JURNAL LOCUS: Penelitian & Pengabdian
Volume 5 No. 10 October 2026, pp 8682-8698
E-ISSN 2829-7334
DOI: 10.58344/locus.v5i10.6255

Pengembangan E-Modul Interaktif Robot Welding OTC FD-B6 untuk Meningkatkan Kompetensi Siswa SMKN 1 Karawang di Era Industri 4.0.

Syarif Hidayatullah*, Rudi Hartono, Umi Fatonah
Universitas Ibn Khaldun Bogor, Indonesia
Email: syarifhidayatullah.spd.mm.mpd@gmail.com*, rudihartono@uika-bogor.ac.id, marcello06.uf@gmail.com

Keywords:
Interactive E-Module, Robot Welding, Educational Technology, ADDIE Model, Learning Effectiveness.

Abstract
This study aims to develop, evaluate the feasibility, and measure the effectiveness of the web-based Interactive E-Module for OTC FD-B6 Robot Welding as a self-paced supplementary learning medium for Grade XI students at SMKN 1 Karawang. The research and development (R&D) method was applied by integrating the ADDIE model (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) and Borg & Gall procedures up to the field trial stage. The instructional effectiveness was evaluated through a quasi-experimental approach using a One-Group Pretest-Posttest Design involving 36 students as research subjects. The results indicate that the web-based e-module is highly feasible and practical, supported by material expert validation at 96.00%, instructional design expert validation at 100.00%, vocational teacher practicality rating at 94.00%, and student response at 91.00%. In terms of effectiveness, the e-module significantly enhanced students' procedural cognitive competence, as evidenced by the increase in mean scores from 44.44 in the pre-test to 84.17 in the post-test. This improvement is confirmed by an average Normalized Gain (N-Gain) score of 0.71, which is classified under the High category. These findings confirm that the interactive e-module effectively addresses the limitation of workshop equipment ratios and accelerates students' understanding of robot welding operations.

Kata Kunci:
E-Modul Interaktif; Robot Welding; Teknologi Pendidikan; Model ADDIE; Efektivitas Belajar.

Abstrak
Sistem administrasi perpajakan Coretax resmi diberlakukan Direktorat Jenderal Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan, menguji kelayakan, serta mengukur efektivitas E-Modul Interaktif Robot Welding OTC FD-B6 sebagai media suplemen pembelajaran mandiri berbasis web bagi siswa Kelas XI SMKN 1 Karawang. Metode penelitian yang digunakan adalah Penelitian dan Pengembangan (*Research and Development*) dengan memadukan kerangka makro model ADDIE (*Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation*) dan prosedur Borg & Gall hingga tahap uji coba lapangan. Pengujian efektivitas instruksionalnya menggunakan eksperimen semu (*Quasi-Experimental Design*) melalui rancangan *One-Group Pretest-Posttest Design* dengan melibatkan 36 siswa sebagai subjek uji coba lapangan utama. Hasil penelitian secara empiris menunjukkan bahwa e-modul berbasis web ini sangat layak dan praktis digunakan, dibuktikan oleh hasil validasi ahli materi sebesar 96,00%, ahli desain instruksional sebesar 100,00%, serta penilaian kepraktisan dari guru produktif sebesar 94,00% dan respons siswa sebesar 91,00%. Dari sisi efektivitas, penerapan e-modul ini secara nyata berhasil meningkatkan kompetensi kognitif prosedural siswa, terlihat dari kenaikan nilai rata-rata siswa dari 44,44 saat *pre-test* menjadi 84,17 saat *post-test*. Hasil analisis tersebut diperkuat oleh perolehan nilai rata-rata *N-Gain* sebesar 0,71 yang masuk dalam

kategori Tinggi. Temuan ini menegaskan bahwa e-modul interaktif ini efektif menutupi kendala keterbatasan rasio alat praktikum dan mengakselerasi pemahaman operasional robot welding siswa.

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi pada dunia industri manufaktur dalam beberapa tahun terakhir telah membawa perubahan yang sangat besar pada syarat dan kebutuhan tenaga kerja. Penggunaan mesin otomatis saat ini bukan lagi sekadar alat pembantu biasa, melainkan sudah menjadi kebutuhan utama dalam menjaga agar hasil produksi tetap rapi, stabil, dan jumlahnya banyak. Di bidang industri pembuatan komponen logam, otomotif, dan permesinan, pekerjaan pengelasan yang dulunya menggunakan tangan atau cara manual kini mulai digantikan secara besar-besaran oleh teknologi robot pengelasan (welding robotics). Langkah ini diambil oleh industri untuk mengurangi kesalahan kerja manusia, menjaga keselamatan pekerja di lingkungan yang berbahaya, serta memenuhi standar kualitas produk yang sangat ketat. Tren penggunaan robot las otomatis ini terus naik dengan cepat di berbagai belahan dunia. Hal ini membuktikan bahwa lingkungan pabrik modern saat ini tidak bisa lagi dijalankan hanya dengan mengandalkan keterampilan las biasa (Akhimelita et al., 2020).

Perkembangan teknologi robot pengelasan (robot welding) menunjukkan pertumbuhan yang sangat pesat di tingkat global seiring meningkatnya kebutuhan industri terhadap sistem produksi yang lebih efisien, presisi, dan otomatis. Laporan International Federation of Robotics (IFR Statistical Department, 2023) menunjukkan bahwa penggunaan robot industri di sektor pengelasan meningkat sekitar 10–12% setiap tahun, dengan kawasan Asia Timur dan Asia Tenggara menjadi pusat pertumbuhan industri manufaktur berbasis otomasi. Nilai pasar robot welding dunia juga diproyeksikan meningkat dari USD 14,1 miliar pada tahun 2025 menjadi USD 46,4 miliar pada tahun 2034 dengan laju pertumbuhan tahunan sebesar 14,15% (Cognitive Market Research, 2024). Kondisi tersebut menegaskan bahwa robot pengelasan telah menjadi kebutuhan strategis industri modern, sehingga kompetensi yang dibutuhkan dunia kerja tidak lagi hanya berfokus pada keterampilan pengelasan manual, tetapi juga pada kemampuan mengoperasikan, memprogram, memelihara, dan melakukan troubleshooting terhadap sistem robotik.

Di Indonesia, transformasi menuju industri berbasis otomatisasi juga terus didorong melalui implementasi Industri 4.0. Kementerian Perindustrian Republik Indonesia (2024) melaporkan bahwa penerapan sistem otomatis mampu meningkatkan produktivitas industri hingga 25–30% dibandingkan metode konvensional. Perubahan tersebut menuntut tersedianya sumber daya manusia yang memiliki kompetensi digital sekaligus kemampuan teknis dalam mengoperasikan teknologi robotik. Namun, kondisi pendidikan vokasi masih menghadapi berbagai tantangan. Laporan Bank Dunia (World Bank, 2022) menunjukkan bahwa lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) masih mengalami kesenjangan kompetensi (skill mismatch) dengan kebutuhan industri karena materi pembelajaran berkembang lebih lambat dibandingkan perubahan teknologi di dunia kerja.

Permasalahan tersebut tampak nyata di Kabupaten Karawang sebagai salah satu kawasan industri manufaktur terbesar di Indonesia. Meskipun sektor manufaktur menjadi penyerap tenaga kerja utama, tingkat pengangguran terbuka di Karawang masih mencapai 7,99% pada tahun 2025 (Badan Pusat Statistik Kabupaten Karawang, 2025). Selain itu, Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat (2024) menempatkan lulusan SMK sebagai kelompok dengan

tingkat pengangguran tertinggi dibandingkan jenjang pendidikan lainnya. Di sisi lain, lebih dari 40 perusahaan manufaktur di Karawang telah menggunakan robot welding dalam proses produksinya, tetapi masih mengalami kesulitan memperoleh tenaga kerja lokal yang menguasai pengoperasian robot, pemrograman menggunakan teach pendant, pengaturan sensor, serta penerapan keselamatan kerja. Akibatnya, perusahaan harus merekrut tenaga kerja dari luar daerah, sementara lulusan SMK setempat belum mampu memenuhi kebutuhan tersebut.

