

BAB IV

HASIL PENELITIAN DAN PEMBAHASAN

4.1. Hasil Pengembangan Produk

Pengembangan dalam penelitian ini menghasilkan produk akhir berupa E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad. Seluruh proses perwujudan produk dilaksanakan secara konsisten dengan menerapkan model pengembangan 4D yang meliputi empat tahapan utama, yaitu *Define* (Pendefinisian), *Design* (Perancangan), *Develop* (Pengembangan), dan *Disseminate* (Penyebaran) yang dibatasi pada skala ruang lingkup penyebaran terbatas. Struktur isi E-modul disusun secara sistematis meliputi bagian pendahuluan (halaman sampul, kata pengantar, daftar isi, dan petunjuk penggunaan), bagian inti yang menyajikan materi dasar kelistrikan dan elektronika (hukum dasar kelistrikan, komponen aktif-pasif, serta pengukuran) dan pemrograman dasar Arduino Uno (pengendalian I/O sederhana) yang dilengkapi rangkuman serta evaluasi di setiap akhir bab, serta bagian penutup (glosarium, daftar pustaka, dan riwayat hidup penulis).

E-modul ini dikembangkan secara digital melalui platform Heyzine Flipbook untuk menghasilkan tampilan bahan ajar infografis yang interaktif, responsif, dan menyerupai buku cetak fisik. Keunggulan utama produk ini tidak terletak pada masing-masing komponen secara terpisah, melainkan pada keterpaduan antara materi, petunjuk praktikum, latihan soal, evaluasi, dan tautan simulasi Tinkercad dalam satu kesatuan bahan ajar yang runtut. Setiap bab materi dirancang agar terhubung langsung dengan instruksi lembar kerja praktikum, yang kemudian diarahkan melalui tautan (link) menuju ruang kerja simulasi sirkuit virtual pada Tinkercad Circuits, sehingga peserta didik dapat berpindah dari memahami konsep, mengerjakan latihan soal, mempraktikkan rangkaian secara virtual, hingga mengerjakan evaluasi tanpa perlu berpindah dari satu sumber belajar ke sumber belajar lain. Integrasi inilah yang membedakan E-modul ini dari bahan ajar konvensional maupun simulasi Tinkercad yang berdiri sendiri tanpa kerangka materi pendukung. Peserta didik sebagai sasaran pengguna dapat mengakses E-modul ini secara fleksibel melalui tautan URL Heyzine yang telah dibagikan menggunakan gawai pintar (smartphone), laptop, maupun komputer. Kemandirian

belajar yang ditawarkan produk ini bersifat kondisional, karena akses terhadap ruang kerja simulasi Tinkercad tetap bergantung pada ketersediaan platform pihak ketiga tersebut, kestabilan koneksi internet, serta pemahaman awal peserta didik dalam mengoperasikan tautan dan fitur simulasi, sehingga pada tahap awal penggunaan tetap diperlukan orientasi atau pendampingan dari guru.

Produk akhir yang dihasilkan dari penelitian pengembangan ini adalah sebuah E-modul interaktif yang berfungsi sebagai bahan ajar pendukung dan panduan praktikum virtual, bukan sebagai pengganti praktikum fisik untuk mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika bagi peserta didik kelas X Teknik Mekatronika 2 di SMKN 69 Jakarta.

4.1.1. Define (Pendefinisian)

a. Analisis Awal (*Front End Analysis*)

Pada tahap analisis awal dilakukan identifikasi permasalahan yang terjadi dalam proses pembelajaran mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika Kelas X di SMKN 69 Jakarta. Langkah yang dilakukan pada tahap analisis awal yaitu menentukan capaian pembelajaran yang membutuhkan media pembelajaran, wawancara dengan guru mata pelajaran mengenai proses pembelajaran dan nilai peserta didik kelas X SMKN 69 Jakarta Tahun ajaran 2025/2026. Berikut Gambar 4.1 merupakan peta konsep Dasar-Dasar Teknik Elektronika Kelas X Teknik Mekatronika di SMKN 69 Jakarta.



Gambar 4.1. Peta Konsep Dasar-Dasar Teknik Elektronika (dokumen internal)

Berdasarkan peta konsep mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika kelas X Teknik Mekatronika di SMKN 69 Jakarta oleh Bapak Achmad Zaenudin S.Pd selaku guru pengampu mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika, materi

pembelajaran dikelompokkan ke dalam beberapa ruang lingkup utama, yaitu Konsep Dasar Kelistrikan dan Elektronika, Dasar-Dasar Gambar Teknik Elektronika, Elektronika Analog, Digital, dan Aplikasinya, Mikrokontroler dan Pemrograman Dasar, serta Sistem Kontrol Otomatis Dasar. Dari ruang lingkup materi tersebut, dilakukan pemilihan materi yang relevan untuk dikembangkan dalam E-modul berbantuan simulasi Tinkercad, khususnya materi yang memerlukan visualisasi konsep dan kegiatan praktikum virtual. Pemilihan materi ini didasarkan pada dua dasar pertimbangan yang saling melengkapi, yaitu data empiris capaian belajar peserta didik dan acuan resmi capaian pembelajaran (CP) mata pelajaran. Pertimbangan pertama bersumber dari hasil analisis capaian belajar peserta didik. Berdasarkan data nilai Ulangan Akhir Semester (UAS) Ganjil mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika kelas X Tahun Ajaran 2025/2026, sebanyak 23 dari 36 peserta didik (63,8%) memperoleh nilai di bawah Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM). Secara lebih spesifik, pada kegiatan praktikum yang mencakup materi konsep dasar listrik (arus, tegangan, dan hambatan), pengukuran menggunakan multimeter, serta rangkaian seri dan paralel, sebanyak 52,8% peserta didik juga memperoleh nilai di bawah KKM. Data ini menjadi dasar utama pemilihan materi Konsep Dasar Kelistrikan dan Elektronika serta Alat Ukur Listrik dan Elektronika sebagai fokus utama pengembangan E-modul, karena teridentifikasi sebagai area dengan capaian belajar paling rendah dan memerlukan bantuan visualisasi maupun praktikum virtual.

Pertimbangan kedua bersumber dari acuan resmi capaian pembelajaran (CP) mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika Fase E sebagaimana ditetapkan dalam Keputusan BSKAP Kemendikbudristek No. 033/H/KR/2022, khususnya elemen "Konsep Dasar Kelistrikan dan Elektronika" dan elemen "Alat Ukur Listrik, Elektronika, dan Instrumentasi". Materi pengenalan mikrokontroler dan pemrograman dasar (Arduino Uno) disertakan dalam E-modul bukan berdasarkan data masalah khusus dari hasil UAS atau praktikum, melainkan sebagai bagian dari pemenuhan elemen "Konsep Dasar Kelistrikan dan Elektronika", mengacu pada pemetaan operasional dalam Modul Ajar 5 yang disusun oleh guru pengampu mata pelajaran. Dalam Modul Ajar 5 tersebut, materi mikrokontroler dan pemrograman dasar dipetakan sebagai kelanjutan dari penguasaan konsep dasar

kelistrikan sebelum peserta didik mempelajari elektronika yang lebih kompleks. Dengan demikian cakupan materi E-modul ini terdiri atas dua kelompok dengan dasar pemilihan yang berbeda namun tetap saling terkait dalam kerangka kurikulum yang sama: (1) materi kelistrikan dasar, komponen elektronika, dan pengukuran multimeter yang dipilih berdasarkan bukti empiris capaian belajar peserta didik yang rendah; serta (2) materi pemrograman dasar Arduino Uno yang dipilih berdasarkan acuan CP resmi dan pemetaan Modul Ajar 5, tanpa diklaim sebagai respons atas data masalah belajar tertentu.

Berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika di SMK Negeri 69 Jakarta, diketahui bahwa proses pembelajaran menggunakan model pembelajaran *Problem-Based Learning* dan *Inquiry-Based Learning* yang dipadukan dengan metode ceramah, tanya jawab, serta pemberian tugas kepada peserta didik. Dalam pelaksanaannya guru menyampaikan materi menggunakan media presentasi PowerPoint dan video pembelajaran dari YouTube. Namun demikian, hasil belajar peserta didik masih menunjukkan bahwa sebagian besar peserta didik belum mencapai nilai ketuntasan.

b. Analisis Peserta Didik (*Learner Analysis*)

Pada tahap analisis peserta didik dilakukan analisis terhadap kemampuan awal, karakteristik belajar, akses perangkat, serta kemungkinan kendala yang dihadapi peserta didik kelas X TM 2 SMKN 69 Jakarta. Dari segi kemampuan awal, berdasarkan data nilai UAS dan nilai praktikum, sebagian besar peserta didik memiliki capaian hasil belajar yang belum mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) pada materi konsep dasar listrik (arus, tegangan, dan hambatan) serta keterampilan pengukuran menggunakan multimeter. Dari segi karakteristik belajar, berdasarkan wawancara dengan guru pengampu mata pelajaran, peserta didik kelas X TM 2 cenderung lebih mudah memahami materi melalui kegiatan praktik dan visualisasi langsung dibandingkan penjelasan teori semata, sehingga media pembelajaran berbasis simulasi dinilai sesuai dengan karakteristik belajar peserta didik. Dari segi akses perangkat, berdasarkan hasil observasi dan wawancara dengan guru pengampu, peserta didik telah terbiasa mengoperasikan komputer/laptop pada kegiatan praktikum di sekolah, sehingga secara umum memiliki akses yang memadai untuk membuka E-modul dan simulasi Tinkercad

selama berada di lingkungan sekolah. Meskipun demikian, terdapat kemungkinan kendala dalam penggunaan Tinkercad, yaitu keterbatasan kesempatan peserta didik untuk melakukan eksplorasi dan simulasi rangkaian listrik secara berulang di sekolah, keterbatasan akses internet apabila digunakan di luar sekolah, serta kebutuhan orientasi awal bagi peserta didik yang belum terbiasa mengoperasikan aplikasi simulasi rangkaian elektronika berbasis web. Berdasarkan hal tersebut, diperlukan media pembelajaran yang memungkinkan peserta didik untuk berlatih, bereksperimen, dan memvisualisasikan praktikum secara terstruktur, sehingga dapat membantu mengatasi keterbatasan waktu dan sarana praktikum di sekolah.

