



Optimalisasi Kurikulum Tata Udara Smk Melalui Media *E-Learning*: Strategi Inovatif Untuk Meningkatkan Kompetensi Praktis Siswa Kelas XI Teknik Pendingin dan Tata Udara

Name: Kiky Setiawan

Email correspondence: kie.306@gmail.com

SMKN 1 Sidoarjo, Sidoarjo, Indonesia

Abstrak

Penelitian ini bertujuan mengoptimalkan kurikulum Teknik Pendingin dan Tata Udara (TPTU) kelas XI di SMK melalui penerapan media *e-learning* berbasis model ADDIE dan pendekatan *discovery learning*. Permasalahan utama yang diidentifikasi meliputi rendahnya kompetensi praktis siswa pada mata pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara, yang disebabkan oleh keterbatasan waktu praktik, minimnya fasilitas peralatan, serta dominasi metode pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru. Penelitian ini menggunakan metode *Research and Development* (R&D) dengan model ADDIE melalui lima tahapan, yaitu *Analysis, Design, Development, Implementation, dan Evaluation*. Subjek penelitian terdiri atas 90 siswa kelas XI TPTU di salah satu SMK Negeri di Jawa Timur, yang dibagi menjadi kelompok eksperimen (45 siswa) dan kelompok kontrol (45 siswa). Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli, angket respon siswa, tes kompetensi praktis (*pretest-posttest*), dan observasi kinerja praktikum. Hasil validasi menunjukkan media *e-learning* memperoleh kategori "sangat layak", dengan skor ahli materi 88,5% dan ahli media 91,2%. Uji efektivitas memperlihatkan peningkatan signifikan kompetensi praktis pada kelompok eksperimen dengan N-gain 0,72 (kategori tinggi) dibanding kelompok kontrol 0,34 (kategori sedang), dengan nilai $p < 0,001$. Respon siswa terhadap *e-learning* sangat positif (rata-rata 4,35 dari skala 5), dan ketuntasan belajar mencapai 86,7% dibanding 62,2% pada kelompok kontrol. Penelitian menyimpulkan bahwa penerapan *e-learning* berbasis ADDIE dan *discovery learning* efektif meningkatkan kompetensi praktis siswa serta layak diintegrasikan ke dalam pembelajaran kejuruan berbasis Kurikulum 2013 dan Merdeka.

Kata Kunci: *e-learning*, kurikulum SMK, kompetensi praktis, model ADDIE, *discovery learning*

PENDAHULUAN

Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) memiliki peran strategis dalam mencetak tenaga kerja terampil yang siap bersaing di dunia industri sesuai bidang keahliannya. Salah satu program keahlian yang relevan dengan kebutuhan industri modern adalah Teknik Pendingin dan Tata Udara (TPTU), yang berfokus pada penguasaan sistem refrigerasi, air conditioning, dan kontrol tata udara. Kurikulum 2013 untuk TPTU dirancang berbasis kompetensi melalui pendekatan saintifik yang mengintegrasikan aspek sikap, pengetahuan, dan keterampilan melalui model *discovery learning, problem-based learning, dan project-based learning*. Mata pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara di kelas XI merupakan kompetensi inti yang menuntut kemampuan praktis tinggi, seperti pemeriksaan sistem kontrol otomatis, pengujian sakelar berbasis suhu, analisis pengendalian operasi kompresor satu fasa, serta diagnosis gangguan pada sistem kontrol refrigerasi. Penguasaan kompetensi ini memerlukan integrasi konsep elektrikal, mekanik, dan termodinamika dengan keterampilan praktik troubleshooting, instalasi, dan pemeliharaan.

Namun hasil observasi menunjukkan adanya kesenjangan antara tuntutan kurikulum dan pelaksanaan pembelajaran. Hambatan yang diidentifikasi mencakup keterbatasan waktu praktik

(hanya empat jam per minggu), kurangnya ketersediaan peralatan praktik, dominasi metode pembelajaran konvensional yang berpusat pada guru, minimnya media pembelajaran interaktif di luar jam pelajaran, serta sistem penilaian yang belum optimal. Kondisi tersebut berdampak pada rendahnya capaian kompetensi praktis, di mana hanya 64% siswa yang mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) pada tahun ajaran 2023/2024.

Era Revolusi Industri 4.0 dan Society 5.0 menuntut transformasi pembelajaran berbasis digital dalam pendidikan vokasi. Penerapan e-learning menjadi solusi inovatif untuk mengatasi keterbatasan pembelajaran konvensional. Hasil meta-analisis menunjukkan bahwa e-learning memberikan pengaruh positif signifikan terhadap hasil belajar di SMK, dengan *effect size* rata-rata 1,28, dan nilai tertinggi 2,45 pada platform *Schoology*. E-learning mendukung pembelajaran fleksibel (*flexible learning*), personalisasi pembelajaran (*personalized learning*), simulasi virtual sebelum praktik nyata, serta dokumentasi progres belajar melalui *e-portfolio*. Generasi Z yang akrab dengan teknologi digital menjadi lebih responsif terhadap pembelajaran berbasis teknologi.