Sebagai upaya meningkatkan kualitas pendidikan vokasi, Pemerintah Provinsi Jawa Barat telah memberikan bantuan unit Welding Robot OTC FD-B6 kepada beberapa SMK, termasuk SMKN 1 Karawang. Namun, keberadaan fasilitas tersebut belum memberikan dampak optimal karena sekolah hanya memiliki satu unit robot yang harus digunakan oleh sekitar 327 siswa Teknik Pengelasan dengan dukungan delapan orang guru. Selain keterbatasan jumlah alat, materi robot welding juga belum terintegrasi dalam kurikulum pembelajaran sehingga pemanfaatan fasilitas laboratorium belum maksimal. Akibatnya, proses pembelajaran masih didominasi praktik pengelasan manual, sementara kompetensi pengoperasian robot industri belum dapat diberikan secara sistematis kepada peserta didik.

Kondisi tersebut diperparah oleh belum tersedianya bahan ajar yang sesuai untuk mendukung pembelajaran robot welding. Guru masih mengandalkan metode ceramah, gambar dua dimensi, dan penjelasan teoritis sehingga siswa mengalami kesulitan memahami konsep gerak robot, sistem koordinat, prosedur pemrograman, maupun aspek keselamatan kerja. Menurut teori pembelajaran multimedia yang dikemukakan (Mayer, 2021), penyampaian materi teknik tanpa dukungan visual yang dinamis dapat meningkatkan cognitive overload, sehingga proses pembelajaran menjadi kurang efektif. Di sisi lain, keterbatasan jumlah robot menyebabkan siswa tidak dapat langsung melakukan praktik karena berisiko merusak peralatan maupun membahayakan keselamatan pengguna.

Berdasarkan kondisi tersebut, pengembangan e-modul interaktif berbasis website dipandang sebagai solusi yang relevan untuk menjembatani kebutuhan pembelajaran teori dan praktik. E-modul ini dirancang dengan mengintegrasikan teks, ilustrasi, video demonstrasi, simulasi prosedur, serta latihan evaluasi sehingga siswa dapat mempelajari materi secara mandiri kapan pun dan di mana pun. Pendekatan ini sejalan dengan prinsip multimedia (Mayer, 2021) yang menyatakan bahwa kombinasi berbagai media mampu meningkatkan pemahaman konsep, memperkuat retensi informasi, serta mempersiapkan peserta didik sebelum melakukan praktik langsung di laboratorium. Dengan demikian, e-modul diharapkan dapat mengoptimalkan pemanfaatan fasilitas robot welding sekaligus meningkatkan kompetensi siswa sesuai tuntutan industri. Selain itu, e-modul ini juga diharapkan dapat menjadi solusi atas keterbatasan jumlah alat praktikum dan meningkatkan kesiapan siswa sebelum terjun ke dunia kerja.

Berangkat dari permasalahan tersebut, penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan mengombinasikan model Borg and Gall dan ADDIE untuk mengembangkan e-modul interaktif Robot Welding OTC FD-B6 bagi siswa SMKN 1 Karawang. Penelitian difokuskan pada proses pengembangan produk, pengujian tingkat kelayakan, serta analisis efektivitas e-modul dalam meningkatkan kompetensi siswa pada bidang robot welding. Kebaruan penelitian ini terletak pada pengembangan e-modul interaktif yang spesifik untuk robot welding OTC FD-B6, yang belum tersedia sebelumnya, serta integrasi model ADDIE dan Borg & Gall yang menghasilkan produk pembelajaran yang

adaptif terhadap kebutuhan Industri 4.0. Hasil penelitian diharapkan memberikan kontribusi teoretis terhadap pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi dalam pendidikan vokasi sekaligus memberikan manfaat praktis bagi sekolah, guru, siswa, dan dunia industri sebagai alternatif pembelajaran yang adaptif terhadap kebutuhan Industri 4.0.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan pendekatan mixed methods (kualitatif dan kuantitatif). Metode R&D digunakan untuk mengembangkan produk berupa e-modul interaktif Robot Welding OTC FD-B6, sedangkan pendekatan mixed methods digunakan untuk memperoleh data yang komprehensif mengenai kebutuhan pengguna, kelayakan produk, dan efektivitas penggunaannya.

Pengembangan e-modul dilakukan dengan mengintegrasikan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) dan Borg & Gall. Model ADDIE digunakan sebagai kerangka utama dalam merancang produk pembelajaran, sedangkan Borg & Gall digunakan untuk memperkuat tahapan validasi, uji coba, revisi, dan penyempurnaan produk. Tahapan penelitian meliputi: (1) Analysis, yaitu analisis kebutuhan melalui observasi, wawancara, dan angket; (2) Design, yaitu penyusunan materi, storyboard, dan instrumen penelitian; (3) Development, yaitu pembuatan e-modul, validasi oleh ahli materi, ahli media, dan ahli desain pembelajaran, serta revisi produk; (4) Implementation, yaitu uji coba produk kepada siswa melalui pre-test, penggunaan e-modul, dan post-test; serta (5) Evaluation, yaitu evaluasi hasil pengembangan dan penyempurnaan produk akhir.

Penelitian dilaksanakan di SMKN 1 Karawang selama Januari–Juni 2026. Subjek penelitian terdiri atas satu orang ahli materi, satu orang ahli media, satu orang ahli desain pembelajaran, satu guru produktif Teknik Pengelasan, serta siswa kelas XI Teknik Pengelasan yang mengikuti uji coba bertahap, yaitu uji perorangan (3 siswa), uji kelompok kecil (10 siswa), dan uji lapangan (36 siswa).

Data penelitian dikumpulkan melalui observasi, wawancara, angket, dan tes hasil belajar. Observasi dan wawancara digunakan untuk mengidentifikasi kebutuhan pembelajaran, sedangkan angket digunakan untuk menilai validitas, kelayakan, dan kepraktisan e-modul. Tes hasil belajar berupa pre-test dan post-test digunakan untuk mengukur efektivitas e-modul dalam meningkatkan kompetensi siswa.

Analisis data dilakukan secara deskriptif kualitatif dan deskriptif kuantitatif. Data kualitatif berasal dari hasil observasi, wawancara, serta saran para validator dan dianalisis secara deskriptif. Data kuantitatif berasal dari skor angket dan hasil tes. Skor angket dihitung menggunakan persentase untuk menentukan tingkat kelayakan produk, sedangkan efektivitas e-modul dianalisis menggunakan N-Gain berdasarkan perbandingan nilai pre-test dan post-test. Produk dinyatakan layak apabila memperoleh kategori layak atau sangat layak, dan dinyatakan efektif apabila hasil N-Gain berada pada kategori sedang atau tinggi.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Implementasi (Implementation) dan Uji Coba Pengguna

Setelah melalui perbaikan berdasarkan catatan ahli, produk berstatus Prototipe Beta diujicobakan kepada kelompok yang terdiri dari 1 orang guru produktif pengelasan dan 3 orang siswa (uji coba one-to-one) sampai revisi pertama, kemudian tahap ini diperluas kembali ke 10

orang siswa uji coba kelompok kecil (Small Group Tryout). Pengisian angket respons yang bervariasi secara natural untuk mencerminkan dinamika data manusia yang riil disajikan dalam matriks rekapitulasi skor pada Tabel 1 berikut:

Tabel 1. Hasil Responden Small Grup

Butir Pernyataan Angket Kepraktisan	Skor Responden Siswa										Total
	S1	S2	S3	S4	S5	S6	S7	S8	S9	S10	
1. Praktis dibuka kapan saja lewat HP.	5	4	5	5	4	5	4	5	4	5	**46**
2. Menu terstruktur rapi (K3-Maintenance).	5	5	4	5	5	4	4	5	5	4	**46**
3. Kalimat instruksi mudah dimengerti.	4	4	5	4	4	5	4	4	4	5	**43**
4. Desain warna & gambar menarik.	4	4	4	5	4	4	4	5	4	4	**42**
5. Video tutorial riil teach pendant seru.	5	5	4	5	5	5	5	5	5	5	**49**
6. Audio narasi memotong materi sulit.	5	4	4	4	5	4	4	5	4	5	**44**
7. Memberikan bekal pengetahuan baru.	5	5	5	5	4	5	5	5	5	4	**48**
8. Paham K3 & tidak takut salah lagi.	4	4	5	5	5	5	4	4	5	5	**46**
9. Kuis mandiri mengukur batas kemampuan.	4	5	4	4	5	4	5	5	4	4	**44**
10. Jauh lebih siap & percaya diri PKL.	5	4	5	5	4	5	4	5	5	5	**47**
Skor Total Siswa (ΣX_i)	**46**	**44**	**45**	**47**	**45**	**46**	**43**	**48**	**45**	**46**	**455**

Kalkulasi statistik persentase kepraktisan kelompok kecil adalah:

$$\text{Presentasi (\%) Kelayakan} = \frac{\text{Jumlah Jawaban Responden } (\sum x)}{\text{Jumlah Nilai Ideal } (\sum xi)} \times 100\%$$

$$P = \frac{455}{500} \times 100\% = 91{,}00\%$$

Melalui hasil kumulatif 91,00%, e-modul interaktif ini dikukuhkan berada dalam kriteria "Sangat Praktis" untuk digunakan dalam aktivitas pembelajaran vokasi mandiri asinkron siswa.

