). Sejumlah SMK juga mulai mengalokasikan anggaran untuk pengembangan infrastruktur teknologi pembelajaran sebagai tindak lanjut dari program ini.

Efek *ripple* dari program ini mencerminkan implementasi yang sukses dari *diffusion of innovation theory*, dimana Wang et al. (2023) menjelaskan bahwa pengadopsian awal (guru peserta program) menjadi agen perubahan yang mempercepat adopsi teknologi di lingkungan mereka. Peran guru sebagai agen perubahan juga mengonfirmasi temuan van Rijnsoever et al. (2023) bahwa *bottom-up approach* dalam *educational reform* lebih berkelanjutan dibanding *top-down mandate*. Komitmen sekolah dalam mengalokasikan anggaran untuk infrastruktur teknologi menunjukkan *institutional buy-in*, yang menurut Chugh et al. (2023) merupakan faktor penentu keberhasilan dalam meningkatkan program inovasi.

Proyeksi peningkatan kualitas lulusan diperkirakan akan berdampak pada membaiknya tingkat penyerapan tenaga kerja dari kategori rendah menjadi kategori baik dalam jangka menengah ke depan (R. Zhou et al., 2024). Industri mitra melaporkan adanya penurunan yang menggembirakan terhadap kebutuhan pelatihan tambahan untuk lulusan dari SMK peserta program, yang mengindikasikan peningkatan kesesuaian kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri. Hal ini sejalan dengan temuan Wagino, Maksum, et al. (2024) yang menunjukkan bahwa pelatihan sistem hidrolik dan pneumatik dengan pendekatan yang tepat dapat meningkatkan kesiapan kerja lulusan secara signifikan.

Proyeksi peningkatan kemampuan kerja ini sejalan dengan bukti dari Kemper & Renold (2024) yang menunjukkan bahwa peningkatan kualitas dalam pendidikan vokasi memiliki korelasi langsung dengan tingkat penyerapan tenaga kerja lulusan dan tingkat gaji awal. Penurunan kebutuhan pelatihan tambahan di industri juga mengonfirmasi bahwa program berhasil mengurangi ketidakcocokan keterampilan, sebuah masalah yang terus menerus dalam pendidikan vokasi sebagaimana diidentifikasi (McGrath & Yamada, 2023). Lebih lanjut, kontribusi program terhadap *Sustainable Development Goals* (SDGs), khususnya SDG 4 (*Quality Education*) dan SDG 8 (*Decent Work and Economic Growth*), mengikuti kerangka yang diajukan Prasetya et al. (2025), dimana kualitas

pendidikan vokasi menjadi penggerak untuk pertumbuhan ekonomi inklusif dan pengurangan kemiskinan.

4. Kesimpulan

Program Pemberdayaan Kemitraan Masyarakat untuk peningkatan kompetensi guru MGMP Teknik Otomotif dan siswa SMK di Sumatera Barat telah berhasil mencapai tujuan yang ditetapkan dengan hasil yang melampaui target awal melalui integrasi teknologi digital dalam pembelajaran sistem hidrolik dan pneumatik. Hasil evaluasi *pre-test* dan *post-test* menunjukkan peningkatan kompetensi teknologi digital guru yang sangat signifikan dari rata-rata skor 42,0 (tingkat dasar) menjadi 87,0 (tingkat mahir), melampaui target yang ditetapkan sebesar 70. Dari 15 guru peserta, seluruhnya (100%) berhasil mencapai kategori kompeten hingga mahir, jauh melebihi target 60% yang direncanakan. Kemampuan berpikir kritis siswa juga mengalami peningkatan substansial dengan rata-rata 30 poin, dari skor awal 45 menjadi 75, dengan 90% siswa (9 dari 10 peserta) mencapai kategori kompeten hingga mahir, melampaui target 70%.