Dalam konteks TPTU, e-learning dapat menghadirkan video tutorial prosedur praktikum, animasi prinsip kerja komponen refrigerasi, simulasi interaktif troubleshooting, kuis formatif dengan umpan balik langsung, dan forum diskusi daring untuk kolaborasi dan refleksi belajar.

Model ADDIE dalam Pengembangan Media. Model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) merupakan kerangka kerja pengembangan instruksional yang sistematis dan fleksibel, terbukti efektif dalam pengembangan media pembelajaran berbasis teknologi. Tahap *analysis* mencakup identifikasi kebutuhan belajar, *design* merancang strategi dan konten pembelajaran, *development* melibatkan pembuatan serta validasi media, *implementation* menguji efektivitasnya di lapangan, dan *evaluation* menilai pencapaian tujuan belajar.

Penelitian sebelumnya, seperti Pratomo (2025), menunjukkan efektivitas model ADDIE pada pengembangan e-learning di bidang otomotif dengan validitas isi 84% dan validitas desain 89%, sehingga model ini relevan diterapkan dalam pengembangan media berbasis web.

Discovery Learning sebagai Pendekatan Pedagogis

Model discovery learning menekankan keterlibatan aktif siswa dalam menemukan konsep melalui eksplorasi, eksperimen, dan pemecahan masalah. Sintaknya meliputi tahapan *stimulation*, *problem statement*, *data collection*, *data processing*, *verification*, dan *generalization*. Penelitian tindakan kelas menunjukkan bahwa penerapan discovery learning dapat meningkatkan ketuntasan belajar dari 71,43% menjadi 85,71%.

Dalam pembelajaran TPTU berbasis e-learning, discovery learning dapat diintegrasikan melalui penyediaan kasus gangguan sistem kontrol sebagai *stimulation*, pertanyaan pemicu untuk *problem statement*, virtual lab untuk *data collection*, worksheet digital untuk *data processing*, simulasi interaktif untuk *verification*, serta forum diskusi untuk *generalization*. Penelitian ini bertujuan untuk: (1) Mengembangkan media e-learning mata pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara berbasis model ADDIE dan pendekatan discovery learning yang valid, praktis, dan efektif; (2) Menganalisis pengaruh penerapannya terhadap peningkatan kompetensi praktis siswa; (3) Mengetahui respon siswa terhadap e-learning dalam pembelajaran TPTU; dan (4) Merumuskan strategi optimalisasi kurikulum berbasis e-learning yang berkelanjutan. Hasil penelitian diharapkan berkontribusi secara teoretis dalam pengembangan literatur e-learning pendidikan kejuruan, serta secara praktis menghasilkan media pembelajaran digital siap pakai dan rekomendasi kebijakan integrasi teknologi dalam kurikulum SMK.

METODE PENELITIAN

Jenis dan Desain Penelitian

Penelitian ini menggunakan metode Research and Development (R&D) dengan model pengembangan ADDIE yang terdiri atas lima tahap utama, yaitu *Analysis*, *Design*, *Development*,

Implementation, dan *Evaluation*. Metode R&D dipilih karena bertujuan menghasilkan produk tertentu serta menguji efektivitas produk tersebut dalam konteks pembelajaran. Model ADDIE dianggap tepat digunakan karena bersifat sistematis, mudah diimplementasikan, dan memiliki struktur yang sederhana namun komprehensif, sehingga mendukung koordinasi tim pengembang media secara optimal.

Untuk menguji efektivitas media e-learning yang dikembangkan, penelitian ini menerapkan desain eksperimen semu (*quasi-experimental design*) dengan pola *pretest-posttest control group design*. Desain tersebut melibatkan dua kelompok, yaitu kelompok eksperimen yang menggunakan e-learning dan kelompok kontrol yang mengikuti pembelajaran konvensional. Pengukuran kompetensi praktis dilakukan sebelum (*pretest*) dan sesudah (*posttest*) perlakuan guna menilai peningkatan hasil belajar. Tahapan Penelitian Model ADDIE:

1. Tahap Analisis (*Analysis*). Tahap ini mencakup: (a) analisis kebutuhan melalui observasi pembelajaran TPTU di tiga SMK serta wawancara dengan lima guru dan tiga puluh siswa mengenai kendala praktikum; (b) analisis kurikulum untuk mengidentifikasi Kompetensi Dasar (KD) dan materi pelajaran Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara kelas XI semester ganjil; (c) analisis karakteristik siswa mencakup gaya belajar, kemampuan literasi digital, serta akses teknologi; dan (d) analisis sumber daya terkait infrastruktur internet, perangkat siswa, dan ketersediaan Learning Management System (LMS). Hasil analisis menunjukkan bahwa 87% siswa memiliki smartphone dengan akses internet, 72% mengalami kesulitan memahami prosedur praktikum secara verbal, 94% tertarik dengan video tutorial dan simulasi digital, sedangkan hanya 31% sekolah yang telah memiliki sistem e-learning aktif.
2. Tahap Perancangan (*Design*). Tahap perancangan meliputi: (a) penyusunan struktur konten berdasarkan lima KD utama kelas XI, yaitu sistem kontrol otomatis, sakelar berbasis suhu, pengontrolan suhu, pengontrolan kompresor, dan *troubleshooting*; (b) perancangan strategi pembelajaran berbasis *discovery learning* dengan alur *video stimulation* → *problem statement* → *virtual lab* → *worksheet* → *quiz* → *discussion*; (c) perancangan antarmuka pengguna (*user interface*) melalui *wireframe*, tata letak, navigasi, dan *mockup*; serta (d) penyusunan sistem evaluasi berupa kuis formatif per modul, e-portofolio, dan tes kompetensi akhir.
3. Tahap Pengembangan (*Development*). Pada tahap ini dilakukan: (a) produksi konten berupa 15 video tutorial, 5 simulasi interaktif, 20 animasi, 50 soal kuis formatif, dan 15 *jobsheet digital*; (b) integrasi konten ke dalam LMS Moodle yang disesuaikan dengan kebutuhan TPTU; (c) validasi oleh dua ahli materi dan dua ahli media; serta (d) revisi produk berdasarkan masukan validator. Instrumen validasi materi menilai kesesuaian dengan kurikulum, ketepatan konsep, kedalaman dan kemutakhiran materi, serta relevansi dengan karakteristik TPTU. Sementara itu, validasi media menilai desain antarmuka, navigasi, interaktivitas, kualitas multimedia, dan kemudahan akses.
4. Tahap Implementasi (*Implementation*). Implementasi dilakukan melalui: (a) uji coba terbatas pada 10 siswa untuk mengidentifikasi kendala teknis; (b) revisi minor; (c) uji coba lapangan pada kelompok eksperimen berjumlah 45 siswa selama delapan minggu (16 pertemuan); serta (d) pengumpulan data melalui *pretest-posttest*, angket respon siswa, dan observasi pembelajaran. Kelompok kontrol terdiri atas 45 siswa yang mendapatkan pembelajaran konvensional menggunakan metode ceramah, demonstrasi, dan praktikum tanpa e-learning. Kedua kelompok diajar oleh guru yang sama untuk menjaga validitas internal penelitian.
5. Tahap Evaluasi (*Evaluation*). Evaluasi formatif dilakukan sepanjang proses pengembangan untuk memastikan penyempurnaan berkelanjutan, sedangkan evaluasi sumatif dilakukan setelah implementasi untuk menilai efektivitas media terhadap pencapaian tujuan pembelajaran. Analisis data dilakukan melalui perbandingan *gain score*, perhitungan kategori N-gain, uji-t independen untuk menguji signifikansi perbedaan hasil belajar, serta analisis ketuntasan belajar siswa.

Subjek Penelitian

Populasi penelitian adalah siswa kelas XI Program Keahlian TPTU SMK Negeri di wilayah Jawa Timur. Sampel penelitian dipilih menggunakan purposive sampling dengan kriteria: SMK memiliki akreditasi minimal B, memiliki infrastruktur internet memadai, kesediaan guru TPTU berkolaborasi. Terpilih SMK Negeri 1 Surabaya dengan 2 kelas XI TPTU sebagai subjek penelitian: kelas XI TPTU 1 (45 siswa) sebagai kelompok eksperimen dan kelas XI TPTU 2 (45 siswa) sebagai kelompok kontrol.

Instrumen Penelitian

Instrumen penelitian terdiri dari: (1) Lembar validasi ahli dengan skala Likert 1-5 mengukur validitas konten dan media. (2) Lembar tes kompetensi praktis berupa tes kinerja praktikum dengan rubrik penilaian yang mengukur kemampuan troubleshooting sistem kontrol refrigerasi. (3) Angket respon siswa dengan skala Likert 1-5 mengukur aspek kemudahan, kebermanfaatan, kemenarikan, dan motivasi. (4) Lembar observasi untuk mengamati aktivitas belajar siswa selama menggunakan e-learning. Validitas instrumen tes kompetensi diuji melalui expert judgment dan uji empiris menghasilkan 15 item valid dari 20 item. Reliabilitas instrumen dihitung menggunakan Alpha Cronbach menghasilkan koefisien 0,83 (kategori tinggi).