c. Analisis Konsep (*Concept Analysis*)

Pada tahap analisis konsep, dilakukan identifikasi dan pemilihan materi pada mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika kelas X yang akan dimuat dalam media pembelajaran berupa E-modul, meliputi konsep Hukum Ohm, Hukum Kirchhoff (hukum arus dan hukum tegangan), rangkaian seri, rangkaian paralel, rangkaian campuran, serta penggunaan multimeter virtual sebagai alat ukur dan pemrograman dasar mikrokontroler arduino (pengendalian I/O sederhana). Pemilihan materi didasarkan pada hasil analisis capaian belajar peserta didik, khususnya pada materi yang menunjukkan persentase ketuntasan belajar rendah atau memiliki jumlah peserta didik yang belum mencapai Kriteria Ketuntasan Minimal (KKM) relatif tinggi. Setiap konsep tersebut selanjutnya dihubungkan dengan aktivitas praktikum simulasi pada E-modul.

d. Analisis Tugas (*Task Analysis*)

Pada tahap analisis tugas, dilakukan penelaahan mengenai capaian pembelajaran yang harus di capai setelah mempelajari E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad. Pengembangan media pembelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad materi yang dipilih meliputi pengenalan komponen elektronika, konsep dasar kelistrikan (Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff), rangkaian seri, paralel, dan campuran, serta penggunaan multimeter virtual. Tugas yang harus diselesaikan peserta didik pada setiap materi meliputi: memahami konsep melalui uraian materi, ilustrasi, dan gambar rangkaian pada E-modul; melakukan simulasi rangkaian sesuai instruksi menggunakan Tinkercad, seperti merangkai rangkaian seri, paralel, dan campuran, serta

mengamati penerapan Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff; melakukan pengukuran tegangan, arus, dan hambatan menggunakan multimeter virtual, serta pengenalan pemrograman dasar. Kemudian mencatat hasil pengamatan dan mengerjakan latihan soal pada setiap bab sebagai bentuk evaluasi pemahaman terhadap konsep dan hasil praktikum simulasi yang telah dilakukan.

e. Perumusan Tujuan Pembelajaran (*Specifying Instructional Objective*)

Tujuan pembelajaran pada E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad dirumuskan sebagai berikut: peserta didik mampu mengidentifikasi hukum dasar kelistrikan serta karakteristik dan fungsi komponen elektronika aktif dan pasif; menganalisis hubungan antara tegangan, arus, dan hambatan pada rangkaian seri, paralel, dan campuran; menggunakan multimeter virtual untuk mengukur besaran listrik pada rangkaian sederhana; menyusun program dasar menggunakan Arduino Uno untuk mengendalikan input dan output (I/O) digital; serta mensimulasikan rangkaian elektronika dan program mikrokontroler pada Tinkercad Circuits untuk menguji kesesuaian antara konsep teoritis dan penerapannya dalam rangkaian nyata. E-modul dirancang untuk membantu peserta didik mencapai tujuan pembelajaran tersebut secara bertahap melalui penyajian materi yang sistematis, gambar pendukung, serta simulasi interaktif menggunakan Tinkercad yang dapat diamati dan dipraktikkan oleh peserta didik. Melalui kegiatan mengidentifikasi, menganalisis, menggunakan, menyusun, dan mensimulasikan tersebut, peserta didik dilatih untuk menghubungkan konsep teoritis dengan penerapannya dalam rangkaian elektronika sederhana maupun sistem kendali berbasis mikrokontroler. Di dalam E-modul juga disediakan latihan soal yang bertujuan untuk mengukur ketercapaian tujuan pembelajaran di atas pada setiap peserta didik. Hasil tes latihan soal dapat digunakan sebagai umpan balik untuk mengetahui ketercapaian tujuan pembelajaran serta membantu peserta didik dalam mengevaluasi kemampuan belajarnya. Dengan demikian, E-modul yang dikembangkan diharapkan dapat mendukung proses pembelajaran mandiri (*self-instructional*) sesuai dengan karakteristik E-modul.

4.1.2. Design (Desain)

Tahap *design* bertujuan untuk menyusun rancangan produk awal (*draft*) E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad sebelum dilakukan proses validasi oleh ahli. Rancangan pada tahap ini merupakan prototipe pertama yang disusun berdasarkan hasil analisis kebutuhan pada tahap *define*, dan belum melalui proses penilaian kelayakan oleh validator. Produk hasil rancangan awal inilah yang selanjutnya diajukan pada tahap *develop* untuk divalidasi oleh ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, dan ahli media, sebelum diujicobakan kepada peserta didik.

- a. Penyusunan Instrumen Kelayakan dan Respons Pengguna (padanan tahap *Criterion Test Construction* pada model 4D)

Penyusunan instrumen penilaian dilakukan untuk menganalisis kelayakan media pembelajaran yang dikembangkan. Instrumen penilaian ditujukan untuk ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, ahli media dan peserta didik.

- b. Pemilihan Media (*Media Selection*)

Pemilihan Heyzine sebagai platform penyajian E-modul didasarkan pada beberapa pertimbangan, yaitu kemampuannya mengonversi dokumen PDF menjadi *flipbook* interaktif secara gratis, kemudahan penyisipan tautan dan kode QR menuju simulasi Tinkercad, serta kemudahan akses produk akhir melalui tautan daring (URL) tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan pada perangkat peserta didik. Dengan pertimbangan tersebut, *output* media pembelajaran yang dikembangkan berupa E-modul menggunakan platform Heyzine yang dapat diakses melalui *website* <https://heyzine.com/> dengan *output* html.

- c. Pemilihan Format (*Format Selection*)

Di dalam tahap pemilihan format, produk dikembangkan mengacu kepada kaidah struktur dan penulisan modul atau E-Modul, yang terbagi menjadi bagian pendahuluan, bagian inti, dan bagian penutup. Struktur E-modul terdiri atas cover, kata pengantar, petunjuk penggunaan E-modul, daftar isi, pendahuluan, materi, rangkuman dan evaluasi pada setiap bab, glosarium, daftar pustaka, serta cover penutup berisi ringkasan keseluruhan isi E-modul.

Rangkuman dan evaluasi sengaja diletakkan pada akhir setiap bab, bukan hanya pada akhir E-modul, dengan tujuan agar peserta didik dapat langsung mengukur pemahamannya terhadap materi yang baru dipelajari sebelum melanjutkan ke bab berikutnya. Susunan bahan ajar E-modul ini juga dilengkapi sumber belajar berupa video pembelajaran yang berkaitan dengan materi, yang dapat diakses dengan memindai kode QR atau mengklik tautan yang telah disediakan. Video dan tautan dipilih sebagai media pendukung untuk memberikan variasi sumber belajar tambahan tanpa memperbesar ukuran file E-modul, sekaligus memperkuat penyampaian materi melalui kombinasi teks, gambar, dan tayangan bergerak yang relevan dengan konsep yang sedang dipelajari.

d. Membuat rancangan awal (*Initial Design*)

1) Pemilihan Aplikasi

Pada tahap perancangan awal, aplikasi yang digunakan untuk menyusun materi dalam E-modul yaitu Canva, yang nantinya dikemas dalam bentuk *flipbook* pada platform Heyzine. Canva dipilih untuk menyusun tata letak, gambar, tulisan, warna, dan jenis huruf pada setiap halaman modul. Sementara itu, Heyzine dipilih sebagai platform konversi karena mampu mengubah hasil desain E-modul menjadi format *flipbook* interaktif, sehingga peserta didik dapat membaca dan mengakses modul secara digital dengan tampilan yang menyerupai buku fisik. Melalui Heyzine, E-modul dapat dilengkapi dengan fitur navigasi yang memudahkan peserta didik berpindah halaman, mengakses materi, serta menjalankan tautan menuju simulasi praktikum Tinkercad dan media pendukung lainnya yang terintegrasi dalam modul.