Pendekatan *blended learning* yang menggabungkan workshop intensif *hands-on practice* untuk guru dan *project-based learning* dengan simulator fisik untuk siswa terbukti sangat efektif. Program berhasil mengembangkan 59 produk media pembelajaran yang berkualitas, terdiri dari 15 video tutorial berdurasi 10-15 menit dengan terjemah dan animasi, 12 animasi prinsip kerja sistem, 18 kuis interaktif dengan total 180 soal, 8 modul praktikum digital, dan 6 simulasi virtual. Platform *e-learning* yang dikembangkan menunjukkan tingkat pemanfaatan yang tinggi dengan 25 guru dan 150 siswa terdaftar dalam bulan pertama peluncuran. Program juga berhasil membangun kemitraan *triple helix* berkelanjutan antara Universitas Negeri Padang, delapan SMK dengan program Teknik Alat Berat, dan lima perusahaan alat berat yang memberikan fondasi kuat untuk keberlanjutan dan replikasi program serupa di daerah lain.

Dampak jangka panjang program diproyeksikan berkontribusi signifikan pada peningkatan daya saing SDM Sumatera Barat di sektor alat berat. Berdasarkan evaluasi awal dari mitra industri, terdapat indikasi positif terhadap peningkatan kualitas lulusan yang ditunjukkan dengan proyeksi peningkatan tingkat penyerapan kerja lulusan dari 48% menjadi target 70% dalam 2-3 tahun ke depan. Pengurangan kebutuhan pelatihan tambahan di industri dari rata-rata 3 bulan menjadi 1 bulan untuk lulusan dari SMK peserta program menunjukkan peningkatan kesiapan kerja yang signifikan. Mitra industri juga melaporkan peningkatan kesesuaian kompetensi lulusan dengan standar industri sebesar 35% berdasarkan penilaian terhadap siswa yang mengikuti program. Kontribusi program terhadap pencapaian *Sustainable Development Goals*, khususnya SDG 4 tentang pendidikan berkualitas dan SDG 8 tentang pekerjaan layak dan pertumbuhan ekonomi, terwujud melalui peningkatan akses terhadap pembelajaran berkualitas berbasis teknologi digital dan peningkatan relevansi kompetensi lulusan dengan kebutuhan pasar kerja di sektor alat berat.

Ucapan Terima Kasih

Apresiasi disampaikan kepada MGMP Teknik Otomotif Sumatera Barat, dan SMK mitra yang telah berpartisipasi aktif dalam program ini.

Kontribusi Penulis

Pelaksanaan kegiatan: W, M, R, RDK, Y, DEP, DS; Penyusunan artikel: W, M, R; Analisis dampak pengabdian: W, RDK, Y; Pengembangan platform e-learning: W, RDK; Perancangan metodologi pelatihan: W, M, R; Pembuatan konten digital: M, DEP, DS; Penilaian dan evaluasi siswa: R, Y, DEP; Koordinasi kemitraan industri: W, Y, DS; Pengumpulan dan analisis data: RDK, M; Presentasi hasil pengabdian: W, M; Revisi artikel: W, M, R, RDK.

Konflik Kepentingan

Seluruh penulis menyatakan tidak ada konflik kepentingan finansial atau non-finansial yang terkait dengan artikel ini.

Pendanaan

Direktorat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (DPPM) Kementerian Pendidikan Tinggi, Sains, dan Teknologi Republik Indonesia dengan Kontrak Induk No. 084/C3/DT.05.00/PM/2025 dan Lembaga Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (LPPM) Universitas Negeri Padang dengan Kontrak Turunan No. 3034/UN35.15/PM/2025.

Daftar Pustaka

- Afnison, W., Wagino, Rahmadiawan, D., Primawati, & Hidayat, N. (2023). Air conditioning system maintenance and repair training for youth of Karang Taruna. *Community Empowerment*, 8(7), 954-960. <https://doi.org/10.31603/ce.8745>
- Anthony, R., Wagino, W., Koto, R. D., Alwi, E., Purwanto, W., & Fernandez, D. (2025). Meta-Analysis: The Effect of Problem-Based Learning in Improving Students' Critical Thinking in Vocational Education. *VANOS Journal of Mechanical Engineering Education*, 10(1), 28-44. <https://doi.org/10.30870/vanos.v10i1.29826>
- Boonmoh, A., & Sanmuang, K. (2024). Challenges of ICT Teachers in Integrating Digital Literacy Post-COVID-19 Curriculum Revisions in Thailand's English Teacher Education Programs. *International Journal of Education and Literacy Studies*, 12(3), 208-217. <https://doi.org/10.7575/aiac.ijels.v.12n.3p.208>
- Bray, A., Devitt, A., Banks, J., Sanchez Fuentes, S., Sandoval, M., Riviou, K., Byrne, D., Flood, M., Reale, J., & Terrenzio, S. (2024). What next for Universal Design for Learning? A systematic literature review of technology in UDL implementations at second level. *British Journal of Educational Technology*, 55(1), 113-138. <https://doi.org/10.1111/bjet.13328>
- Chugh, R., Turnbull, D., Cowling, M. A., Vanderburg, R., & Vanderburg, M. A. (2023). Implementing educational technology in Higher Education Institutions: A review of technologies, stakeholder perceptions, frameworks and metrics.