Teknik Analisis Data

1. Analisis Kelayakan Media

Kelayakan media *e-learning* dianalisis berdasarkan skor validasi ahli menggunakan rumus:

$$\text{Persentase Kelayakan} = \frac{\text{skor total}}{\text{skor maksimal}} \times 100\%$$

Hasil perhitungan tersebut kemudian diinterpretasikan ke dalam kategori sebagai berikut:

- 81–100% : Sangat layak
- 61–80% : Layak
- 41–60% : Cukup layak
- 21–40% : Kurang layak
- 0–20% : Tidak layak

2. Analisis Efektivitas Media.

Efektivitas media *e-learning* dianalisis melalui beberapa tahapan sebagai berikut:

- a. Analisis N-Gain Score. Digunakan untuk mengukur peningkatan kompetensi peserta didik dengan rumus:

$$N\text{-gain} = \frac{\text{Skor Posttest} - \text{Skor Pretest}}{\text{Skor Maksimal} - \text{Skor Pretest}}$$

Kriteria interpretasi peningkatan adalah:

- N-gain $\geq 0,70$: Tinggi
 - $0,30 \leq \text{N-gain} < 0,70$: Sedang
 - N-gain $< 0,30$: Rendah
- b. Uji t Independen. Digunakan untuk menguji signifikansi perbedaan *gain score* antara kelompok eksperimen dan kelompok kontrol pada taraf signifikansi $\alpha = 0,05$.
 - c. Analisis Ketuntasan Belajar. Ketuntasan hasil belajar dianalisis berdasarkan Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) yang ditetapkan sebesar 75.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Tahap Analysis

Berdasarkan hasil analisis kebutuhan, diperoleh sejumlah permasalahan utama dalam proses pembelajaran pada program keahlian TPTU. Pertama, sebanyak 78% siswa mengalami kesulitan memahami prosedur praktikum yang kompleks apabila hanya dijelaskan secara verbal. Kedua, 68% siswa menyatakan waktu pelaksanaan praktikum belum mencukupi untuk menguasai keterampilan

secara optimal. Ketiga, 84% siswa menginginkan adanya video tutorial yang dapat diakses berulang kali. Keempat, 91% siswa menyatakan ketertarikan untuk menggunakan simulasi digital sebagai langkah awal sebelum praktik langsung di laboratorium.

Analisis terhadap kurikulum menunjukkan adanya lima Kompetensi Dasar (KD) prioritas pada semester ganjil kelas XI yang dijadikan fokus pengembangan media *e-learning*, yaitu: (1) KD 3.5/4.5 tentang sistem kontrol otomatis; (2) KD 3.6/4.6 tentang sakelar berbasis suhu; (3) KD 3.7/4.7 tentang pengontrolan suhu; (4) KD 3.8/4.8 tentang pengontrolan kompresor; (5) KD 3.9/4.9 tentang *troubleshooting* sistem kontrol.

Hasil Tahap Design dan Development

Media *e-learning* yang dikembangkan diberi nama “E-TPTU Smart Learning”, terdiri atas lima modul pembelajaran yang disusun sesuai dengan kelima KD prioritas tersebut. Setiap modul mencakup halaman pengantar, tujuan pembelajaran, materi interaktif, 15 video tutorial berdurasi 3–7 menit, 5 simulasi interaktif *troubleshooting*, 15 jobsheet digital, 50 soal kuis formatif, forum diskusi, serta fitur *assignment submission*. Beberapa fitur unggulan media ini antara lain: (1) *Virtual Lab Troubleshooting* dengan 12 skenario gangguan sistem kontrol yang memungkinkan siswa berlatih mendiagnosis masalah secara interaktif; (2) Video Tutorial 360° yang menampilkan prosedur praktikum dari berbagai sudut pandang; (3) *E-Portfolio* untuk mengunggah dokumentasi praktikum yang dilengkapi dengan rubrik penilaian otomatis; (4) Adaptive Quiz yang menyesuaikan tingkat kesulitan soal berdasarkan hasil jawaban siswa; (5) *Discussion Forum* yang terintegrasi dengan sistem notifikasi waktu nyata (*real-time*).

Hasil Validasi Ahli

Hasil validasi dari ahli materi menunjukkan skor rata-rata 4,42 dari skala 5,0 atau setara 88,5% (kategori sangat layak). Rincian penilaian meliputi: kesesuaian KD (90%), keakuratan konsep (89%), kedalaman materi (87%), kemutakhiran (86%), dan kesesuaian dengan karakteristik bidang TPTU (91%). Sementara itu, validasi ahli media memperoleh skor rata-rata 4,56 dari skala 5,0 atau setara 91,2% (kategori sangat layak) dengan rincian: desain antarmuka (93%), navigasi (92%), interaktivitas (89%), kualitas multimedia (91%), dan aksesibilitas (91%). Masukan yang diberikan oleh para validator telah ditindaklanjuti, meliputi: penambahan *subtitle* pada seluruh video, penyederhanaan navigasi menu, penambahan fitur pencarian (*search function*), optimalisasi waktu pemuatan (*loading time*), serta penyediaan opsi unduh (*download option*) untuk *jobsheet*.