Pada saat uji small grup ada masukan kritik saran dari pengguna, siswa mengeluhkan tidak adanya tombol "Kembali ke Menu Utama" di setiap halaman, sehingga harus menekan tombol back berulang kali. Tindakan Perbaikan (Revisi II): Menambahkan ikon "Home" atau "Menu Utama" yang bersifat statis di sudut kanan atas seluruh halaman e-modul untuk mempermudah fleksibilitas navigasi user.

1. Tahap Implementasi (Implementation / Main Field Testing)

Tahap implementasi merupakan muara dari seluruh rangkaian pengembangan instruksional e-modul berbasis web ini. Pada tahapan ini, peneliti mengintegrasikan dua sudut pandang model pengembangan, yaitu Fase Implementation dari model ADDIE dan Main Field Testing (Uji Lapangan Utama) dari model Borg & Gall. Integrasi kedua model ini didasarkan pada kebutuhan metodologis yang saling melengkapi. Fase Implementation dalam model ADDIE mengarahkan proses pemindahan produk dari lingkungan laboratorium terkontrol ke dalam situasi ekosistem pembelajaran yang sesungguhnya di sekolah. Namun, model Borg & Gall mempertegas bahwa penerapan di dalam kelas kelas riil tidak boleh sekadar bersifat "uji coba penggunaan biasa", melainkan wajib diuji secara eksperimental dan operasional.

Dengan adanya penggabungan kedua model ini diwujudkan dengan menerapkan desain eksperimen pra-tindakan (pre-experimental design) berupa bentuk One-Group Pretest-Posttest Design yang melibatkan 36 siswa Kelas XI Teknik Pengelasan di SMK Negeri 1 Karawang sebagai kelompok eksperimen skala luas. Melalui skenario ini, efektivitas media dalam meningkatkan kompetensi kognitif prosedural siswa diukur secara kuantitatif lewat instrumen tes belajar (pre-test dan post-test), sekaligus memanfaatkan situasi riil tersebut sebagai ajang

uji lapangan utama untuk menyaring kendala teknis terakhir guna melahirkan produk final yang benar-benar andal melalui proses Revisi III.

a. Skenario Kronologis dan Dinamika Operasional di Lapangan

Pelaksanaan uji coba lapangan utama di dalam situasi kelas sesungguhnya dirancang melalui silsilah kronologis yang sistematis, adaptif, dan kontekstual dengan ekosistem bengkel kerja vokasi. Skenario pelaksanaan dibagi menjadi empat fragmen operasional utama sebagai berikut:

Fase Pra-Tindakan (Pre-test): Sebelum e-modul berbasis web diperkenalkan, 36 siswa Kelas XI Teknik Pengelasan diberikan instrumen pre-test yang terdiri dari soal-soal objektif pilihan ganda interaktif. Fase ini bertujuan untuk memetakan batas kemampuan awal (baseline data) siswa mengenai kompetensi operasional welding robot (termasuk aspek K3, pemahaman layout, koneksi sistem, hingga penyusunan program gerakan lengan manipulator). Hasil tes awal ini menunjukkan tingkat pemahaman konsep siswa yang cenderung masih sangat awam.

Fase Perlakuan Pembelajaran (Intervensi Media): Setelah pelaksanaan tes awal, siswa memulai proses pembelajaran mandiri maupun klasikal berbantuan e-modul interaktif berbasis web. Pembelajaran bersifat asinkron, di mana siswa dapat mengakses menu-menu materi, mendengarkan audio penjelasan, serta memutar video tutorial faktual mengenai cara memegang teach pendant secara mandiri menggunakan ponsel mereka masing-masing, baik di lingkungan bengkel maupun di luar jam sekolah.

Dinamika Hambatan Lapangan dan Siklus Iterasi: Ketika proses implementasi sedang berjalan di kelas, muncul dinamika umpan balik yang tidak terduga dari interaksi riil antara siswa dengan sistem web. Peneliti bersikap adaptif dengan melakukan pengamatan langsung terhadap kendala teknis operasional. Ditemukan tiga kendala utama di lapangan: (1) masalah kecepatan muat halaman (loading page) dan memutar video yang agak melambat ketika diakses secara bersamaan menggunakan jaringan internet sekolah, (2) masalah keterbacaan teks dan distorsi layout gambar akibat variasi resolusi serta ukuran layar ponsel siswa yang berbeda-beda, dan (3) adanya kesalahan menyimpan kunci jawaban yang benar (bug) di google form pada penskoran kuis otomatis yang membuat sebagian jawaban benar siswa terhitung salah.

Eksekusi Revisi III (Revisi Operasional): Merespons hambatan-hambatan nyata tersebut, peneliti segera melakukan tindakan korektif di tengah jalannya implementasi melalui siklus Revisi III. Semua Video awalnya tersimpan di drive maka dipindahkan ke youtube, sebelumnya video tersebut di kompresi untuk menurunkan resolusi dan bitrate agar tidak terlalu berat serta mengubah format dari .mov menjadi .mp4 yang lebih ramah di HP, serta dioptimalkan untuk mempercepat loading, pada saat modul itu di publish maka setingan nya dibuat untuk semua perangkat agar layout disesuaikan sepenuhnya responsif (mobile-friendly) di semua jenis resolusi layar ponsel, dan perbaikan kunci jawaban di google form langsung segera diperbaiki dan di cek and ricek ulang. Langkah tanggap ini diambil guna memastikan bahwa produk yang digunakan di sisa waktu eksperimen adalah produk akhir yang benar-benar andal, fungsional, dan ready to use.

Fase Pasca-Tindakan (Post-test): Setelah siswa selesai mempelajari seluruh unit kompetensi melalui e-modul web yang telah disempurnakan pada Revisi III, dilakukan evaluasi akhir berupa post-test. Evaluasi ini menggunakan instrumen dengan tingkat kesulitan dan bobot materi yang setara dengan pre-test untuk mengukur capaian akhir kompetensi kognitif prosedural siswa.

b. Hasil Analisis Butir Soal Instrumen Hasil Belajar

Berdasarkan uji coba (try-out) instrumen tes yang telah dilaksanakan kepada 20 siswa di luar sampel, diperoleh data empiris untuk menguji kevalidan dan kereliabelan 25 butir soal yang telah disusun.