2) Perancangan Desain Media

a). Menentukan Struktur E-modul

Pada tahap awal, dilakukan penyusunan struktur E-modul berdasarkan capaian pembelajaran, tujuan pembelajaran, dan materi yang telah ditentukan. Struktur E-modul meliputi halaman sampul, kata pengantar, petunjuk penggunaan, daftar isi, tujuan pembelajaran, materi pembelajaran, aktivitas praktikum menggunakan Tinkercad, evaluasi, rangkuman, glosarium, dan daftar pustaka.

b). Membuat Desain Template E-modul

Setelah struktur E-modul ditentukan, dilakukan pembuatan template menggunakan Canva. Template dirancang dengan memperhatikan prinsip keterbacaan, konsistensi tata letak, pemilihan warna, jenis huruf, serta penempatan gambar agar tampilan E-modul menarik dan mudah dipahami oleh peserta didik.

c). Menyusun Materi Pembelajaran

Materi pembelajaran yang telah disiapkan kemudian dimasukkan ke dalam template yang telah dibuat. Materi disusun mulai dari konsep dasar kelistrikan dan elektronika, meliputi hukum dasar kelistrikan, komponen aktif dan pasif, pengukuran tegangan, arus, dan hambatan; serta pengenalan dan pemrograman dasar menggunakan Arduino Uno, serta dilengkapi dengan gambar, ilustrasi, tabel, dan contoh penerapan untuk membantu pemahaman peserta didik.

d). Menambahkan Media Pendukung

Media pendukung yang ditambahkan meliputi gambar komponen elektronika, diagram rangkaian, ilustrasi alat ukur, kode QR atau tautan video pembelajaran, tautan menuju simulasi praktikum Tinkercad, serta kode QR yang mengarah langsung ke evaluasi soal. Tautan Tinkercad secara khusus disisipkan pada setiap akhir subbab materi yang membutuhkan praktikum, sehingga peserta didik dapat langsung menerapkan konsep yang baru dipelajari ke dalam simulasi rangkaian tanpa harus berpindah aplikasi secara manual.

e). Menyusun Evaluasi Pembelajaran

E-modul dilengkapi dengan latihan soal berbentuk pilihan ganda, lembar kegiatan praktikum, serta refleksi diri pada setiap akhir materi. Jenis latihan ini berfungsi sebagai evaluasi formatif yang bertujuan memberikan umpan balik kepada peserta didik terhadap pemahaman materi yang baru dipelajari. Soal pilihan ganda digunakan untuk mengecek pemahaman konsep, sedangkan uraian singkat dan lembar kegiatan praktikum digunakan agar peserta didik dapat menuliskan dan merefleksikan hasil simulasi Tinkercad yang telah dikerjakan. Latihan-latihan ini disediakan sebagai sarana

evaluasi mandiri bagi peserta didik, dan tidak dijadikan data yang dianalisis lebih lanjut dalam penelitian ini.

f). Mengekspor Desain E-modul

Setelah seluruh halaman selesai dirancang, E-modul diekspor dari Canva dalam format PDF agar dapat diproses pada tahap berikutnya.

g). Mengonversi PDF Menjadi *Flipbook* Interaktif

File PDF yang telah dibuat kemudian diunggah ke platform Heyzine untuk dikonversi menjadi *flipbook* interaktif, disertai pengaturan tampilan buku digital, navigasi halaman, serta penyisipan tautan menuju simulasi Tinkercad dan sumber belajar lainnya.

h). Melakukan Uji Tampilan dan Fungsionalitas

Tahap terakhir adalah memeriksa seluruh halaman E-modul untuk memastikan tata letak, gambar, teks, tombol navigasi, serta tautan yang terhubung ke Tinkercad dapat berfungsi dengan baik sebelum dilakukan proses validasi oleh ahli.

Adapun tabel spesifikasi produk E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad dilihat pada tabel 4.1.

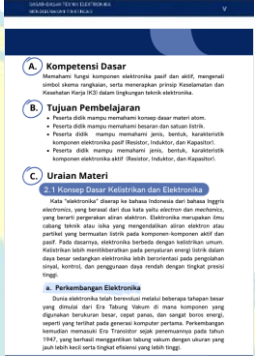
Tabel 4.1. Spesifikasi Produk E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika

No	Aspek	Deskripsi
1	Nama Produk	E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad
2	Sasaran Pengguna	Peserta didik kelas X Teknik Mekatronika SMKN 69 Jakarta
3	Materi	konsep dasar kelistrikan dan elektronika, meliputi hukum dasar kelistrikan, komponen aktif dan pasif, pengukuran tegangan, arus, dan hambatan; serta pengenalan mikrokontroler dan pemrograman dasar Arduino Uno
4	Platform	Heyzine <i>Flipbook</i> (heyzine.com)
5	Fitur Utama	Navigasi halaman interaktif, tautan dan kode QR menuju video pembelajaran dan simulasi Tinkercad, akses daring melalui URL
6	Bentuk Simulasi	Simulasi rangkaian elektronika virtual menggunakan Tinkercad
7	Jenis Evaluasi	Latihan soal pilihan ganda pada setiap akhir bab, lembar kegiatan praktikum, refleksi diri
8	Bentuk Akses	Daring melalui tautan URL Heyzine, dapat diakses kapan saja tanpa instalasi aplikasi tambahan

Adapun tampilan rancangan awal (*draft*) E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan Tinkercad, sebelum melalui proses validasi ahli, diperlihatkan pada Tabel 4.2 berikut, disertai penjelasan fungsi masing-masing bagian dalam mendukung proses pembelajaran.

Tabel 4.2. Tampilan Rancangan Awal E-modul dan Fungsinya

No.	Bagian	Fungsi dalam Pembelajaran	Tampilan
1	Cover E-modul	Menampilkan identitas produk (judul, sasaran kelas, dan mata pelajaran) agar peserta didik mengenali topik dan cakupan E-modul sejak awal.	
2	Kata Pengantar	Ucapan terima kasih kepada semua pihak yang terlibat dalam penyusunan E-modul	
3	Petunjuk Penggunaan	Menjelaskan cara mengoperasikan E-modul, termasuk cara mengakses tautan menuju Tinkercad, dan kode QR soal evaluasi pembelajaran.	
4	Daftar Isi	Membantu peserta didik menavigasi bagian-bagian E-modul secara cepat sesuai kebutuhan belajarnya	

No.	Bagian	Fungsi dalam Pembelajaran	Tampilan
5	Pendahuluan E-modul	Memberikan gambaran umum tujuan dan manfaat E-modul, serta ringkasan singkat terkait keseluruhan isi E-modul sehingga peserta didik dapat memahami konteks penggunaan modul sebelum mulai belajar.	
6	Pendahuluan tiap Bab	Memuat capaian dan tujuan pembelajaran di awal bab, agar peserta didik mengetahui target belajar sebelum mempelajari materi.	
7	Materi tiap bab	Menyajikan uraian konsep secara bertahap (dari dasar ke kompleks) yang menjadi landasan sebelum peserta didik masuk ke aktivitas praktikum.	
8	Praktikum (tautan Tinkercad)	Mengarahkan peserta didik ke simulasi rangkaian virtual untuk menerapkan konsep secara langsung dan melatih keterampilan pengukuran.	

No.	Bagian	Fungsi dalam Pembelajaran	Tampilan
9	Evaluasi tiap Bab	Mengukur ketercapaian pemahaman peserta didik terhadap materi dan hasil praktikum simulasi pada bab yang bersangkutan.	
10	Glosarium	Membantu peserta didik memahami istilah teknis yang muncul di sepanjang E-modul	
11	Daftar Pustaka	Menunjukkan sumber rujukan materi sebagai bentuk pertanggungjawaban akademik.	
12	Riwayat Penulis	Riwayat penulis berfungsi untuk memperkenalkan latar belakang dan kompetensi penulis kepada pengguna	

No.	Bagian	Fungsi dalam Pembelajaran	Tampilan
13	Cover Penutup	Merangkum keseluruhan isi E-modul sebagai penanda bahwa peserta didik telah menyelesaikan seluruh rangkaian materi.	

4.1.3. Develop (Pengembangan)

4.1.3.1. Validasi Ahli

Media pembelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad yang telah selesai dikembangkan dalam bentuk E-modul, dipublikasikan melalui platform Heyzine dalam bentuk tautan (link) halaman web yang dapat diakses peserta didik secara daring, bukan berupa berkas (file) HTML yang diberikan langsung kepada peserta didik. Langkah berikutnya yaitu melakukan validasi kepada ahli instrumen, ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, ahli media, dan angket peserta didik melalui sebuah instrumen yang berisi berbagai pernyataan untuk menilai media pembelajaran yang dikembangkan.

1. Validasi Ahli Instrumen

Validasi ahli instrumen dilakukan oleh Bapak Rafiuddin Syam, S.T., M.Eng., Ph.D. selaku dosen Teknologi Rekayasa Otomasi Fakultas Teknik Universitas Negeri Jakarta. Ahli instrumen telah melakukan validasi terhadap lembar kuesioner kelayakan ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, ahli media, dan angket peserta didik. Berdasarkan hasil penilaian, seluruh instrumen dinyatakan layak digunakan sebagai alat pengumpulan data penelitian. Ahli instrumen menyatakan bahwa setiap butir pernyataan telah sesuai dengan indikator yang diukur, menggunakan bahasa yang jelas dan mudah dipahami, serta memiliki kesesuaian dengan tujuan penelitian. Oleh karena itu, instrumen kelayakan ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, ahli media, dan angket respons peserta didik dapat digunakan.

2. Validasi Ahli Materi

Validasi ahli materi dilakukan oleh Bapak Achmad Zaenudin S.Pd. selaku guru mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika kelas X SMKN 69 Jakarta. Dalam pelaksanaan validasi media pembelajaran menggunakan kuesioner yang terdiri dari 18 butir pertanyaan dengan 4 aspek penilaian yang dapat dilihat pada tabel 4.3.