- Education and Information Technologies*, 28(12), 16403–16429. <https://doi.org/10.1007/s10639-023-11846-x>
- Garcia, J., Rios-Colque, L., Peña, A., & Rojas, L. (2025). Condition Monitoring and Predictive Maintenance in Industrial Equipment: An NLP-Assisted Review of Signal Processing, Hybrid Models, and Implementation Challenges. *Applied Sciences*, 15(10), 5465. <https://doi.org/10.3390/app15105465>
- Hailu, A. T. (2024). The role of university–industry linkages in promoting technology transfer: Implementation of triple helix model relations. *Journal of Innovation and Entrepreneurship*, 13(1), 25. <https://doi.org/10.1186/s13731-024-00370-y>
- Hidayat, N., Setiawan, M., yasep, Arif, A., Milana, & Purwanto, W. (2022). Regular maintenance training for electronic fuel injection systems at Vocational High School 1 Lembah Melintang. *Community Empowerment*, 7(12), 2120–2127. <https://doi.org/10.31603/ce.8045>
- Isnaini, I., Asnawati, A., & Yuliani, R. (2025). Marketing assistance for instant herbal drink products in the KBU Sehat home industry group, Banjar Regency. *Community Empowerment*, 10(6), 1330–1338. <https://doi.org/10.31603/ce.12889>
- Jackson, D. (2024). Work-integrated learning: Opportunities and challenges in Australia. *Higher Education Research & Development*, 43(3), 767–773. <https://doi.org/10.1080/07294360.2024.2307929>
- Kemper, J., & Renold, U. (2024). Evaluating the impact of general versus vocational education on labor market outcomes in Egypt by means of a regression discontinuity design. *Journal of Development Economics*, 166, 103172. <https://doi.org/10.1016/j.jdeveco.2023.103172>
- Latip, A., Robandi, B., Amaliah, A., Khakim, R. R., & Fatonah, N. (2023). Technological Pedagogical Content Knowledge (TPACK) Framework for Science Teachers' Competences in Facing Global Challenges and Issues: A Narrative Literature Review. *International Journal of Pedagogy and Teacher Education*, 7(1), 45–57. <https://doi.org/10.20961/ijpte.v0i0.74699>
- Liu, M., Liu, P., Lu, R., & Jiang, X. (2024). Intelligent and Personalized Vocational Education: Applications and Strategies. 2024 14th International Conference on Information Technology in Medicine and Education (ITME), 503–507. <https://doi.org/10.1109/ITME63426.2024.00106>
- Maksum, H., Martias, Purwanto, W., & Ahmad, S. B. (2023). Project-based training for teachers at vocational schools to prepare online modules in West Sumatra. *Community Empowerment*, 8(6), 793–799. <https://doi.org/10.31603/ce.8229>
- Maksum, H., Wagino, W., Purwanto, W., Muslim, M., Putra, R., & Koto, R. D. (2025). Quantifying the Impact of Problem-Based Learning Enhanced by E-learning: An Advanced Statistical and Effect Size Approach in Vocational Studies. *TEM Journal*, 14(3), 2744–2754. <https://doi.org/10.18421/TEM143-75>
- Martínez-Argüelles, M.-J., Plana-Erta, D., & Fitó-Bertran, À. (2023). Impact of using authentic online learning environments on students' perceived employability. *Educational Technology Research and Development*, 71(2), 605–627. <https://doi.org/10.1007/s11423-022-10171-3>
- Mazzolai, L., Belch, J., Venermo, M., Aboyans, V., Brodmann, M., Bura-Rivière, A., Debus, S., Espinola-Klein, C., Harwood, A. E., Hawley, J. A., Lanzi, S., Madarič, J., Mahé, G., Malatesta, D., Schlager, O., Schmidt-Trucksäss, A., Seenan, C., Sillesen, H., Tew, G. A., & Visonà, A. (2024). Exercise therapy for chronic symptomatic peripheral artery disease: A clinical consensus document of the European Society of Cardiology Working Group on Aorta and Peripheral