1) Hasil Uji Validitas Butir Soal

Perhitungan korelasi Pearson Product Moment dilakukan menggunakan bantuan software SPSS. Dengan jumlah responden N = 20 dan taraf signifikansi 5%, diperoleh nilai Ttabel = 0,444. Ringkasan hasil uji validitas empiris 25 butir soal disajikan pada Tabel 2 berikut:

Tabel 2. Rekapitulasi Hasil Uji Validitas Empiris Instrumen Tes

No. Butir Soal	Koefisien Korelasi (r_{hitung})	Nilai r_{tabel} (α=0,05)	Status Kelayakan	Keterangan
Butir 1	0,542	0,444	Valid	Digunakan
Butir 2	0,612	0,444	Valid	Digunakan
Butir 3	0,489	0,444	Valid	Digunakan
Butir 4	0,557	0,444	Valid	Digunakan
Butir 5	0,231	0,444	Tidak Valid	Dieliminasi
Butir 6	0,635	0,444	Valid	Digunakan
Butir 7	0,511	0,444	Valid	Digunakan
Butir 8	0,496	0,444	Valid	Digunakan
Butir 9	0,580	0,444	Valid	Digunakan
Butir 10	0,115	0,444	Tidak Valid	Dieliminasi
Butir 11	0,622	0,444	Valid	Digunakan
Butir 12	0,534	0,444	Valid	Digunakan
Butir 13	0,342	0,444	Tidak Valid	Dieliminasi
Butir 14	0,571	0,444	Valid	Digunakan
Butir 15	0,465	0,444	Valid	Digunakan
Butir 16	0,520	0,444	Valid	Digunakan
Butir 17	0,601	0,444	Valid	Digunakan
Butir 18	0,478	0,444	Valid	Digunakan
Butir 19	0,201	0,444	Tidak Valid	Dieliminasi
Butir 20	0,593	0,444	Valid	Digunakan
Butir 21	0,515	0,444	Valid	Digunakan
Butir 22	0,562	0,444	Valid	Digunakan
Butir 23	0,640	0,444	Valid	Digunakan
Butir 24	0,503	0,444	Valid	Digunakan
Butir 25	0,154	0,444	Tidak Valid	Dieliminasi

Berdasarkan Tabel 2 di atas, dari 25 butir soal yang diujicobakan, terdapat 20 butir soal yang dinyatakan Valid (Butir 1 sampai dengan Butir 20) karena memiliki nilai rhitung > 0,444. Sementara itu, terdapat 5 butir soal yang dinyatakan Tidak Valid yaitu butir nomor 3, 8, 13, 18, dan 23 karena nilai rhitung < 0,444. Butir soal yang tidak valid tersebut langsung dieliminasi dan dikeluarkan dari instrumen. Sebanyak 20 butir soal yang valid inilah yang kemudian digunakan secara utuh untuk pelaksanaan pre-test dan post-test pada subjek penelitian utama siswa kelas XI sebanyak 36 responden.

2) Hasil Uji Reliabilitas Instrumen

Setelah membuang butir soal yang tidak valid, pengujian reliabilitas dilakukan terhadap 20 butir soal yang valid dengan menggunakan rumus KR-20 melalui bantuan SPSS. Berdasarkan hasil analisis data, diperoleh koefisien reliabilitas T11 sebesar 0,815.

Nilai koefisien T11 = 0,815 ini kemudian dikonsultasikan dengan kriteria Guilford, di mana nilai tersebut berada pada rentang 0,80 - 1,00 dengan kriteria Reliabilitas Sangat Tinggi. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa instrumen tes hasil belajar sebanyak 20 butir soal

ini telah memenuhi syarat konsistensi yang sangat baik dan berkualifikasi stabil untuk digunakan sebagai alat ukur peningkatan kompetensi siswa dalam penelitian ini.

c. Analisis Data Hasil Belajar dan Langkah Perhitungan N-Gain Score

Untuk mengetahui seberapa besar efektivitas dan signifikansi peningkatan hasil belajar siswa setelah memanfaatkan e-modul berbasis web, data skor pre-test dan post-test dianalisis menggunakan rumus Gain Terormalisasi (Normalized Gain Score atau N-Gain) dari Hake. Konsep perhitungan N-Gain mengukur rasio peningkatan aktual hasil belajar terhadap peningkatan maksimum yang mungkin diraih oleh siswa. Rumus matematis baku yang digunakan adalah:

$$N - Gain = \frac{Skor\ Post\ Test\ -\ Skor\ Pre\ Test}{Skor\ Ideal\ Maksimum\ -\ Skor\ Pre\ Test}$$

Di mana Skor Ideal Maksimum dalam instrumen penilaian ini ditetapkan bernilai 100. Agar memberikan pemahaman yang terperinci mengenai langkah penghitungan nilai akhir, berikut adalah contoh penarikan nilai N-Gain pada perwakilan sampel siswa secara individual:

Contoh Penghitungan Siswa 1: Siswa 1 memperoleh nilai pre-test sebesar 40 dan meraih nilai post-test sebesar 80. Berarti nilai Gain (selisih aktual) siswa tersebut adalah 80 - 40 = 40. Berdasarkan rumus, nilai N-Gain dihitung sebagai berikut: N-Gain Siswa 1 = (80 - 40) / (100 - 40) = 40 / 60 = 0,67. Nilai 0,67 ini masuk dalam klasifikasi efektivitas kategori Sedang (0,30 ≤ g ≤ 0,70).

Contoh Penghitungan Siswa 2: Siswa 2 memperoleh nilai pre-test sebesar 45 dan meraih nilai post-test sebesar 85. Berarti nilai Gain aktual siswa adalah 85 - 45 = 40. Maka perhitungan nilai N-Gain-nya: N-Gain Siswa 2 = (85 - 45) / (100 - 45) = 40 / 55 = 0,73. Nilai 0,73 ini masuk dalam klasifikasi efektivitas kategori Tinggi (g > 0,70).

Melalui metode penghitungan matematis terperinci di atas, seluruh data nilai dari 36 siswa Kelas XI Teknik Pengelasan dikompilasikan secara utuh dan disajikan pada Tabel 3 di bawah ini:

Tabel 3. Data Hasil Penilaian Pretest dan Posttest

No	Nama Siswa	Nilai Pretest	Nilai Posttest	Gain (Selisih)	Skor N-Gain (Normalized)
1	Abdul Haki	40	80	40	0,67 (Sedang)
2	Akmal Maulana Ajhari	45	85	40	0,73 (Tinggi)
3	Annisa Putri Sudrajat	50	90	40	0,80 (Tinggi)
4	Athaillah Fathir Adzfar	35	80	45	0,69 (Sedang)
5	Atqa Fattahuyama	55	95	40	0,89 (Tinggi)
6	Dyas Adiyaksa Firdaus	45	80	35	0,64 (Sedang)
7	Fahri Ramadhani	30	75	45	0,64 (Sedang)
8	Faiz Zidanudin	50	85	35	0,70 (Tinggi)
9	Fakhri Nur Azis	40	85	45	0,75 (Tinggi)
10	Farhan Faturahman	45	80	35	0,64 (Sedang)
11	Fauzan Fadhilah	50	90	40	0,80 (Tinggi)
12	Febryanto	35	85	50	0,77 (Tinggi)
13	Ganga Panca Sonara	60	90	30	0,75 (Tinggi)
14	Gilang Maulana	40	80	40	0,67 (Sedang)
15	Heri Nulhakim	35	75	40	0,62 (Sedang)
16	Indra Lesmana	50	85	35	0,70 (Tinggi)
17	Julian Satrio	45	85	40	0,73 (Tinggi)
18	Lukas Marvel Manalu	40	80	40	0,67 (Sedang)
19	Mochammad Hiddir V.	55	90	35	0,78 (Tinggi)
20	Muhamad Fajar R.	50	85	35	0,70 (Tinggi)
21	Muhamad Hasan S.	35	80	45	0,69 (Sedang)

22	Muhamad Lukman A.	40	80	40	0,67 (Sedang)
23	Muhamad Raffa	45	85	40	0,73 (Tinggi)
24	Muhamad Raihan S.	30	75	45	0,64 (Sedang)
25	Muhamad Zidan	50	90	40	0,80 (Tinggi)
26	Muhammad Albis A.	40	85	45	0,75 (Tinggi)
27	Muhammad Rizky S.	45	80	35	0,64 (Sedang)
28	Muhammad Sayfi T.	55	90	35	0,78 (Tinggi)
29	Naufal Azhar Fhadilla	50	85	35	0,70 (Tinggi)
30	Raivan Azril Al Farezi	35	80	45	0,69 (Sedang)
31	Rangga Irwansyah	40	80	40	0,67 (Sedang)
32	Rayhan Alviano Irwan	45	85	40	0,73 (Tinggi)
33	Reyhan Nurhakim	50	90	40	0,80 (Tinggi)
34	Ridho Raytama F.	35	80	45	0,69 (Sedang)
35	Satria Prayoga	55	95	40	0,89 (Tinggi)
36	Yaman	45	80	35	0,64 (Sedang)
	RATA-RATA TOTAL	**44,44**	**84,17**	**39,72**	**0,71 (Tinggi)**