Tabel 4.3. Persentase Kelayakan Ahli Materi

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Aspek materi kesesuaian	3,7	15	16	93,7%
2	Aspek materi penyajian	3,8	25	28	89,3%
3	Aspek materi kesesuaian dengan aktivitas praktikum dan simulasi Tinkercad	3,5	14	16	87,5%
4	sistematika penyajian	3,3	10	12	83,3%
Persentase Keseluruhan			64	72	88,9%

Berdasarkan Tabel 4.3, aspek dengan skor tertinggi adalah aspek kesesuaian materi (93,7%), yang menunjukkan bahwa materi yang disajikan telah sesuai dengan kompetensi, tujuan pembelajaran, dan kebutuhan pengguna. Sementara itu, aspek dengan skor terendah adalah sistematika penyajian (83,3%). Skor yang relatif rendah pada aspek ini sejalan dengan catatan perbaikan yang diberikan validator. Dilakukan revisi berupa perubahan urutan sub-bab pada Bab III menjadi: 1) Hukum Dasar Kelistrikan; 2) Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran; 3) Pengenalan Multimeter; 4) Multimeter Virtual pada Tinkercad, serta penambahan materi Besaran dan Satuan Listrik pada Bab II dan penjelasan cara membaca nilai resistor. Secara keseluruhan, hasil validasi ahli materi memperoleh persentase kelayakan sebesar 88,9% yang termasuk dalam kategori sangat layak dari segi keakuratan dan penyajian konsep elektronika. Perlu dicatat bahwa kategori sangat layak ini merupakan hasil kuantitatif dari skor kuesioner dan tidak menggugurkan kebutuhan revisi; perbaikan tetap dilakukan berdasarkan catatan kualitatif validator sebagaimana diuraikan di atas.

3. Revisi Validasi ahli Materi

Hasil sebelum dan setelah perbaikan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad ditunjukkan pada Tabel 4.4.

Tabel 4.4. Revisi untuk Ahli Materi

Tampilan Sebelum Perbaikan

C. Uraian Materi

2.1 Pendahuluan Elektronika

(Tidak ada di E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad sebelum perbaikan)

Tampilan Setelah Perbaikan

C. Uraian Materi

2.1 Konsep Dasar Kelistrikan dan Elektronika

d. Besaran dan Satuan Listrik

Besaran adalah segala sesuatu yang dapat diukur dinyatakan dengan angka atau nilai pasti serta memiliki satuan. Besaran dan satuan yang sering dipakai pada rangkaian elektronika mengikuti standar yang disebut SI (Système International d'Unités) atau Standar Internasional. Contoh besaran dan satuan sesuai SI dapat dilihat pada tabel 2.1 berikut:

Tabel 2.1. Besaran dan Satuan dalam SI

Besaran	Satuan	Simbol
Tegangan	Volt	V
Arus Listrik	Ampere	A
Hambatan/Resistansi	Ohm	Ω
Konduktansi	Siemens	S
Kapasitansi	Farad	F
Muatan Listrik	Coulomb	C
Induktansi	Henry	H
Daya Listrik	Watt	W
Impedansi	Ohm	Ω
Frekuensi	Hertz	Hz
Energi	Joule	J

Dalam kehidupan sehari-hari, besaran-besaran tersebut dapat ditemukan pada berbagai peralatan listrik. Misalnya adaptor atau charger telepon seluler umumnya memiliki keluaran 5 Volt, aki sepeda motor memiliki tegangan 12 Volt, lampu pijar atau lampu LED memiliki daya tertentu yang tertera pada kemasannya seperti 5 Watt atau 10 Watt, sedangkan konsumsi listrik rumah dihitung dalam satuan kWh. Selain itu, nilai hambatan dapat ditemukan pada resistor yang digunakan dalam praktik elektronika di laboratorium atau bengkel sekolah. Dengan memahami besaran dan satuan listrik siswa dapat membaca spesifikasi peralatan listrik serta melakukan pengukuran dan analisis rangkaian dengan lebih mudah.

Selain satuan, ada pula awalan SI yang digunakan untuk membentuk sebuah satuan berkelipatan dari satuan tersebut. Berikut tabel awalan SI.

Tabel 2.2. Awalan Satuan SI

Prefix	Simbol	Desimal	10^x
Tera	T	1.000.000.000.000	10^{12}
Giga	G	1.000.000.000	10^9
Mega	M	1.000.000	10^6
Kilo	k	1.000	10^3
Tidak ada	Tidak ada	1	10^0
Seni	c	0,01	10^{-2}
Mili	m	0,001	10^{-3}

Perhatikan contoh penulisan satuan berikut.

1kV = 1 kilovolt = 1.000 Volt

1mA = 1 miliampere = 0,001 Ampere

1M Ω = 1 megahm = 1.000.000 Ohm

Dari tabel 2.3 berikut merupakan pengertian dari setiap jenis resistor:

- Resistor Nilai Tetap merupakan resistor yang nilai resistansinya tidak dapat diubah yang tertulis pada badan resistor dengan menggunakan kode warna dan kode angka.
- Resistor Variabel adalah jenis resistor yang nilai resistansinya dapat berubah dan diatur sesuai dengan keinginan.
- Termistor (Thermal Resistor) adalah jenis resistor yang nilai

Dari tabel 2.5 berikut merupakan pengertian dari tiap jenis kapasitor:

- Kapasitor Nilai Tetap adalah kapasitor yang memiliki nilai konstan atau tidak berubah-ubah.
- Kapasitor Polar adalah kapasitor yang termasuk kapasitor nilai tetap, tetapi memiliki polaritas. Karena itu kapasitor ini disebut kapasitor polar. Kapasitor ini merupakan kapasitor elektrolit yang memiliki polaritas kutub positif (+) dan kutub negatif (-).
- Kapasitor Variabel adalah kapasitor yang nilai kapasitasnya dapat berubah-ubah dan juga dapat diatur

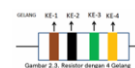
Berikut merupakan cara membaca nilai resistor dengan kode warna.

Warna-warna tersebut memiliki keterangan berikut.

Tabel 2.4. Warna Gelang Resistor

Warna	Angka 1	Angka 2	Pengali	Toleransi	Ketahanan Panas
Brown	1	0	1	1%	100 ppm
Red	2	1	1	2%	100 ppm
Orange	3	2	100	3%	100 ppm
Yellow	4	3	10	5%	100 ppm
Green	5	4	1000	0,25%	25 ppm
Blue	6	5	10K	0,025%	
Violet	7	6	100K		
Black	8	7			
Gold	9	8		5%	
Silver				10%	

Cara pembacaan resistor dengan empat gelang dapat di lihat pada tabel berikut.



- Gelang 1: coklat = 1
 - Gelang 2: hitam = 0
 - Gelang 3: merah = 2
 - Gelang 4: emas = 5%
- Nilai nominal resistor TR0 adalah: TR = $10 \times 100.000 \pm 5\% \text{ TR} = 1.000.000 \text{ Ohm} (\pm 5\%)$

(Tidak ada di E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad sebelum perbaikan)

(Tidak ada di E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad sebelum perbaikan)

Tampilan Sebelum Perbaikan



BAB III Alat Ukur dan Hukum Dasar Kelistrikan.....	32
A. Kompetensi Dasar.....	33
B. Tujuan Pembelajaran.....	33
C. Uraian Materi.....	33
3.1. Pengenalan Multimeter.....	33
3.2. Multimeter Virtual Pada Tinkercad.....	36
3.3. Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff.....	41
3.4. Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran.....	45
D. Rangkuman.....	49

Tampilan Setelah Perbaikan



BAB III Alat Ukur dan Hukum Dasar Kelistrikan.....	40
A. Kompetensi Dasar.....	41
B. Tujuan Pembelajaran.....	41
C. Uraian Materi.....	41
3.1. Hukum Dasar Kelistrikan.....	41
a. Hukum Ohm.....	41
b. Hukum Kirchhoff.....	43
3.2. Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran.....	45
a. Rangkaian Seri.....	45
b. Rangkaian Paralel.....	46
c. Rangkaian Campuran.....	49
3.3. Pengenalan Multimeter.....	49
a. Definisi Multimeter.....	50
b. Fungsi Multimeter.....	50
c. Jenis Multimeter.....	52
3.4. Multimeter Virtual Pada Tinkercad.....	52
a. Interface multimeter virtual.....	53
b. Mode Voltmeter (Pengukuran Tegangan).....	54
c. Mode Amperemeter (Pengukuran Arus).....	55
d. Mode Ohmmeter (Pengukuran Hambatan).....	56
D. Rangkuman.....	57
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	61

4. Validasi Ahli Desain Instruksional

Validasi ahli desain instruksional dilakukan oleh Bapak M. Noeharyono, S.Pd., M.Pd. selaku dosen Pendidikan Tata Busana Universitas Negeri Jakarta. Dalam pelaksanaan validasi ahli desain instruksional menggunakan kuesioner yang terdiri dari 20 butir pertanyaan dengan 5 aspek penilaian yang dapat dilihat pada tabel 4.5.

Tabel 4.5. Persentase Kelayakan Ahli Desain Instruksional

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Tujuan Pembelajaran	3,75	15	16	93,7%
2	Kesesuaian materi dengan tujuan	3,7	11	12	91,7%
3	Strategi dan aktivitas pembelajaran	3,5	14	16	87,5%
4	Integrasi praktikum	3,3	15	16	93,7%
5	Evaluasi dan Alur Pembelajaran	3,8	19	20	95,0%
Persentase Keseluruhan			74	80	92,5%

Berdasarkan Tabel 4.5, aspek dengan skor tertinggi adalah evaluasi dan alur pembelajaran (95,0%), yang menunjukkan bahwa bentuk soal evaluasi dan urutan penyajian materi pada E-modul telah dirancang secara runtut dan

sesuai dengan tujuan pembelajaran. Sementara itu, aspek dengan skor terendah adalah strategi dan aktivitas pembelajaran (87,5%). Skor yang relatif lebih rendah pada aspek ini sejalan dengan catatan perbaikan yang diberikan validator, yaitu daftar isi pada rancangan awal E-modul belum mencantumkan sub-bab secara rinci, sehingga alur dan tahapan aktivitas pembelajaran di setiap bab belum tergambar secara jelas bagi peserta didik. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan revisi berupa penyusunan daftar isi yang lebih rinci dengan mencantumkan seluruh sub-bab dan poin aktivitas pembelajaran di setiap bab. Secara keseluruhan, hasil validasi ahli desain instruksional memperoleh persentase kelayakan sebesar 92,5% yang termasuk dalam kategori sangat layak dari segi alur dan strategi pembelajaran. Sebagaimana pada validasi ahli materi, kategori sangat layak ini tidak menghilangkan kebutuhan revisi; perbaikan tetap dilakukan sesuai masukan validator di atas.