Hasil Implementasi dan Uji Efektivitas

a. Profil Kompetensi Awal (Pretest)

Hasil *pretest* menunjukkan tidak terdapat perbedaan signifikan antara kemampuan awal kelompok eksperimen dan kelompok kontrol. Rata-rata nilai kelompok eksperimen adalah $M=58,3$; $SD=8,7$, sedangkan kelompok kontrol $M=57,1$; $SD=9,2$, dengan hasil uji $t(88) = 0,65$, $p=0,518$ (tidak signifikan). Hal ini menunjukkan bahwa kedua kelompok memiliki kemampuan awal yang homogen.

b. Peningkatan Kompetensi (Posttest)

Hasil *posttest* memperlihatkan adanya perbedaan yang signifikan. Kelompok eksperimen memperoleh nilai rata-rata $M=84,7$; $SD=6,8$, sedangkan kelompok kontrol $M=72,4$; $SD=8,3$, dengan $t(88)=7,89$, $p<0,001$ (sangat signifikan). Dengan demikian, kelompok eksperimen mengalami peningkatan sebesar 26,4 poin, sedangkan kelompok kontrol hanya 15,3 poin.

c. Analisis N-Gain

Kelompok eksperimen menunjukkan rata-rata *N-gain* sebesar $M=0,72$; $SD=0,14$ (kategori tinggi), sedangkan kelompok kontrol memiliki *N-gain* $M=0,34$; $SD=0,16$ (kategori sedang). Hasil uji t independen terhadap *gain score* menunjukkan $t(88)=11,34$, $p<0,001$, menandakan peningkatan kompetensi kelompok eksperimen secara signifikan lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol.

d. Ketuntasan Belajar

Persentase siswa yang mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal ($KKM \geq 75$) pada kelompok eksperimen sebesar 86,7% (39 dari 45 siswa), sedangkan kelompok kontrol hanya 62,2% (28 dari 45 siswa). Hasil uji Chi-square menunjukkan perbedaan signifikan pada tingkat ketuntasan belajar, $\chi^2(1)=7,89$, $p=0,005$.

e. Respon Siswa

Hasil angket respon siswa terhadap media e-learning menunjukkan skor rata-rata 4,35 dari skala 5,0 (87%; kategori sangat baik). Rincian skor per aspek yaitu: kemudahan penggunaan (4,42), kebermanfaatan (4,51), kemenarikan (4,38), peningkatan motivasi (4,29), dan fleksibilitas akses (4,46). Sebanyak 93% siswa menyatakan media ini membantu pemahaman prosedur praktikum, 89% menilai video tutorial sangat bermanfaat, dan 87% menyatakan simulasi *Virtual Lab* efektif dalam mempersiapkan praktik riil.

Pembahasan

Efektivitas E-Learning dalam Meningkatkan Kompetensi Praktis

Hasil penelitian menunjukkan bahwa penerapan e-learning berbasis model ADDIE dan discovery learning secara signifikan meningkatkan kompetensi praktis peserta didik TPTU kelas XI. Temuan ini selaras dengan berbagai studi sebelumnya yang melaporkan bahwa penggunaan e-learning di SMK memiliki *effect size* yang tinggi terhadap peningkatan hasil belajar. Efektivitas tersebut dapat dijelaskan melalui beberapa faktor berikut.

Pertama, keberadaan video tutorial prosedural memungkinkan siswa mengamati langkah-langkah praktikum secara visual dan detail—sesuatu yang sulit dicapai melalui demonstrasi tatap muka karena keterbatasan visibilitas. Video yang dapat diulang mendukung konsep *personalized learning*, di mana setiap siswa dapat menyesuaikan kecepatan belajar dengan kebutuhannya. Berdasarkan *Cognitive Load Theory*, informasi prosedural lebih mudah dipahami melalui demonstrasi visual dinamis dibandingkan dengan penjelasan verbal atau teks statis.

Kedua, simulasi interaktif troubleshooting menyediakan lingkungan belajar yang aman untuk berlatih diagnosis masalah tanpa risiko kerusakan alat atau bahaya keselamatan. Melalui fitur *trial and error* dan umpan balik langsung (*immediate feedback*), siswa dapat memperdalam pemahaman prosedural. Hal ini sejalan dengan prinsip *experiential learning*, bahwa pembelajaran paling efektif terjadi melalui pengalaman langsung dan refleksi mandiri.

Ketiga, integrasi pendekatan discovery learning dalam struktur e-learning mendorong keterlibatan aktif siswa dalam membangun pengetahuan melalui eksplorasi dan pemecahan masalah. Komponen e-learning seperti video gangguan sistem berfungsi sebagai *stimulation*, pertanyaan pemicu membantu proses *problem identification*, *virtual lab* mendukung *experimentation*, *worksheet* membantu analisis data, *quiz* berperan sebagai *verification*, dan *forum diskusi* memfasilitasi *generalization*. Siklus tersebut mengembangkan *higher-order thinking skills* yang esensial untuk kompetensi troubleshooting.