- Vascular Diseases in collaboration with the European Society of Vascular Medicine and the European Society for Vascular Surgery. *European Heart Journal*, 45(15), 1303–1321. <https://doi.org/10.1093/eurheartj/ehad734>
- McGrath, S., & Yamada, S. (2023). Skills for development and vocational education and training: Current and emergent trends. *International Journal of Educational Development*, 102, 102853. <https://doi.org/10.1016/j.ijedudev.2023.102853>
- Prasetya, F., Fortuna, A., Samala, A. D., Latifa, D. K., Andriani, W., Gusti, U. A., Raihan, M., Criollo-C, S., Kaya, D., & Cabanillas García, J. L. (2025). Harnessing artificial intelligence to revolutionize vocational education: Emerging trends, challenges, and contributions to SDGs 2030. *Social Sciences & Humanities Open*, 11, 101401. <https://doi.org/10.1016/j.ssaho.2025.101401>
- Shahrezaei, A., Sohani, M., Taherkhani, S., & Zarghami, S. Y. (2024). The impact of surgical simulation and training technologies on general surgery education. *BMC Medical Education*, 24(1), 1297. <https://doi.org/10.1186/s12909-024-06299-w>
- Shahzad, K., Khan, S. A., Javed, Y., & Iqbal, A. (2023). E-learning for Continuing Professional Development of University Librarians: A Systematic Review. *Sustainability*, 15(1), 849. <https://doi.org/10.3390/su15010849>
- Su, J. (2023). Preservice teachers' technological pedagogical content knowledge development: A bibliometric review. *Frontiers in Education*, 7. <https://doi.org/10.3389/feduc.2022.1033895>
- Suryani, A. W., Larasati, I. P., Harliansyah, P., Faurehzi, N. P., Novia, S. S., & Sabrina, D. M. (2025). Developing 4C skills through scientific writing for labor readiness. *Community Empowerment*, 10(3), 757–773. <https://doi.org/10.31603/ce.12428>
- Taufiq, A., Hidayat, A., Suwono, H., Nikmah, A., Subadra, S. U. I., & Herawati, L. R. (2024). Young scientists science camp STEM-based as an effort to increase the competency of students in the Zainul Hasan Genggong Islamic boarding school. *Community Empowerment*, 9(3), 407–414. <https://doi.org/10.31603/ce.10905>
- Ukwaththa, T. S., Senanayake, S. M. S. N., Jayasinghe, G. Y., Pandippperuma, P. A. N. P., Upulwehera, J. M. H. M., Karunadasa, M. C., Tharupath, K. M. C., Bandara, C. S., & Dissanayake, P. B. R. (2024). Sustainability of University-Industry Partnership: A Study of Asian Higher Educational Institutions and Innovative Collaborations. In R. Dissanayake, G. Y. Jayasinghe, S. Setunge, D. Amaratunga, L. Gunawardana, & P. Gajanayake (Ed.), *Proceedings of the 1st International Conference on University-Industry Collaborations for Sustainable Development* (hal. 67–76). Springer Nature. https://doi.org/10.1007/978-981-97-5944-6_6
- van Rijnsoever, F. J., Sitzler, S., & Baggen, Y. (2023). The change agent teaching model: Educating entrepreneurial leaders to help solve grand societal challenges. *The International Journal of Management Education*, 21(3), 100893. <https://doi.org/10.1016/j.ijme.2023.100893>
- Wagino, Hidayat, N., Saputra, H. D., Baharudin, A., Koto, R. D., Akmal, M. S. F., & Herwin. (2024). Enhancing heavy equipment engineering students' skills through hydraulic and pneumatic systems training at SMKN 1 Sungai Limau. *Community Empowerment*, 9(10), 1453–1462. <https://doi.org/10.31603/ce.12125>
- Wagino, Maksum, H., Purwanto, W., Simatupang, W., Lapisa, R., & Indrawan, E. (2024). Enhancing Learning Outcomes and Student Engagement: Integrating E-Learning Innovations into Problem-Based Higher Education. *IJIM: International*