5. Revisi validasi ahli desain instruksional

Hasil sebelum dan setelah perbaikan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad ditunjukkan pada Tabel 4.6.

Tabel 4.6. Revisi untuk Ahli Desain Instruksional

Tampilan Sebelum Perbaikan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
PETAJALAN PENGUNJUNG.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
PENDAHULUAN.....	iv
BAB I Tinkercad Sebagai Laboratorium Virtual.....	v
A. Kompetensi Dasar.....	v
B. Tujuan Pembelajaran.....	v
C. Urutan Materi.....	v
1.1. Pengantar Tinkercad.....	v
1.2. Fungsi Tinkercad.....	v
1.3. Pembuatan Rangkaian di Tinkercad.....	v
B. Rangkaian.....	v
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	v
F. Evaluasi.....	v
BAB II Pengantar Elektronika & Komponen Dasar.....	vi
A. Kompetensi Dasar.....	vi
B. Tujuan Pembelajaran.....	vi
C. Urutan Materi.....	vi
2.1. Pendahuluan Elektronika.....	vi
2.2. Konsep Dasar Kelistrikan dan Kaidah Kaidah.....	vi
D. Rangkaian.....	vi
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	vi
F. Evaluasi.....	vi
BAB III Alat Ukur dan Hukum Dasar Kelistrikan.....	vii
A. Kompetensi Dasar.....	vii
B. Tujuan Pembelajaran.....	vii
C. Urutan Materi.....	vii
3.1. Pengantar Multimeter.....	vii
3.2. Multimeter Virtual Pada Tinkercad.....	vii
3.3. Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff.....	vii
3.4. Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran.....	vii
D. Rangkaian.....	vii

DAFTAR ISI TINGKERCAD
MENGENAL TINKERCAD

iii

DAFTAR ISI

E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	50
F. Evaluasi.....	50
BAB IV Mikrokontroler dan Kaidah Digital (Arduino Uno).....	51
A. Kompetensi Dasar.....	51
B. Tujuan Pembelajaran.....	51
C. Urutan Materi.....	51
4.1. Pengantar Mikrokontroler Arduino Uno.....	51
4.2. Arduino Uno di Tinkercad.....	51
4.3. Struktur Utama Program Arduino.....	51
4.4. Perintah Dasar Pengendali Digital.....	51
D. Rangkaian.....	51
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	51
F. Evaluasi.....	51
GLOSARIUM.....	52
DAFTAR PUSTAKA.....	53

DAFTAR ISI TINGKERCAD
MENGENAL TINKERCAD

iv

Tampilan Setelah Perbaikan

DAFTAR ISI

KATA PENGANTAR.....	i
PETAJALAN PENGUNJUNG.....	ii
DAFTAR ISI.....	iii
PENDAHULUAN.....	iv
BAB I Tinkercad Sebagai Laboratorium Virtual.....	v
A. Kompetensi Dasar.....	v
B. Tujuan Pembelajaran.....	v
C. Urutan Materi.....	v
1.1. Pengantar Tinkercad.....	v
1.2. Fungsi Tinkercad.....	v
1.3. Pembuatan Rangkaian di Tinkercad.....	v
B. Rangkaian.....	v
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	v
F. Evaluasi.....	v
BAB II Pengantar Elektronika & Komponen Dasar.....	vi
A. Kompetensi Dasar.....	vi
B. Tujuan Pembelajaran.....	vi
C. Urutan Materi.....	vi
2.1. Pendahuluan Elektronika.....	vi
2.2. Konsep Dasar Kelistrikan dan Kaidah Kaidah.....	vi
D. Rangkaian.....	vi
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	vi
F. Evaluasi.....	vi
BAB III Alat Ukur dan Hukum Dasar Kelistrikan.....	vii
A. Kompetensi Dasar.....	vii
B. Tujuan Pembelajaran.....	vii
C. Urutan Materi.....	vii
3.1. Pengantar Multimeter.....	vii
3.2. Multimeter Virtual Pada Tinkercad.....	vii
3.3. Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff.....	vii
3.4. Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran.....	vii
D. Rangkaian.....	vii

DAFTAR ISI TINGKERCAD
MENGENAL TINKERCAD

iii

DAFTAR ISI

2.2. Komponen Elektronika Dasar.....	24
A. Komponen Pasif.....	24
B. Komponen Elektronika Aktif.....	24
D. Rangkaian.....	24
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	24
Praktikum 2: Analisis Rangkaian Tertutup dan Tertutup.....	24
Praktikum 3: Penalaran sebagai Komponen Pasif.....	24
Praktikum 4: Simulasi Sistem Kontrol Lampu.....	24
F. Evaluasi.....	24
BAB IV Alat Ukur dan Hukum Dasar Kelistrikan.....	24
A. Kompetensi Dasar.....	24
B. Tujuan Pembelajaran.....	24
C. Urutan Materi.....	24
4.1. Hukum Dasar Kelistrikan.....	24
4.2. Rangkaian Seri, Paralel, dan Campuran.....	24
4.3. Rangkaian Campuran.....	24
4.4. Rangkaian Multimeter.....	24
4.5. Definisi Multimeter.....	24
4.6. Fungsi Multimeter.....	24
4.7. Jenis Multimeter.....	24
4.8. Multimeter Virtual Pada Tinkercad.....	24
4.9. Interface multimeter virtual.....	24
4.10. Mode Voltmeter (Pengukuran Tegangan).....	24
4.11. Mode Amperemeter (Pengukuran Arus).....	24
4.12. Mode Ohmmeter (Pengukuran Hambatan).....	24
D. Rangkaian.....	24
E. Praktikum Berbasis Tinkercad.....	24

DAFTAR ISI TINGKERCAD
MENGENAL TINKERCAD

iv

DAFTAR ISI

Praktikum 5: Pengukuran (V, I, R) Rangkaian Seri.....	27
Praktikum 6: Pengukuran (V, I, R) Rangkaian Paralel.....	27
Praktikum 7: Pengukuran (V, I, R) Rangkaian Campuran.....	27
F. Evaluasi.....	27
BAB V Mikrokontroler dan Kaidah Digital (Arduino Uno).....	27
A. Kompetensi Dasar.....	27
B. Tujuan Pembelajaran.....	27
C. Urutan Materi.....	27
5.1. Pengantar Mikrokontroler Arduino Uno.....	27
5.2. Arduino Uno di Tinkercad.....	27
5.3. Struktur Utama Program Arduino.....	27
5.4. Perintah Dasar Pengendali Digital.....	27
5.5. Perintah digitalWrite(), digitalWrite(), dan digitalWriteFast().....	27
5.6. Perintah pinMode(), mode.....	27
5.7. Perintah digitalWrite(), digitalWriteFast(), dan digitalWriteFast().....	27
5.8. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.9. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.10. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.11. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.12. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.13. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.14. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.15. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.16. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.17. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.18. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.19. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.20. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.21. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.22. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.23. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.24. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.25. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.26. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.27. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.28. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.29. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.30. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.31. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.32. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.33. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.34. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.35. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.36. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.37. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.38. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.39. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.40. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.41. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.42. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.43. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.44. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.45. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.46. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.47. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.48. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.49. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.50. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.51. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.52. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.53. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.54. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.55. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.56. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.57. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.58. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.59. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.60. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.61. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.62. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.63. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.64. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.65. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.66. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.67. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.68. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.69. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.70. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.71. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.72. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.73. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.74. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.75. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.76. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.77. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.78. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.79. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.80. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.81. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.82. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.83. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.84. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.85. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.86. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.87. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.88. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.89. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.90. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.91. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.92. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.93. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.94. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.95. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.96. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.97. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.98. Perintah digitalWriteFast().....	27
5.99. Perintah digitalWriteFast().....	27
6.00. Perintah digitalWriteFast().....	27

DAFTAR ISI TINGKERCAD
MENGENAL TINKERCAD

iv

6. Validasi Ahli Bahasa

Validasi ahli bahasa dilakukan oleh Bapak Sardana Raharja, S.Pd selaku Guru Bahasa Indonesia di SMAN 102 Jakarta. Dalam pelaksanaan validasi bahasa menggunakan kuesioner yang terdiri dari 20 butir pertanyaan dengan 5 aspek penilaian yang dapat dilihat di tabel 4.7.