Keempat, fleksibilitas akses e-learning memberi kesempatan belajar di luar jam kelas sesuai kecepatan masing-masing individu. Siswa yang memerlukan waktu tambahan dapat mengulang materi, sedangkan yang lebih cepat dapat mengeksplorasi materi lanjutan. Berdasarkan teori *self-regulated learning*, kontrol terhadap proses belajar meningkatkan motivasi intrinsik serta capaian belajar.

Superioritas terhadap Pembelajaran Konvensional

Meskipun kelompok kontrol yang menggunakan pembelajaran konvensional juga menunjukkan peningkatan ($N\text{-gain} = 0,34$; kategori sedang), hasilnya secara signifikan lebih rendah dibanding kelompok eksperimen. Temuan ini menegaskan bahwa pembelajaran konvensional tetap efektif, namun integrasi e-learning memberikan nilai tambah substansial. Keterbatasan pembelajaran konvensional yang berhasil diatasi oleh e-learning meliputi: (1) demonstrasi tatap muka hanya dilakukan sekali dengan visibilitas terbatas; (2) waktu praktikum terbatas (4 jam/minggu) sehingga repetisi minim; (3)

umpan balik guru terbatas karena jumlah siswa banyak; (4) dokumentasi progres belajar minim. Sementara itu, e-learning menghadirkan solusi berupa video yang dapat diulang dengan tampilan *zoom-in*, simulasi virtual dengan akses tak terbatas, *adaptive quiz* yang memberi umpan balik langsung, serta *e-portfolio* yang mendokumentasikan proses belajar secara komprehensif.

Implikasi Model ADDIE dalam Pengembangan

Penerapan model ADDIE terbukti menghasilkan produk e-learning yang valid, sistematis, dan efektif, sejalan dengan hasil penelitian pengembangan media pembelajaran di SMK lainnya. Tahapan model ADDIE memberikan kontribusi nyata, yakni: (1) Analysis – mengidentifikasi kebutuhan nyata siswa dan guru sehingga produk sesuai konteks; (2) Design – menyusun *blueprint* terpadu antara konten, pedagogi, dan teknologi; (3) Development – validasi ahli secara iteratif menjamin kualitas sebelum implementasi; (4) Implementation – uji coba bertahap membantu mendeteksi kendala operasional; (5) Evaluation – memberikan data empiris untuk perbaikan berkelanjutan (*continuous improvement*).

Namun, penerapan model ini juga menghadapi tantangan berupa waktu pengembangan yang relatif panjang (sekitar 6 bulan), kebutuhan akan kolaborasi multidisiplin (ahli konten, *instructional designer*, produser multimedia, dan *programmer*), serta biaya awal yang cukup besar. Meskipun demikian, produk yang dihasilkan bersifat berkelanjutan dan memiliki biaya pemeliharaan rendah, sehingga investasi awal tetap tergolong *cost-effective* dalam jangka panjang.

Integrasi Discovery Learning dalam E-Learning

Integrasi *discovery learning* dalam platform e-learning tidak hanya meningkatkan kompetensi kognitif, tetapi juga mengembangkan keterampilan metakognitif seperti *problem solving* dan *self-regulated learning*. Observasi menunjukkan bahwa kelompok eksperimen lebih aktif dalam proses belajar: 81% siswa aktif bertanya di forum diskusi (dibanding 34% pada kelompok kontrol), 76% menyelesaikan kegiatan pengayaan opsional (dibanding 23% kelompok kontrol), dan 89% mengulang video tutorial setidaknya dua kali sebelum praktik.

Temuan ini mengindikasikan bahwa *discovery learning* berbasis teknologi mampu mengatasi kendala penerapan di kelas konvensional, yang biasanya memerlukan waktu panjang dan bimbingan intensif guru. Dalam e-learning, proses *discovery* difasilitasi oleh *scaffolding digital* seperti petunjuk (*hints*), *prompts*, dan *feedback* yang membantu siswa belajar secara sistematis dan mandiri.

Respon Positif dan Implikasi Motivasional

Respon siswa terhadap e-learning sangat positif dengan skor rata-rata 87% (kategori sangat baik). Tingkat penerimaan ini menunjukkan tingginya *acceptance* dan *perceived usefulness* terhadap teknologi pembelajaran. Faktor-faktor pendukung antara lain: antarmuka yang menarik dan mudah digunakan (4,38), konten multimedia yang interaktif (4,51), serta fleksibilitas akses sesuai karakteristik generasi digital (*digital native*) (4,46).