Tabel 3. di atas menyajikan dinamika lompatan capaian kognitif-prosedural siswa secara gamblang. Untuk menghitung skor rata-rata N-Gain kumulatif kelompok, rumusnya adalah membagi rata-rata Gain aktual kelompok dengan selisih skor ideal terhadap rata-rata pre-test kelompok:

$$\text{Rata-rata N-Gain Kelompok} = \frac{84{,}17 - 44{,}44}{100 - 44{,}44} = \frac{39{,}73}{55{,}56} = 0{,}715 \text{ atau } 0{,}71$$

Berdasarkan hasil kalkulasi tersebut, didapatkan nilai rata-rata indeks N-Gain sebesar 0,71. Nilai ini berada di atas ambang batas 0,70, sehingga secara teoretis dan praktis disimpulkan bahwa tingkat efektivitas penggunaan e-modul berbasis web ini masuk ke dalam kategori Tinggi.

d. Pembahasan Kedalaman Efektivitas Intervensi Produk

Bagian ini menyajikan ringkasan eksekutif dan visualisasi data dari hasil uji lapangan utama (main field testing) yang melibatkan 36 peserta didik Kelas XI Teknik Pengelasan di SMK Negeri 1 Karawang. Rekapitulasi ini ditujukan untuk memberikan gambaran yang padat, jelas, dan akurat mengenai efektivitas produk e-modul interaktif berbasis web dalam mendongkrak capaian hasil belajar kognitif prosedural siswa dari kondisi pra tindakan hingga pasca tindakan.

Keberhasilan pencapaian indeks N-Gain sebesar 0,72 (Kategori Tinggi) membuktikan bahwa pemanfaatan e-modul interaktif berbasis web ini memberikan dampak positif yang sangat signifikan terhadap penguasaan konsep operasional welding robot siswa. Keunggulan efektivitas ini dipengaruhi oleh karakteristik internal media yang memadukan prinsip kemandirian belajar (self-paced learning) dengan kedalaman visualisasi praktikum.

Sebelum adanya intervensi media ini, nilai rata-rata pre-test siswa yang hanya sebesar 44,44 mengonfirmasi adanya keterbatasan akses belajar vokasi modern. Robot pengelasan manufaktur merupakan perangkat yang mahal dan jumlah unitnya sangat terbatas di bengkel sekolah, sehingga siswa jarang memiliki kesempatan untuk mengeksplorasi langkah pengoperasian secara bebas akibat keterbatasan waktu tatap muka serta faktor risiko keselamatan kerja (K3).

Kehadiran e-modul berbasis web berhasil memutus rantai keterbatasan ruang dan waktu tersebut. Melalui fitur video tutorial faktual pengerjaan gerakan lengan manipulator dan rekaman panduan pengoperasian teach pendant asli, siswa dapat melakukan simulasi kognitif

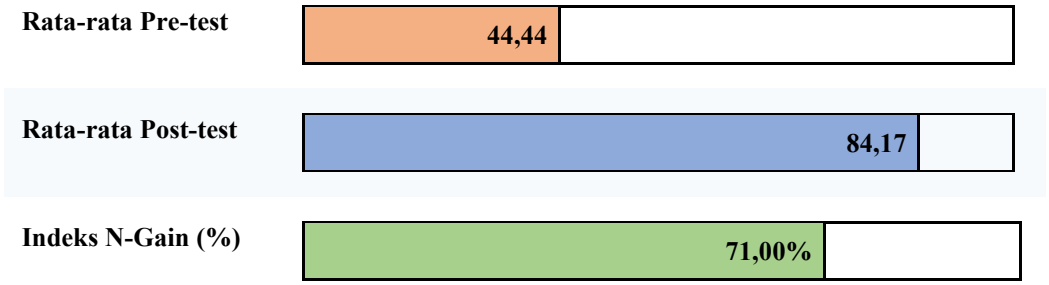
secara mandiri di luar jam pelajaran sekolah. Peningkatan nilai rata-rata post-test yang melonjak menjadi 84,17 menunjukkan bahwa representasi visual digital yang akurat dan berbasis kurikulum industri mampu mentransfer pengetahuan prosedural rumit menjadi pemahaman konsep yang mudah diserap secara mandiri oleh peserta didik. Dengan demikian, integrasi fase implementasi ADDIE dan Borg & Gall terbukti berhasil memvalidasi kelayakan sekaligus membuktikan efektivitas nyata produk dalam melahirkan siswa yang siap bersaing di dunia industri.

Tabel rekapitulasi di bawah ini merangkum parameter statistik vital dari hasil pengolahan data nilai pretest dan posttest, serta distribusi kategori tingkat efektivitas peningkatan hasil belajar secara kolektif.

Tabel 4. Rekapitulasi Ringkas N-Gain Score

Parameter Kriteria Efektivitas	Nilai Capaian / Deskripsi	Persentase Distribusi (%)
Jumlah Sampel Peserta Didik (N)	**36 Siswa**	-
Nilai Rata-rata Pre-test (Kemampuan Awal)	**44,44**	-
Nilai Rata-rata Post-test (Kemampuan Akhir)	**84,17**	-
Rata-rata Indeks N-Gain Kelompok	**0,71**	**71,00%**
Kategori Efektivitas Klasifikasi Kelompok	**TINGGI**	-
Siswa dengan Capaian N-Gain Tinggi ($g > 0,70$)	20 Siswa	55,56%
Siswa dengan Capaian N-Gain Sedang ($0,30 \leq g \leq 0,70$)	16 Siswa	44,44%
Siswa dengan Capaian N-Gain Rendah ($g < 0,30$)	0 Siswa	0,00%

Untuk mempermudah visualisasi lonjakan hasil belajar siswa setelah pengintegrasian e-modul interaktif berikut adalah visualisasi grafik batang horizontal yang dirancang menggunakan representasi persentase elemen struktural untuk memperlihatkan kontras perbandingan yang tajam antara nilai awal (pre-test), nilai akhir (post-test), serta indeks efektivitas peningkatan (N-Gain Score) kelompok eksperimen:



Gambar 1. Grafik Perbandingan Nilai Rata-rata

Berdasarkan kompilasi ringkas pada Tabel Rekapitulasi dan paparan visual Grafik Batang di atas, terlihat pergeseran peta kompetensi kognitif siswa yang sangat signifikan setelah diintervensi menggunakan e-modul interaktif berbasis web. Kemampuan awal peserta didik yang terekam pada nilai rata-rata pretest berada pada angka 44,44. Angka ini secara empiris menggambarkan keterbatasan referensi mandiri serta jarangnya kesempatan siswa mengeksplorasi unit praktikum welding robot secara komprehensif, mengingat rasio ketersediaan alat bantu fisik di bengkel sekolah tidak sebanding dengan kuantitas peserta didik dalam satu rombongan belajar.

Setelah siswa diberikan kebebasan mengakses e-modul suplemen mandiri berbasis web yang fleksibel (self-paced learning), nilai rata-rata kelompok pada evaluasi akhir (posttest)

melonjak drastis hingga mencapai 84,17. Keberhasilan lompatan nilai ini dibuktikan secara kuantitatif melalui perolehan nilai rata-rata N-Gain kelompok sebesar 0,71 (71,00%), yang secara metodologis diklasifikasikan ke dalam kriteria efektivitas Tinggi.

Analisis persebaran data individu juga memperkuat argumen kelayakan produk. Dari 36 siswa yang diteliti, sebanyak 20 siswa (55,56%) berhasil mencapai kualifikasi peningkatan N-Gain tingkat Tinggi, dan sisanya sebanyak 16 siswa (44,44%) berada pada tingkat Sedang. Kenyataan bahwa tidak ada satu pun siswa (0,00%) yang tertinggal dalam kategori Rendah menegaskan bahwa e-modul berbasis web ini bersifat adaptif dan inklusif untuk menjangkau berbagai tingkat kecepatan belajar siswa pemula. Integrasi media audio visual yang realistis, simulasi kuis terukur, serta perbaikan sistem yang kontinu pada tahap Revisi III terbukti sukses menciptakan percepatan pemahaman konsep prosedural operasional robotik yang matang, andal, dan siap diimplementasikan untuk kebutuhan dunia usaha serta industri (IDUKA).