Tabel 4.7. Persentase Kelayakan Ahli Bahasa

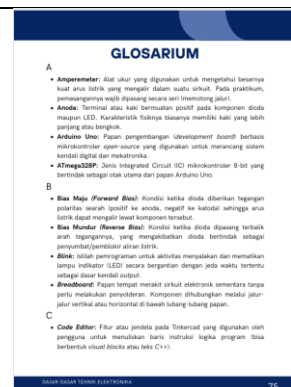
No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Keterbacaan	3,2	13	16	81,2%
2	Kejelasan informasi	3,7	15	16	93,7%
3	Kaidah bahasa	3,5	14	16	87,5%
4	Konsistensi bahasa	3,5	14	16	87,5%
5	Kesesuaian dengan peserta didik	3,5	14	16	87,5%
Persentase Keseluruhan			70	80	87,5%

Berdasarkan Tabel 4.7, aspek dengan skor tertinggi adalah kejelasan informasi (93,7%), yang menunjukkan bahwa informasi dalam E-modul telah tersampaikan secara jelas kepada peserta didik. Sementara itu, aspek dengan skor terendah adalah keterbacaan (81,2%). Skor rendah pada aspek ini sejalan dengan catatan perbaikan yang diberikan validator, yaitu jenis dan ketebalan *font* pada E-modul yang belum konsisten, sehingga memengaruhi kenyamanan membaca peserta didik. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan revisi berupa penyesuaian penggunaan bahasa dengan kaidah EYD, perbaikan tanda baca, serta penyeragaman jenis dan ketebalan *font* di seluruh halaman E-modul. Secara keseluruhan, hasil validasi ahli bahasa memperoleh persentase kelayakan sebesar 87,5% yang termasuk dalam kategori sangat layak dari segi kebahasaan, dan perbaikan tetap dilakukan berdasarkan catatan kualitatif validator sebagaimana disebutkan di atas, terlepas dari kategori kelayakan yang telah dicapai.

7. Revisi Validasi ahli bahasa

Hasil sebelum dan setelah perbaikan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad ditunjukkan pada tabel 4.8.

Tabel 4.8. Revisi untuk Ahli Bahasa
Tampilan Sebelum Perbaikan



Tampilan Setelah Perbaikan



Dalam dunia elektronika, aliran listrik memerlukan jalur yang pasti agar dapat bekerja. Kondisi jalur ini sangat menentukan apakah sebuah perangkat elektronik, seperti lampu, dapat berfungsi atau tidak. Kita mengenal dua kondisi utama dalam jalur listrik ini:

sedikit pun. Dalam kondisi ini, arus listrik memiliki jalur yang utuh untuk mengalir dari sumber tegangan (positif), melewati beban (seperti lampu), dan kembali lagi ke kutub negatif. Hasilnya, energi listrik dapat disalurkan dengan baik dan lampu akan menyala.

Dunia elektronika telah berevolusi melalui beberapa tahapan besar yang dimulai dari Era Tabung Vakum, di mana komponen yang digunakan berukuran besar, cepat panas, dan sangat boros energi, seperti yang terlihat pada generasi komputer pertama. Perkembangan

menyebabkan dunia elektronika mencapai Era Modern (VLSI & Nanoelektronika)

Dalam dunia elektronika aliran listrik memerlukan jalur yang pasti agar dapat bekerja. Kondisi jalur ini sangat menentukan apakah sebuah perangkat elektronik seperti lampu dapat berfungsi atau tidak. Kita mengenal dua kondisi utama dalam jalur listrik ini:

sedikit pun. Arus listrik memiliki jalur yang utuh untuk mengalir dari sumber tegangan (positif) melewati beban (seperti lampu) dan kembali lagi ke kutub negatif. Hasilnya energi listrik dapat disalurkan dengan baik dan lampu akan menyala.

Dunia elektronika telah berevolusi melalui beberapa tahapan besar yang dimulai dari Era Tabung Vakum di mana komponen yang digunakan berukuran besar, cepat panas, dan sangat boros energi, seperti yang terlihat pada generasi komputer pertama. Perkembangan

hingga akhirnya mencapai Era Modern (VLSI & Nanoelektronika)

8. Validasi Ahli Media

Validasi ahli media dilakukan oleh Ibu Resti Utami, M.Pd selaku dosen Teknologi Pendidikan Universitas Negeri Jakarta. Dalam pelaksanaan validasi media pembelajaran menggunakan kuesioner yang terdiri dari 20 butir pertanyaan dengan 5 aspek yang dapat dilihat di tabel 4.9.

Tabel 4.9. Persentase Kelayakan Ahli Media

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Tampilan Media	3,75	15	16	93,75%
2	Keterbacaan Visual	3,5	14	16	87,5%
3	Kemudahan penggunaan	3,5	14	16	87,5%
4	Integrasi media dengan praktikum	3,5	14	16	87,5%
5	Konsistensi&Kesesuaian Media	4	16	16	100%
Persentase Keseluruhan			73	80	91,2%

Berdasarkan Tabel 4.9, aspek dengan skor tertinggi adalah konsistensi dan kesesuaian media (100%), yang menunjukkan bahwa tata letak, warna, dan elemen visual pada E-modul telah diterapkan secara seragam di seluruh

halaman. Sementara itu, aspek keterbacaan visual, kemudahan penggunaan, dan integrasi media dengan praktikum memperoleh skor yang relatif lebih rendah dibanding aspek lain (masing-masing 87,5%). Skor tersebut sejalan dengan catatan perbaikan yang diberikan validator, yaitu petunjuk penggunaan yang belum sesuai, sehingga memengaruhi kemudahan peserta didik dalam mengoperasikan E-modul. Berdasarkan temuan tersebut, dilakukan revisi berupa penyempurnaan konsistensi desain, perbaikan petunjuk penggunaan, serta penambahan profil pengembang. Secara keseluruhan, hasil validasi ahli media memperoleh persentase kelayakan sebesar 91,2% yang termasuk dalam kategori sangat layak dari segi tampilan dan fungsionalitas media, dan sebagaimana pada bidang validasi lainnya, kategori tersebut tidak menggugurkan revisi yang telah dilakukan berdasarkan catatan validator.

9. Revisi Validasi Ahli Media

Hasil sebelum dan setelah perbaikan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad ditunjukkan pada Tabel 4.10.

Tabel 4.10. Revisi untuk Ahli Media

Tampilan Sebelum Perbaikan	Tampilan Setelah Perbaikan
 (Tidak ada di E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad sebelum perbaikan)	

Hasil validasi ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, dan ahli media di atas menunjukkan bahwa produk E-modul yang dikembangkan telah

memenuhi kelayakan secara teoritik, baik dari segi keakuratan dan sistematika materi, alur serta strategi pembelajaran, kaidah dan keterbacaan bahasa, maupun tampilan dan fungsionalitas media, sesuai dengan bidang keahlian masing-masing validator. Perlu ditegaskan bahwa setiap bidang validasi (materi, desain instruksional, bahasa, dan media) hanya dinilai oleh satu orang validator ahli pada bidang tersebut, sehingga hasil penilaian ini merepresentasikan penilaian profesional individual pada masing-masing bidang keahlian, bukan merupakan konsensus atau kesepakatan bersama antar-ahli. Penilaian tersebut diperoleh melalui kajian teoritis dan pertimbangan profesional masing-masing validator terhadap rancangan produk sebelum diujicobakan kepada peserta didik, sehingga hasilnya mencerminkan kelayakan produk dari sudut pandang keilmuan dan praktik pendidikan sesuai bidang keahlian validator yang bersangkutan. Meskipun keempat bidang validasi memperoleh kategori sangat layak, perbaikan tetap dilakukan pada setiap bidang berdasarkan catatan kualitatif dari masing-masing validator sebagaimana telah diuraikan, sehingga kategori kelayakan yang tinggi tidak menggugurkan kebutuhan revisi. Dengan demikian, hasil validasi ahli ini menjadi dasar yang memadai bagi produk yang telah direvisi sesuai masukan tiap validator untuk dilanjutkan ke tahap uji coba.

4.1.3.2 Uji coba pengembangan

Uji validasi ahli sudah dilakukan, langkah selanjutnya yaitu tahap uji coba produk kepada peserta didik. Uji coba dilakukan melalui uji coba perorangan yang melibatkan 3 peserta didik, uji coba kelompok kecil yang melibatkan 9 peserta didik, dan uji coba kelompok besar 24 peserta didik. Uji coba dilakukan dengan peserta didik kelas X TM 2 di SMKN 69 Jakarta. Instrumen penilaian untuk peserta didik mengacu pada 5 aspek yaitu: 1) Persepsi terhadap kejelasan materi; 2) Praktikum Tinkercad; 3) Ketertarikan dan persepsi motivasi belajar; 4) Kemenarikan; 5) Kemudahan Penggunaan. Untuk aspek persepsi terhadap kejelasan materi dan aspek ketertarikan dan persepsi motivasi belajar pada instrumen ini bersifat angket respons/persepsi peserta didik terhadap pemahaman dan motivasi belajarnya sendiri, bukan hasil pengukuran objektif seperti nilai tes, sehingga interpretasi kedua aspek tersebut sepanjang bagian ini dibatasi sebagai gambaran persepsi peserta didik.

Hal pertama yang dilakukan peserta didik adalah membuka *link* Heyzine yang telah diberikan dan mempelajari E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika Menggunakan Tinkercad. Peserta didik kemudian mengakses setiap bagian modul mulai dari pendahuluan, materi pembelajaran, contoh rangkaian, hingga kegiatan praktikum yang terintegrasi dengan simulasi Tinkercad. Hasil uji coba menunjukkan bahwa E-modul dapat diakses dengan baik melalui perangkat komputer maupun smartphone yang dimiliki peserta didik. Kendala yang muncul pada tahap penggunaan E-modul yaitu kecepatan akses yang dipengaruhi oleh kualitas jaringan internet, terutama saat membuka halaman yang memuat video atau tautan menuju simulasi Tinkercad. Selain itu, beberapa peserta didik memerlukan waktu untuk beradaptasi dengan navigasi pada platform Heyzine dan penggunaan fitur simulasi pada Tinkercad.