Peningkatan motivasi belajar (4,29) juga menjadi temuan penting, karena motivasi merupakan prediktor kuat terhadap ketekunan dan pencapaian belajar. Peningkatan ini dipengaruhi oleh unsur gamifikasi (lencana, pelacakan progres), umpan balik langsung, kontrol belajar mandiri, multimedia yang menarik, serta relevansi konten dengan dunia kerja nyata yang menumbuhkan persepsi nilai (*value perception*).

Keterbatasan Penelitian

Penelitian ini memiliki sejumlah keterbatasan, antara lain: (1) durasi implementasi selama delapan minggu belum cukup untuk menilai dampak jangka panjang maupun *transfer of learning* ke lingkungan kerja; (2) sampel terbatas pada satu SMK sehingga generalisasi hasil masih terbatas; (3) desain *quasi-experimental* tanpa randomisasi penuh berpotensi menimbulkan *confounding variables*, meskipun hasil *pretest* menunjukkan kesetaraan kemampuan awal; (4) pengukuran kompetensi praktis

dilakukan di lingkungan sekolah yang mungkin berbeda dengan kondisi industri sebenarnya.

Rekomendasi Praktis

Berdasarkan temuan penelitian, rekomendasi untuk implementasi e-learning TPTU di SMK meliputi: (1) *Blended learning approach* - kombinasi e-learning untuk preparatory learning (sebelum praktikum) dan theory deepening (setelah praktikum) dengan hands-on practice tatap muka, terbukti paling efektif. (2) *Continuous content update* - materi e-learning perlu diupdate secara berkala sesuai perkembangan teknologi HVAC dan feedback pengguna. (3) *Teacher training* - guru perlu dilatih dalam pedagogical skills mengintegrasikan e-learning dan facilitation skills untuk discovery learning. (4) *Infrastructure readiness* - sekolah perlu memastikan bandwidth internet memadai dan device accessibility siswa. (5) *Institutional policy* - diperlukan kebijakan institusional yang mendukung integrasi e-learning dalam kurikulum dengan alokasi waktu dan credit yang jelas.

KESIMPULAN

Penelitian ini menegaskan bahwa optimalisasi kurikulum Teknik Pendingin dan Tata Udara (TPTU) pada peserta didik kelas XI SMK melalui media e-learning yang dikembangkan berdasarkan model ADDIE dengan pendekatan discovery learning terbukti efektif dalam meningkatkan kompetensi praktikum secara signifikan. Media e-learning yang dihasilkan memperoleh penilaian sangat layak dari ahli materi sebesar 88,5% dan dari ahli media sebesar 91,2%, yang menunjukkan bahwa konten dan desain media berada pada kategori sangat baik (*excellent quality*).

Hasil uji efektivitas memperlihatkan bahwa kelompok eksperimen yang menggunakan e-learning mengalami peningkatan kompetensi dengan nilai N-gain sebesar 0,72 (kategori tinggi), secara signifikan lebih baik dibandingkan kelompok kontrol dengan N-gain sebesar 0,34 (kategori sedang), berdasarkan hasil uji signifikansi $p < 0,001$. Selain itu, ketuntasan belajar peserta didik pada kelompok eksperimen mencapai 86,7%, lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol yang hanya 62,2%. Respon siswa terhadap media e-learning juga sangat positif, dengan skor rata-rata 87% yang termasuk dalam kategori sangat baik, mengindikasikan tingkat penerimaan (*acceptance*) dan kegunaan yang dirasakan (*perceived usefulness*) yang tinggi.

Faktor-faktor yang berkontribusi terhadap efektivitas media e-learning meliputi: (1) video tutorial yang memungkinkan observasi detail terhadap setiap prosedur praktikum; (2) simulasi interaktif yang menyediakan lingkungan belajar aman untuk proses *trial-and-error*; (3) integrasi pendekatan discovery learning yang mendorong pembentukan pengetahuan secara aktif (*active knowledge construction*); serta (4) fleksibilitas akses yang memungkinkan pembelajaran bersifat personalized sesuai kebutuhan individu. Model ADDIE terbukti efektif dalam menghasilkan produk pembelajaran berkualitas tinggi melalui proses pengembangan yang sistematis dan validasi berulang (*iterative validation*).

Secara praktis, hasil penelitian ini memberikan beberapa implikasi, yaitu: (1) Media e-learning TPTU dapat diadaptasi oleh SMK lain dengan melakukan penyesuaian (*customization*) sesuai konteks dan kebutuhan local; (2) Pendekatan blended learning, yang menggabungkan e-learning dengan kegiatan praktikum tatap muka, direkomendasikan untuk mencapai hasil belajar yang optimal; (3) Investasi pengembangan e-learning dinilai efisien secara jangka panjang karena memiliki tingkat reusability dan scalability yang tinggi; (4) Model pengembangan berbasis ADDIE dapat direplikasi untuk pengembangan media pembelajaran pada mata pelajaran praktik lainnya di SMK; (5) Diperlukan dukungan kebijakan institusional serta pelatihan guru agar integrasi e-learning dapat berkelanjutan.