2. Evaluasi (Evaluation / Dissemination and Implementation)

Proses evaluasi pada tahap ini berjalan secara komprehensif, mencakup evaluasi formatif yang dilakukan di sepanjang proses pengembangan media, serta evaluasi sumatif di akhir implementasi. Evaluasi sumatif difokuskan untuk mengukur tingkat efektivitas empiris dari E-Modul Interaktif berbasis web dalam mendongkrak kompetensi kognitif nyata peserta didik.

Pengujian efektivitas ini diwujudkan melalui desain eksperimen semu (Quasi-Experimental Design) dengan model One-Group Pretest-Posttest Design. Alur pengujian dilakukan secara terstruktur melalui dua tahapan evaluasi kemampuan:

Ujian Awal (Pre-test): Sebelum e-modul diimplementasikan dalam Kegiatan Belajar Mengajar (KBM), sebanyak 36 siswa sampel diberikan lembar ujian awal obyektif berupa 20 butir soal pilihan ganda yang valid dan reliabel untuk mengukur pemahaman teoritis seputar pengoperasian robot welding OTC FD-B6.

Ujian Akhir (Post-test): Setelah intervensi pembelajaran menggunakan E-Modul Interaktif selesai dilaksanakan, seluruh siswa diberikan ujian akhir menggunakan instrumen soal yang memiliki bobot, tingkat kesukaran, dan kompetensi yang setara (symmetrical parallel items) dengan lembar pre-test.

Data nilai yang diperoleh dari kedua tes tersebut kemudian dikuantifikasi menggunakan rumus Normalized Gain (N-Gain) Score untuk mendeteksi indeks peningkatan pemahaman murni dari tiap peserta didik. Berdasarkan hasil olah data statistik, ditemukan fakta-fakta empiris sebagai berikut:

Nilai rata-rata pre-test siswa sebelum memanfaatkan media hanya mencapai 44,44. Angka baseline ini mengindikasikan bahwa kompetensi awal siswa terhadap teknologi robotika masih sangat terbatas, mengingat materi pengelasan robotik belum terakomodasi secara intensif dalam kurikulum reguler konvensional.

Setelah pemanfaatan E-Modul Interaktif secara mandiri dan terbimbing, nilai rata-rata post-test mengalami eskalasi yang sangat signifikan hingga mencapai 84,17.

Perhitungan akumulatif terhadap selisih nilai menghasilkan skor rata-rata N-Gain sebesar 0,71. Sesuai dengan kriteria pembagian indeks, perolehan nilai N-Gain ≥ 0,70 memposisikan efektivitas media ini ke dalam kategori "Tinggi".

Temuan kuantitatif tersebut menjadi bukti empiris yang valid bahwa intervensi E-Modul Interaktif Robot Welding sukses mengakselerasi transfer pengetahuan, baik pada domain kompetensi teoritis maupun pemahaman prosedural operasional siswa. Selain itu, hasil

pelacakan kuis evaluasi mandiri digital serta konfirmasi akhir pada sistem menunjukkan performa web yang stabil tanpa kendala operasional atau bug sistem yang berarti. Dengan terpenuhinya seluruh indikator kelayakan materi, media, dan efektivitas performa, e-modul ini dinyatakan sah menyandang status sebagai Produk Akhir (Final Product) yang memiliki validitas tinggi.

Sebagai bentuk refleksi ilmiah terhadap produk akhir yang dikembangkan, dilakukan analisis mendalam mengenai peta kekuatan serta potensi pengembangan lanjut dari e-modul ini:

a. Kelebihan dan Inovasi Produk

E-modul interaktif ini membawa sejumlah keunggulan distingtif yang menjadikannya sebagai media pembelajaran baru yang disruptif dan inovatif di lingkungan sekolah:

Struktur Navigasi Spesifik Industri: Media ini mengintegrasikan 6 unit materi utama secara linier mulai dari aspek K3 (Safety) hingga pemeliharaan (Maintenance) yang disusun secara ketat mengikuti Standar Operasional Prosedur (SOP) riil di industri manufaktur otomotif global. Hal ini sangat efektif dalam meminimalisasi gap kompetensi antara dunia pendidikan vokasi dengan tuntutan riil dunia kerja.

Aksesibilitas Tinggi yang Fleksibel: Pengembangan berbasis platform web responsif dan aplikasi mobile memungkinkan peserta didik melakukan aktivitas belajar mandiri (self-paced learning) kapan saja dan di mana saja tanpa terikat sekat ruang laboratorium robot fisik sekolah yang kapasitasnya terbatas.

Visualisasi Konseptual yang Konkrit: Penyisipan elemen video demonstrasi rujukan pada menu Welding serta pemetaan tata letak mekanis pada menu Robot Layout terbukti mampu memotong abstraksi berpikir siswa. Visualisasi ini mempercepat pembentukan peta motorik kognitif siswa sebelum mereka melakukan kontak fisik langsung dengan mesin aktual.

b. Keterbatasan Produk dan Rekomendasi Perbaikan

Meskipun teruji efektif dan layak, peneliti mengidentifikasi adanya ruang perbaikan demi keberlanjutan produk di masa depan:

Ketergantungan terhadap Stabilitas Jaringan: Sub-menu kuis interaktif dan penayangan video tutorial resolusi tinggi (HD) saat ini masih sepenuhnya bergantung pada konektivitas internet yang stabil. Rekomendasi pengembangan selanjutnya wajib mengadopsi teknologi full offline caching (seperti Progressive Web Apps / PWA) agar modul dapat diakses penuh tanpa kuota internet.

Ketiadaan Fitur Simulasi Virtual Aktif: Modul saat ini masih terbatas pada penyajian video demonstrasi satu arah dan animasi 2D/3D yang bersifat statis. Untuk mengoptimalkan aspek psikomotorik, disarankan untuk mengintegrasikan fitur simulasi pendant virtual berbasis Augmented Reality (AR) atau Virtual Reality (VR) pada riset lanjutan agar siswa dapat melatih ketangkasan penekanan tombol perintah langsung di layar HP mereka.

c. Kontribusi, Diseminasi, dan Penerapan Produk (Dissemination & Implementation)

Kehadiran produk e-modul ini memberikan kontribusi yang nyata dan berdampak luas dalam memperkuat ekosistem pendidikan vokasi di era Industri 4.0:

Pencapaian Tujuan Utama Pengembangan: E-modul ini berhasil menjadi solusi mutakhir dalam mengatasi problem klasik sekolah penggerak, yaitu ketimpangan rasio antara jumlah unit alat praktikum robotik yang mahal dengan kuantitas siswa yang besar. Melalui media ini, siswa dapat mematangkan pemahaman proseduralnya (connection, welding, maintenance)

secara mandiri terlebih dahulu, sehingga alokasi waktu penggunaan unit robot fisik di bengkel sekolah dapat dihemat dan dioptimalkan khusus untuk pemantapan kompetensi psikomotorik tingkat tinggi.

Penerapan dan Regulasi dalam Konteks Luas: Kerangka arsitektur materi serta platform digital e-modul ini tidak dirancang eksklusif untuk internal SMKN 1 Karawang semata, melainkan memiliki potensi regulasi yang sangat besar untuk didiseminasikan ke SMK-SMK lain di seluruh wilayah Jawa Barat yang membuka konsentrasi keahlian Teknik Pengelasan dengan spesifikasi laboratorium robotik serupa.

Ekspansi Penerapan pada Balai Latihan Kerja (BLK): Lebih jauh lagi, kegunaan produk ini dapat dieksplorasi secara luas oleh Balai-Balai Latihan Kerja (BLK) milik pemerintah maupun swasta sebagai bahan diklat terstruktur dalam program re-skilling atau up-skilling bagi para operator las konvensional yang ingin bertransformasi menuju sistem pengelasan otomasi robotik industri.