1. Hasil Uji Coba *One to One*

Uji coba dilakukan 3 peserta didik kelas X TM 2 SMKN 69 Jakarta dengan ketentuan 1 peserta didik yang memiliki riwayat rata-rata nilai tertinggi, 1 peserta didik dengan riwayat rata-rata nilai pas KKM, dan 1 peserta didik dengan riwayat nilai terendah. Pemilihan ketiga peserta didik tersebut dilakukan berdasarkan data nilai UAS dan nilai praktikum yang direkomendasikan oleh guru mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika, sehingga ketiganya dapat mewakili kemampuan tinggi, sedang, dan rendah di kelas X TM 2. Persentase kelayakan *one to one* dapat dilihat pada Tabel 4.11.

Tabel 4.11. Persentase Kelayakan *One to One*

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Persepsi terhadap kejelasan materi	3,2	9,7	12	80,8%
2	Praktikum Tinkercad	3,2	9,7	12	80,8%
3	Ketertarikan dan persepsi motivasi belajar	3,3	10	12	83,3%
4	Kemenarikan	3,2	10	12	83,3%
5	Kemudahan Penggunaan	3,5	28	32	87,5%
Persentase Keseluruhan			67,4	80	84,2%

Berdasarkan Tabel 4.11, hasil uji coba perorangan memperoleh rata-rata persentase kelayakan sebesar 84,2%, yang termasuk dalam kategori sangat layak, meskipun merupakan hasil terendah di antara ketiga tahap uji coba yang dilakukan. Aspek dengan skor tertinggi adalah kemudahan penggunaan (87,5%), sedangkan aspek dengan skor terendah adalah persepsi terhadap kejelasan materi dan praktikum Tinkercad (masing-masing 80,8%). Skor yang relatif rendah pada kedua aspek tersebut sejalan dengan kendala yang ditemukan pada tahap ini, yaitu ketiga peserta didik baru pertama kali menggunakan E-modul dan simulasi Tinkercad tanpa arahan penggunaan sebelumnya, sehingga sebagian waktu digunakan untuk beradaptasi dengan navigasi platform Heyzine dan fitur simulasi. Selain itu, ditemukan kendala ada beberapa link dalam E-modul tidak berfungsi serta karena uji coba dilakukan secara perorangan, peserta didik tidak memiliki teman untuk berdiskusi atau saling membantu ketika mengalami kendala, sehingga proses adaptasi berlangsung lebih lambat dibandingkan pada uji coba berikutnya. Temuan ini menjadi catatan penting dalam penelitian ini: kendala yang dialami peserta didik pada uji coba *one to one* justru muncul karena peserta didik tidak memperoleh arahan penggunaan sebelumnya. Temuan ini mengindikasikan bahwa E-modul yang dikembangkan belum sepenuhnya bersifat *self-instructional*, karena peserta didik tanpa pendampingan awal masih mengalami kesulitan dalam mempelajari dan mengoperasikannya secara mandiri, sehingga tetap diperlukan orientasi atau pendampingan pada tahap awal penggunaan. Temuan pada tahap ini selanjutnya digunakan sebagai bahan evaluasi untuk penyempurnaan produk serta penyusunan arahan penggunaan yang lebih terstruktur sebelum pelaksanaan uji coba kelompok kecil.

2. Hasil Uji Coba *Small Group*

Uji coba dilakukan dengan 9 peserta didik kelas X TM 2 SMKN 69 Jakarta yang berbeda dari peserta didik pada uji coba perorangan. Persentase kelayakan *small group* dapat dilihat pada Tabel 4.12

Tabel 4.12. Persentase Kelayakan *Small Group*

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Persepsi terhadap kejelasan materi	3,8	11,6	12	96,7%
2	Praktikum Tinkercad	3,9	11,7	12	97,5%
3	Ketertarikan dan persepsi motivasi belajar	3,9	11,7	12	97,5%
4	Kemenarikan	3,9	11,8	12	98,3%
5	Kemudahan Penggunaan	3,5	28,4	32	88,7%
Persentase Keseluruhan			75,2	80	94%

Berdasarkan Tabel 4.12, hasil uji coba kelompok kecil memperoleh persentase kelayakan sebesar 94%, menunjukkan peningkatan angka persentase dibandingkan hasil uji coba perorangan (84,2%). Peningkatan angka ini perlu dimaknai secara hati-hati karena tidak dilakukan uji statistik untuk menguji kebermaknaan perbedaan tersebut, serta kedua tahap uji coba melibatkan peserta didik yang berbeda, sehingga kenaikan angka tidak dapat dikaitkan dengan proses pembiasaan pada individu yang sama. Kenaikan persentase kelayakan pada tahap *small group* diduga berkaitan dengan beberapa faktor. Pertama, E-modul telah mengalami penyempurnaan berdasarkan temuan dan kendala yang muncul pada tahap uji *coba one to one*, yaitu beberapa tautan yang tidak berfungsi telah diperbaiki, sehingga hambatan teknis yang sebelumnya ditemui dapat diminimalkan sebelum produk diujicobakan kepada kelompok berikutnya. Kedua, berdasarkan pembelajaran dari tahap sebelumnya, peserta didik pada uji coba kelompok kecil diberikan arahan dan orientasi penggunaan E-modul serta simulasi Tinkercad yang lebih terstruktur sebelum kegiatan dimulai. Ketiga, uji coba kelompok kecil memungkinkan peserta didik untuk saling berdiskusi dan membantu satu sama lain dalam kelompok ketika mengalami kendala, sesuatu yang tidak dimungkinkan pada uji coba perorangan. Dengan demikian, kenaikan angka persentase kelayakan pada tahap *small group* diduga berkaitan dengan revisi produk, arahan penggunaan yang lebih jelas, dan interaksi/diskusi dalam kelompok, meskipun keterkaitan ini bersifat dugaan berdasarkan pengamatan kualitatif dan bukan hasil pengujian statistik.

3. Hasil Uji *Field Test*

Uji coba dilakukan dengan 24 peserta didik kelas X TM 2 SMKN 69 Jakarta yang berbeda dari peserta didik pada uji coba perorangan maupun uji coba kelompok kecil. Persentase kelayakan *field test* dapat dilihat pada Tabel 4.13.

Tabel 4.13. Persentase Kelayakan *Field Test*

No.	Aspek Penilaian	Rerata Skor	Hasil Skor	Skor Maksimum	Persentase
1	Persepsi terhadap kejelasan materi	3,5	10,6	12	88,3%
2	Praktikum Tinkercad	3,5	10,7	12	89,2%
3	Ketertarikan dan persepsi motivasi belajar	3,6	10,9	12	90,8%
4	Kemenarikan	3,6	10,8	12	90,0%
5	Kemudahan Penggunaan	3,7	30	32	93,7%
Persentase Keseluruhan			73	80	91,2%

Berdasarkan Tabel 4.13, hasil uji coba lapangan memperoleh rata-rata persentase kelayakan sebesar 91,2%, yang termasuk dalam kategori sangat layak, meskipun sedikit lebih rendah dibandingkan hasil uji coba *small group* (94%). Perlu digarisbawahi bahwa perbedaan ini bukan disebabkan oleh peserta didik yang sama menjadi kurang terbiasa, melainkan karena karakteristik kelompok pada tahap ini berbeda: jumlah peserta didik jauh lebih banyak (24 orang) dan memiliki tingkat kemampuan awal yang lebih beragam dibandingkan kelompok kecil yang jumlahnya lebih sedikit dan lebih homogen. Aspek dengan skor tertinggi adalah kemudahan penggunaan (93,7%), menunjukkan bahwa setelah melalui penyempurnaan pada tahap-tahap sebelumnya, E-modul dinilai semakin mudah dioperasikan oleh peserta didik meskipun diujicobakan pada kelompok yang lebih besar dan lebih beragam. Sementara itu, aspek dengan skor terendah adalah Persepsi terhadap kejelasan materi (88,3%). Skor yang relatif lebih rendah pada aspek ini kemungkinan disebabkan oleh keragaman kemampuan awal peserta didik yang lebih tinggi pada kelompok besar. Meskipun demikian, seluruh aspek pada uji coba lapangan tetap berada pada kategori sangat layak.

4.1.4. *Disseminate (Penyebaran) Terbatas*

Tahap Disseminate dalam penelitian ini dilakukan secara terbatas setelah produk melalui validasi ahli dan uji coba peserta didik, serta setelah pelaksanaan

sidang skripsi. Penyebaran media pembelajaran dilakukan pada tanggal 13 Juli 2026 secara daring dalam bentuk tautan (link) halaman web Heyzine, yang disebarluaskan melalui grup WhatsApp kelas X Teknik Mekatronika 2 SMKN 69 Jakarta oleh guru pengampu mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika. Melalui tautan tersebut, peserta didik kelas X TM 2 dapat mengakses E-modul melalui web browser pada perangkat masing-masing.

Kegiatan *disseminate* pada penelitian ini hanya membuktikan bahwa tautan E-modul dapat berhasil didistribusikan dan diakses oleh peserta didik melalui perangkat masing-masing, bukan untuk mengukur dampak penggunaan produk terhadap hasil belajar maupun keberterimaan produk secara luas. *Disseminate* pada penelitian ini bersifat terbatas, karena penyebaran hanya dilakukan kepada satu kelas, yaitu peserta didik kelas X TM 2 SMKN 69 Jakarta, melalui satu guru pengampu dan satu grup WhatsApp, sehingga belum menjangkau kelas lainnya, sekolah, atau khalayak yang lebih luas.