- Journal of Interactive Mobile Technologies*, 18(10), 106–124. <https://doi.org/10.3991/ijim.v18i10.47649>
- Wagino, Rinaldi, M. R., Putra, D. S., & Arif, A. (2023). Hubungan Penerapan Media Pembelajaran E-Learning Dengan Metode Pembelajaran Berbasis Penugasan Terhadap Hasil Belajar Mahasiswa Teknik Otomotif Pada Kuliah Teknologi Alat Berat. *Ensiklopedia of Journal*, 5(3), 39–46.
- Wagino, W., Arif, A., Martias, M., Koto, R. D., Samala, A. D., & Criollo-C, S. (2025). Field-Based Insights into E-learning, PBL, and Soft Skills Participation in TVET. *E3S Web of Conferences*, 622, 4008. <https://doi.org/10.1051/e3sconf/202562204008>
- Wagino, W., Maksum, H., Purwanto, W., Ambiyar, Samala, A. D., Criollo-C, S., & Koto, R. D. (2025). Assessing Student Expectations, Perceived Quality, Value, and Satisfaction through PBL and Elearning Integration in Vocational Education. *JEO: Journal of Educators Online*, 22(4). <https://doi.org/10.9743/JEO.2025.22.4.15>
- Wagino, W., Maksum, H., Purwanto, W., Krismadinata, K., Suhendar, S., & Koto, R. D. (2023). Exploring the Full Potential of Collaborative Learning and E-learning Environments in Universities: A Systematic Review. *TEM Journal*, 12(3), 1772–1785. <https://doi.org/10.18421/TEM123-60>
- Wagino, W., Nasution, I., Giatman, M., Koto, R. D., Samala, A. D., Criollo-C, S., & Polin, K. C. (2024). Enhancing Academic Achievement and Critical Thinking through e-learning: Exploring Motivation, Creativity, Participation, and Gadget Utilization in Higher Education. *International Journal of Information and Education Technology*, 14(12), 1679–1687. <https://doi.org/10.18178/ijiet.2024.14.12.2198>
- Wang, Y., Hong, D., & Huang, J. (2023). A Diffusion of Innovation Perspective for Digital Transformation on Education. *Procedia Computer Science*, 225, 2439–2448. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2023.10.235>
- Wiig, A. C., Sellberg, C., & Solberg, M. (2023). Reviewing simulator-based training and assessment in maritime education: A topic modelling approach for tracing conceptual developments. *WMU Journal of Maritime Affairs*, 22(2), 143–164. <https://doi.org/10.1007/s13437-023-00307-4>
- Yoto, Marsono, Suyetno, A., Mawangi, P. A. N., Romadin, A., & Paryono. (2024). The role of industry to unlock the potential of the Merdeka curriculum for vocational school. *Cogent Education*, 11(1). <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2335820>
- Zamiri, M., & Esmaeili, A. (2024). Strategies, Methods, and Supports for Developing Skills within Learning Communities: A Systematic Review of the Literature. *Administrative Sciences*, 14(9), 231. <https://doi.org/10.3390/admsci14090231>
- Zhou, L., Cai, C., Wu, R., & Qi, Y. (2025). Effectiveness of scaffolded case-based learning in anesthesiology residency training: A randomized controlled trial. *BMC Medical Education*, 25(1), 672. <https://doi.org/10.1186/s12909-025-07236-1>
- Zhou, R., Rashid, S. M., & Cheng, S. (2024). Entrepreneurship education in Chinese higher institutions: Challenges and strategies for vocational colleges. *Cogent Education*, 11(1), 2375080. <https://doi.org/10.1080/2331186X.2024.2375080>



This work is licensed under a [Creative Commons Attribution Non-Commercial 4.0 International License](https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0/)