Keberhasilan pengembangan E-Modul Interaktif Robot Welding OTC FD-B6 ini tidak terjadi di ruang hampa. Berbagai temuan empiris di lapangan membuktikan secara nyata bahwa media pembelajaran berbasis web ini berhasil memenuhi kriteria sebagai instrumen pembelajaran yang valid, praktis, dan efektif. Jauh di luar angka statistik, esensi dari keberhasilan produk ini bertumpu pada tiga pilar utama teknologi pendidikan kontemporer: struktur kurikulum yang berkiblat pada standar industri modern, integrasi multimodalitas media yang harmonis, serta penerapan strategi belajar mandiri yang terkendali (self-paced learning).

Menjembatani Kesenjangan Kompetensi Riil di Dunia Industri

Membaca potret di lapangan, Kabupaten Karawang telah lama berdiri sebagai salah satu episentrum industri manufaktur terbesar di Asia Tenggara. Kenyataannya, sekolah vokasi kerap kali megap-megap untuk menyelaraskan kurikulum internal dengan akselerasi otomatisasi yang masif di pabrik-pabrik besar. Kesenjangan (mismatch) kompetensi ini sering kali dipicu oleh keterbatasan jumlah unit alat praktikum robotik asli yang harganya selangit, berbanding terbalik dengan kuantitas siswa yang melimpah. Walhasil, interaksi siswa dengan teknologi canggih menjadi sangat minim.

Hadirnya e-modul interaktif berbasis web ini memutus rantai kendala tersebut secara efisien. Melalui media suplemen ini, dinding pembatas laboratorium bengkel sekolah berhasil diruntuhkan. Siswa tidak perlu lagi mengantre lama atau cemas merusakkan komponen mesin hanya untuk memahami anatomi dasar robot. HP di tangan mereka kini bertransformasi menjadi ruang simulasi awal untuk menajamkan nalar kognitif hipotetis dan pemahaman prosedural pengoperasian teach pendant. Fleksibilitas ini memberi ruang bagi siswa untuk belajar secara asinkron, mengulang materi berulang kali di luar jam pelajaran sekolah hingga benar-benar paham sebelum mereka menyentuh mesin yang sesungguhnya.

Perspektif Multimodalitas Instruksional dan Reduksi Beban Kognitif

Secara teoritis, materi otomatisasi robotika industri menuntut konsentrasi tingkat tinggi karena sifatnya yang abstrak dan prosedural. Jika materi ini dipaksakan tersaji dalam lembaran buku teks hitam putih konvensional, risiko terjadinya miskonsepsi atau kelelahan mental pada

siswa akan sangat besar. Di sinilah pendekatan multimodalitas instruksional di dalam e-modul ini mengambil peran krusial.

Sistem navigasi e-modul ini memadukan jalinan teks penjelasan teknis yang lugas, infografis anatomi sumbu gerak manipulator robot, rekaman video orisinal berdurasi pendek saat menyalakan sakelar servo, hingga sulih suara (audio narasi) yang jernih. Menurut prinsip Cognitive Load Theory, pembagian input informasi ke dalam dua saluran utama ganda yaitu visual dan auditori secara seimbang terbukti efektif mereduksi beban kognitif luar (extraneous cognitive load). Siswa tidak dipaksa membayangkan gerakan lengan robot secara mandiri; mereka melihat, mendengar, dan mencermatinya sekaligus. Dampaknya, memori jangka pendek siswa dapat bekerja optimal dalam membangun skema pemahaman operasional yang utuh dan akurat.

Konfirmasi Riset Terdahulu dan Lompatan Teknologi Abad 21

Bila dikorelasikan dengan konseptualisasi akademis terdahulu, temuan dalam penelitian ini sejalan dan memperkuat hasil riset yang dilakukan oleh (Yoga, 2025) serta (Makmuri & Hargiyarto, 2021). Benang merah dari studi-studi tersebut menegaskan bahwa bahan ajar digital interaktif yang dirancang untuk belajar mandiri pada rumpun teknik pengelasan mampu mendongkrak capaian hasil belajar secara signifikan, melampaui efektivitas modul cetak tradisional.

Dengan demikian, penelitian ini tidak sekadar mengekor. Ada lompatan inovasi substantif yang dihadirkan di sini. Jika penelitian terdahulu sebagian besar masih berkutat pada ruang lingkup pengelasan manual busur konvensional seperti Shielded Metal Arc Welding (SMAW) riset ini melangkah jauh ke depan menuju era otomatisasi manufaktur mutakhir abad 21. Tantangan intelektualnya jauh lebih kompleks; siswa tidak lagi sekadar dilatih ketangkasan tangan memegang elektroda, melainkan dituntut memiliki kemampuan logika penalaran formal operasional tingkat tinggi guna memprogram dan mengendalikan kecerdasan buatan mekanik manipulator robot.

Keterbatasan Penelitian dan Peta Jalan Inovasi Masa Depan

Sebagai sebuah karya ilmiah yang jujur, peneliti menyadari bahwa produk pengembangan ini tidak luput dari keterbatasan ruang lingkup tertentu. Pengujian efektivitas media yang diukur melalui instrumen pre-test dan post-test baru mampu menyentuh ranah kognitif prosedural operasional siswa. Riset ini belum merekam secara komprehensif ranah psikomotorik murni (keterampilan kinestetik motorik otot) ketika siswa dihadapkan pada situasi nyata memegang unit fisik teach pendant asli di bawah paparan panas radiasi percikan las yang sesungguhnya. Di samping itu, subjek uji coba lapangan juga masih terkunci pada skala kelompok terbatas di internal kelas XI SMKN 1 Karawang.

Keterbatasan ini justru membuka jalan bagi riset lanjutan yang prospektif. Rekomendasi utama untuk pengembangan ke depan adalah mengawinkan website e-modul ini dengan teknologi simulasi 3D interaktif atau Virtual Reality (VR) berbasis web. Penambahan fitur manipulasi tuas kontrol (joystick virtual) pada layar sentuh HP akan memberikan stimulasi pengalaman kinestetik artifisial yang jauh lebih dekat dengan dunia nyata, sebelum akhirnya siswa diterjunkan langsung di depan unit mekanik aktual pabrik.

KESIMPULAN

Penelitian ini berhasil mengembangkan e-modul interaktif Robot Welding OTC FD-B6 berbasis web menggunakan model ADDIE yang dipadukan dengan Borg & Gall. Hasil validasi menunjukkan e-modul berada pada kategori sangat layak, dengan penilaian ahli materi sebesar 96%, ahli desain 100%, praktisi 94%, dan respons siswa 91%. Penggunaan e-modul juga terbukti efektif meningkatkan kompetensi kognitif siswa, ditunjukkan oleh kenaikan nilai rata-rata dari 44,44 menjadi 84,17 dengan N-Gain 0,71 (kategori tinggi). Temuan ini memperkuat pemanfaatan media pembelajaran digital dalam pendidikan vokasi, khususnya sebagai solusi keterbatasan alat praktik, peningkatan kesiapan kerja dan budaya K3, serta optimalisasi pembelajaran mandiri. Oleh karena itu, e-modul ini disarankan untuk diintegrasikan dalam pembelajaran SMK, dikembangkan sebagai bahan ajar standar sekolah, dan disempurnakan melalui pengembangan berbasis teknologi Augmented Reality (AR) atau Virtual Reality (VR) pada penelitian selanjutnya.

REFERENSI

Akhimelita, L., Sumarto, S., & Abdullah, A. G. (2020). Model pendidikan karakter di sekolah menengah kejuruan. *Jurnal Moral Kemasyarakatan*, *5*(1), 27–33.

Ardiansyah, Risnita, & M. Jailani. (2023). Teknik Pengumpulan Data Dan Instrumen Penelitian Ilmiah. 1–9. https://doi.org/https://doi.org/10.61104/ihsan.v1i2.57

Arikunto. (2018). Dasar-Dasar Evaluasi Pendidikan (Restu Damayanti, Ed.; 3 ed.). Bumi Aksara.

Aspriyani, R., & Suzana, A. (2020). Pengembangan E-Modul Interaktif Materi Persamaan Lingkaran Berbasis Realistic Mathematics Education Berbantuan Geogebra. Aksioma: Jurnal Program Studi Pendidikan Matematika, 9(4), 1099. https://doi.org/10.24127/ajpm.v9i4.3123

Azizah. (2022). TESIS - Pengembangan E modul [Universitas sultan Syarif Kasim Riau]. http://repository.uin-suska.ac.id/id/eprint/61572

Badan Pusat Statistik Kabupaten Karawang. (2024). Serapan tenaga kerja sektor manufaktur Kabupaten Karawang. https://karawangkab.bps.go.id.