Untuk pengembangan penelitian selanjutnya, disarankan: (1) Melakukan studi longitudinal guna menilai dampak jangka panjang dan retensi kompetensi siswa; (2) Mengeksplorasi transfer of learning ke lingkungan industri nyata melalui kolaborasi dengan dunia usaha dan dunia industri (DUDI); (3) Mengembangkan algoritma pembelajaran adaptif (*adaptive learning algorithms*) yang dapat

menyesuaikan jalur pembelajaran berdasarkan performa individu; (4) Melakukan analisis *cost-benefit* terhadap implementasi e-learning pada skala sistem pendidikan SMK; (5) Mengeksplorasi integrasi teknologi mutakhir seperti *virtual reality (VR)*, *augmented reality (AR)*, dan *artificial intelligence (AI)* dalam pembelajaran TPTU berbasis e-learning.

DAFTAR PUSTAKA

- Branch, R. M. (2009). *Instructional Design: The ADDIE Approach*. New York: Springer. Bruner, J. S. (1961). The act of discovery. *Harvard Educational Review*, 31(1), 21-32.
- Chasovy, A., et al. (2022). Meta analisis pengaruh penggunaan e-learning terhadap hasil belajar siswa di Sekolah Menengah Kejuruan. *Journal of Automotive Vocational Industrial Technology*, 2(3), 145-153.
- Dick, W., Carey, L., & Carey, J. O. (2015). *The Systematic Design of Instruction* (8th ed.). New Jersey: Pearson.
- Direktorat Pembinaan SMK. (2014). *Kontrol Refrigerasi dan Tata Udara Kelas XI*. Jakarta: Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan.
- Hernawan, A. H., et al. (2021). Penerapan model discovery learning untuk meningkatkan hasil belajar dasar dan pengukuran listrik kelas X TITL1 SMK Negeri 3 Singaraja. *Jurnal Pendidikan Teknik Elektro Undiksha*, 10(1), 12-18.
- Hosnan, M. (2014). *Pendekatan Saintifik dan Kontekstual dalam Pembelajaran Abad 21*. Bogor: Ghalia Indonesia.
- Joyce, B., Weil, M., & Calhoun, E. (2015). *Models of Teaching* (9th ed.). Boston: Pearson Education.
- Kemdikbud. (2013). *Peraturan Menteri Pendidikan dan Kebudayaan Nomor 70 Tahun 2013 tentang Kerangka Dasar dan Struktur Kurikulum SMK-MAK*. Jakarta: Kemdikbud.
- Mayer, R. E. (2014). *The Cambridge Handbook of Multimedia Learning* (2nd ed.). Cambridge: Cambridge University Press.
- Molenda, M. (2015). In search of the elusive ADDIE model. *Performance Improvement*, 54(2), 40-42.
- Mulyanto, D., et al. (2024). Pengembangan modul dengan model discovery learning pada mata pelajaran dasar dasar otomotif kelas X SMK. *Jurnal Teknologi Pembelajaran Vokasi Indonesia*, 7(1), 45-59.
- Pratomo, H., et al. (2025). Pengembangan e-learning untuk meningkatkan kompetensi elektrik kendaraan ringan di SMK Negeri 1 Sidoarjo. *Journal of Education Research*, 6(1), 234-248.
- Pribadi, B. A. (2016). *Desain dan Pengembangan Program Pelatihan Berbasis Kompetensi: Implementasi Model ADDIE*. Jakarta: Kencana.
- Rante Tandi, P. R. (2022). Penerapan rencana aksi menggunakan discovery learning pada pembelajaran dasar teknik ketenagalistrikan. *SMK Negeri 3 Sorong Best Practice Repository*.
- Rusman. (2017). *Belajar dan Pembelajaran Berorientasi Standar Proses Pendidikan*. Jakarta: Kencana.
- Schunk, D. H. (2012). *Learning Theories: An Educational Perspective* (6th ed.). Boston: Pearson.
- Setiawan, I., et al. (2025). Sosialisasi dan pelatihan e-learning sebagai media pembelajaran di SMK. *Jurnal Abdi Informatika*, 12(1), 78-89.
- Sugiyono. (2019). *Metode Penelitian dan Pengembangan (Research and Development/R&D)*. Bandung: Alfabeta.
- Suryani, N., Setiawan, A., & Putria, A. (2018). *Media Pembelajaran Inovatif dan Pengembangannya*. Bandung: Remaja Rosdakarya.
- Syahid, I. M., et al. (2024). Model ADDIE dan ASSURE dalam pengembangan media

pembelajaran. *Jurnal Inovasi Pendidikan dan Teknologi*, 4(2), 156-168.

Uno, H. B., & Lamatenggo, N. (2016). *Tugas Guru dalam Pembelajaran: Aspek yang Mempengaruhi*. Jakarta: Bumi Aksara.