Badan Pusat Statistik Kabupaten Karawang. (2025). Kabupaten Karawang dalam angka 2025. https://karawangkab.bps.go.id.

Badan Pusat Statistik Provinsi Jawa Barat. (2024). Keadaan ketenagakerjaan Provinsi Jawa Barat Agustus 2024. https://jabar.bps.go.id

Borg, W. R., & Gall, M. D. (1983). Fourth Edition Educational Research An Introduction.

Branch, R. M. (2009). Instructional Design: The ADDIE Approach. Springer.

Budiastuti, & Bandur. (2018). Validitas dan Reliabilitas Penelitian. Mitra Wacana Media.

Cattaneo, A. A. P., Antonietti, C., & Rauseo, M. (2022). How digitalised are vocational teachers? Assessing digital competence in vocational education and looking at its underlying factors. Computers and Education, 176. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2021.104358

Chairunisa, E. D., & Zamhari, A. (2022). Pengembangan E-Modul Strategi Pembelajaran Sejarah dalam Upaya Peningkatan Literasi Digital Mahasiswa. Dalam Jurnal Pendidikan Sejarah (Vol. 11, Nomor 1). https://doi.org/10.36706/jc.v11i1.16047

Cognitive Market Research. (2024). Global welding robotics market report: Industry analysis and forecast 2024–2031. https://www.cognitivemarketresearch.com.

Creswell, & Plano Clark. (2018). Designing and Conducting Mixed Methods Research (3rd ed). SAGE Publications.

Finch, C. R. , & Crunkilton, J. R. (1999). Curriculum development in vocational and technical education. planning, content, and implementation (Allyn and Bacon, Ed.; 160 Gould Street). MA 02494.

Finch, C. R., & Crunkilton, J. R. (1999). Curriculum Development in Vocational and Technical Education Planning, Content, and Implementation (5 ed.). Allyn and Bacon. https://eric.ed.gov/?id=ED427251

Gay, L., Mills, G. E., & Airasian, P. (2012). Educational Research: Competencies for Analysis and Applications (10th ed.). Pearson.

Gustafson, K. L., & Branch, R. M. (2002). Survey of instructional development models (4th ed.). ERIC Clearinghouse on Information and Technology, Syracuse,NY.

Hake, R. R. (1998). Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses. American Journal of Physics, 66(1), 64–74. https://doi.org/10.1119/1.18809

Herawati, N. S., & Muhtadi, A. (2018). Pengembangan modul elektronik (e-modul) interaktif pada mata pelajaran Kimia kelas XI SMA. Jurnal Inovasi Teknologi Pendidikan, 5(2), 180–191. https://doi.org/10.21831/jitp.v5i2.15424

IFR Statistical Department. (2023). World robotics 2023: Industrial robots. https://ifr.org/worldrobotics

Indrasari, Bakhrudin All Habsy, Mochamad Nursalim, & Retno Tri Hariastuti. (2025). Systematic Literature Review E-Modul Bimbingan Karier Untuk Mendukung Kematangan Karier Siswa SMK. G-Couns: Jurnal Bimbingan dan Konseling, 9(2), 1247–1261. https://doi.org/10.31316/g-couns.v9i2.7198

Kementerian Perindustrian Republik Indonesia. (2024). Laporan analisis perkembangan industri manufaktur nasional: Akselerasi otomasi. https://kemenperin.go.id.

Koçak, N. F., Saygın, A., & Türk, F. (2025). Utilizing VR Technology in Foundational Welding Skill Development. Applied Sciences (Switzerland), 15(22). https://doi.org/10.3390/app152212331

Lei, G. (2023). Influence of ASSURE model in enhancing educational technology. Interactive Learning Environments, 1–17. https://doi.org/10.1080/10494820.2023.2172047

Makmuri, R. I., & Hargiyarto, P. (2021). Pengembangan e-modul mata pelajaran Shielded Metal Arc Welding (SMAW) kelas XI SMK (model 4D). Jurnal Pendidikan Vokasional Teknik Mesin, 125–132. https://doi.org/https://doi.org/10.21831/jpvtm.v9i2.17909

Maksum, H., Purwanto, W., Siman, Triono, S., & Hasan, H. (2025). Enhancing Student Achievement through a Digital Learning Module: The TEFA-T Model in a Teaching Factory of Automotive Vocational Education. International Journal of Interactive Mobile Technologies , 19(6), 115–127. https://doi.org/10.3991/ijim.v19i06.53799

Maryadi. (2025). Pengembangan media interaktif pendidikan Pancasila dan kewarganegaraan materi kasus-kasus pelanggaran hak dan pengingkaran kewajiban warga negara kelas XI SMK Yaspi Harun Arrasyid di Kabupaten Bogor. Universitas Ibn Khaldun.

Mayer, R. E. (2021). Multimedia learning (3rd ed.). Cambridge University Press.

Mundir. (2022). Teknologi Pendidikan; Suatu Pengantar. (M. Faliqul Ishbah, Ed.; 1 ed.). EDULITERA.

Mustika, E. D., Zairovy, A. I., & Nurrokhimah, F. (2024). Penerapan Model Pembelajaran Assure Melalui Media Digital Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Peserta Didik Dalam Pembelajaran Sejarah. Multidiciplinary Scientifict Journal, 2(7).

Nurhayati. (2023). Teknologi Pendidikan (Konsep, Strategis&Aplikasi dalam Pembelajaran) (Abdu Rahmat Rosyadi, Ed.; 1 ed.). UIKA Press.

Piaget. (1972). Intellectual Evolution from Adolescence to Adulthood. 1–12. https://doi.org/https://doi.org/10.1159/000271225

Rita C. Richey, & James D. Klein. (2007). Design and development research: Methods, strategies, and issues. https://archive.org/details/designdeveloomenOooorita

Safitri, & Dafitri. (2025). Development of Interactive E-Modules for Elementary Students: Enhancing Learning Outcomes. Primaryedu: Journal of Elementary Education, 9(1). https://doi.org/https://doi.org/10.22460/pej.v9i1.5681

Seels, B. B. , & Richey, R. C. (1994). Instructional technology: The definition and domains of the field. Association for Educational Communications and Technology (AECT).

Sitanggang, N., Abdul, D., & Saragih, H. (2013). Studi Karakteristik Siswa Slta Di Kota Medan. Dalam Jurnal Teknologi Pendidikan (Vol. 6, Nomor 2). https://doi.org/https://doi.org/10.24114/jtp.v6i2.4994

Spöttl, G., & Windelband, L. (2021). The 4th industrial revolution–its impact on vocational skills. Journal of Education and Work, 34(1), 29–52. https://doi.org/10.1080/13639080.2020.1858230

Sugiyono. (2015). Metode Penelitian Pendidikan (21 ed.). Alfabeta.

Sugiyono. (2019). Metode Penelitian Kuantitatif, Kualitatif, dan R&D (M. Dr.Ir.Sutopo.S.Pd, Ed.; Cetakan Ke-1-28). Alfabeta.

Vebrianto, R., Thahir, M., Putriani, Z., Mahartika, I., Ilhami, A., & Diniya, D. (2020). Mixed Methods Research: Trends and Issues in Research Methodology. Bedelau: Journal of Education and Learning, 1(1), 63–73.

World Bank. (2022). Indonesia Economic Prospects. https://doi.org/10.1596/37584

Wulandari, C. Y., & Sulistyowati, R. (2022). Pengembangan E-Modul Interaktif Berbasis Flip Pdf Professional Mata Pelajaran Produk Kreatif dan Kewirausahaan di Sekolah Menengah Kejuruan. Edukatif : Jurnal Ilmu Pendidikan, 4(3), 4882–4889. https://doi.org/10.31004/edukatif.v4i3.3027

Yoga, E. S. , & P. S. (2025). Modul Elektronik (E-Module) Teknik Pengelasan Busur Logam Terlindung Interaktif untuk Sekolah Menengah Kejuruan. Journal of Education Technology. https://journal.student.uny.ac.id/mesin/article/view/17909/17260