4.2. Pembahasan

Pengembangan produk dalam penelitian ini menghasilkan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad yang disajikan melalui platform Heyzine. Produk dikembangkan menggunakan model 4D yang terdiri atas tahap *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate* terbatas. Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini adalah E-modul digital yang mengintegrasikan materi pembelajaran, petunjuk praktikum, latihan soal, evaluasi pembelajaran, serta tautan simulasi Tinkercad yang digunakan sebagai simulasi rangkaian dan diintegrasikan ke dalam E modul. Berdasarkan hasil validasi ahli dan uji coba peserta didik, produk yang dikembangkan memperoleh kategori sangat layak sebagai media pendukung pembelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika.

Hasil validasi ahli materi memperoleh persentase sebesar 88,9% dengan kategori sangat layak. Persentase tersebut menunjukkan bahwa materi yang disajikan dalam E-modul telah sesuai dengan capaian pembelajaran mata pelajaran Dasar-Dasar Teknik Elektronika serta memiliki ketepatan konsep yang baik. Aspek tertinggi diperoleh pada kesesuaian materi sebesar 93,7%, yang menunjukkan bahwa materi sudah relevan dengan kebutuhan pembelajaran peserta didik kelas X Teknik Mekatronika. Sementara itu, aspek terendah terdapat pada sistematika

penyajian materi sebesar 83,3%. Temuan tersebut menunjukkan bahwa meskipun materi telah sesuai, masih diperlukan perbaikan dalam urutan penyajian materi agar lebih sistematis. Oleh karena itu dilakukan revisi berupa penambahan pembahasan besaran dan satuan listrik, perbaikan urutan penyajian materi, serta penambahan penjelasan mengenai cara membaca nilai resistor agar materi lebih mudah dipahami oleh peserta didik.

Hasil Validasi ahli desain instruksional memperoleh persentase sebesar 92,5% dengan kategori sangat layak. Skor tertinggi terdapat pada aspek evaluasi dan alur pembelajaran (95%), yang menunjukkan bahwa struktur besar E-modul, mulai dari tujuan hingga evaluasi, sudah tersusun secara logis. Namun, skor terendah terdapat pada aspek strategi dan aktivitas pembelajaran (87,5%), yang menunjukkan bahwa meskipun alur besar sudah baik, kejelasan strategi dan aktivitas belajar di dalamnya masih perlu diperjelas. Hal ini sejalan dengan revisi yang diberikan ahli, yaitu penambahan sub-bab pada daftar isi agar alur capaian pembelajaran lebih runtut dan strategi pembelajaran lebih mudah diikuti peserta didik.

Hasil validasi ahli bahasa memperoleh persentase sebesar 87,5% dengan kategori sangat layak. Hasil ini menunjukkan bahwa bahasa yang digunakan dalam E-modul telah sesuai dengan kaidah Bahasa Indonesia dan dapat dipahami oleh peserta didik kelas X SMK. Aspek yang memperoleh nilai terendah adalah keterbacaan sebesar 81,2%. Hal ini menunjukkan bahwa permasalahan utama bukan terletak pada isi informasi yang disampaikan, melainkan pada kenyamanan membaca, konsistensi penggunaan huruf, tanda baca, dan penyusunan kalimat. Berdasarkan masukan ahli bahasa dilakukan perbaikan ejaan, tanda baca, konsistensi istilah teknis elektronika, serta penyederhanaan beberapa kalimat agar lebih mudah dipahami peserta didik.

Hasil validasi ahli media memperoleh persentase sebesar 91,2% dengan kategori sangat layak. Hasil tersebut menunjukkan bahwa E-modul memiliki tampilan visual, navigasi, dan fungsionalitas yang baik sebagai media pembelajaran digital. Aspek tampilan media memperoleh penilaian tinggi karena desain visual, pemilihan warna, tata letak, serta ilustrasi yang digunakan dinilai menarik dan sesuai dengan karakteristik peserta didik SMK. Namun demikian, aspek

keterbacaan visual, kemudahan penggunaan, dan integrasi media dengan praktikum masih memerlukan perhatian lebih lanjut. Pada aspek integrasi media dengan praktikum diperoleh nilai sebesar 87,5%. Oleh karena itu dilakukan penyempurnaan navigasi, perbaikan konsistensi tampilan halaman, serta pengecekan kembali seluruh tautan simulasi agar dapat diakses dengan lebih mudah oleh peserta didik.

Secara keseluruhan hasil validasi ahli menunjukkan bahwa produk yang dikembangkan telah memenuhi aspek kelayakan teoritik. Meskipun demikian, hasil validasi ahli tidak dapat digunakan sebagai bukti bahwa E-modul mampu meningkatkan hasil belajar peserta didik. Validasi ahli hanya menunjukkan bahwa produk telah layak digunakan berdasarkan penilaian para ahli dari aspek materi, desain instruksional, bahasa, dan media.

Hasil uji coba peserta didik pada tahap *one to one* memperoleh persentase sebesar 84,2% dengan kategori sangat layak. Nilai ini merupakan hasil terendah dibandingkan tahap uji coba lainnya. Kondisi tersebut dapat dipahami karena peserta didik baru pertama kali menggunakan E-modul berbasis Heyzine dan simulasi Tinkercad. Pada tahap ini peserta didik masih beradaptasi dengan navigasi media, cara mengakses simulasi, serta penggunaan fitur-fitur yang tersedia. Selain itu ditemukan beberapa tautan yang belum berfungsi secara optimal sehingga dilakukan revisi sebelum produk diujicobakan pada tahap berikutnya. Hasil ini menunjukkan pentingnya pengujian awal dalam pengembangan media digital untuk mengidentifikasi kendala teknis sebelum digunakan secara lebih luas.

Setelah dilakukan revisi berdasarkan hasil *one to one*, persentase pada tahap *small group* meningkat menjadi 94% dengan kategori sangat layak. Peningkatan tersebut sejalan dengan perbaikan yang dilakukan pada produk, termasuk perbaikan tautan dan navigasi, serta pemberian arahan penggunaan yang lebih jelas kepada peserta didik pada tahap *small group*. Selain itu, interaksi antar peserta didik dalam kelompok diduga turut berkontribusi, karena memungkinkan mereka saling berdiskusi ketika mengalami kesulitan dalam mengoperasikan simulasi maupun memahami materi yang disajikan.

Pada tahap *field test* diperoleh persentase sebesar 91,2% dengan kategori sangat layak. Nilai ini sedikit lebih rendah dibandingkan hasil *small group*.

Penurunan tersebut dapat disebabkan oleh jumlah peserta didik yang lebih banyak sehingga karakteristik pengguna menjadi lebih beragam. Selain itu terdapat perbedaan kemampuan akademik, perangkat yang digunakan, serta kualitas koneksi internet yang dimiliki masing-masing peserta didik. Persepsi peserta didik terhadap kejelasan materi berdasarkan hasil angket memperoleh nilai terendah sebesar 88,3%. Mengingat jumlah peserta pada tahap ini jauh lebih banyak (24 peserta didik) dibandingkan tahap *small group*, dengan kemampuan awal, jenis perangkat, serta kualitas koneksi internet yang lebih beragam. Kondisi tersebut memengaruhi pengalaman peserta didik saat mengakses materi dan simulasi sehingga skor persepsi terhadap kejelasan materi relatif lebih rendah dibandingkan aspek kemudahan penggunaan. Perlu ditegaskan bahwa skor-skor tersebut merupakan persepsi subjektif peserta didik yang diperoleh melalui angket respons pengguna, bukan hasil pengukuran objektif terhadap tingkat pemahaman atau motivasi belajar peserta didik.

Tahap *disseminate* dalam penelitian ini dilakukan secara terbatas, yaitu berupa penyebaran tautan E-modul kepada guru mata pelajaran yang kemudian diteruskan melalui grup WhatsApp kelas X Teknik Mekatronika 2 SMKN 69 Jakarta. Tahap ini menunjukkan bahwa produk akhir yang telah dinyatakan layak berdasarkan validasi ahli dan uji coba pengguna telah diberikan akses kepada pihak-pihak terkait untuk digunakan dalam pembelajaran. Meskipun demikian, pelaksanaan *disseminate* secara terbatas ini hanya membuktikan bahwa produk telah tersedia dan dapat diakses oleh pengguna, bukan merupakan bentuk uji efektivitas produk dalam skala luas maupun bukti bahwa produk telah meningkatkan hasil belajar peserta didik secara nyata di lapangan.

Dari sisi teknis elektronika, integrasi simulasi Tinkercad ke dalam E-modul memungkinkan peserta didik mempraktikkan konsep Hukum Ohm dan Hukum Kirchhoff melalui rangkaian seri, paralel, dan campuran secara virtual, mengamati perubahan arus dan tegangan secara real-time, serta menggunakan multimeter virtual untuk mengukur besaran listrik tanpa risiko kerusakan komponen fisik selama latihan simulasi. Kemampuan ini relevan dengan karakteristik materi Dasar-Dasar Teknik Elektronika Fase E yang menekankan pemahaman konsep dasar kelistrikan sekaligus keterampilan penggunaan alat ukur.

Meskipun demikian, simulasi Tinkercad memiliki keterbatasan yang perlu disadari. Tinkercad hanya merepresentasikan kondisi rangkaian secara virtual yang relatif ideal, sehingga tidak dapat menggambarkan kondisi non-ideal yang lazim ditemukan pada praktik laboratorium fisik, seperti kabel longgar, kesalahan penyusunan pada *breadboard*, keterbatasan atau kesalahan pembacaan multimeter fisik, toleransi nilai komponen, kesalahan pemasangan polaritas, maupun gangguan teknis lain yang bersifat nyata. Dengan demikian, penggunaan E-modul berbantuan Tinkercad ini merupakan sarana pengenalan dan latihan awal sebelum peserta didik melakukan praktik pada komponen fisik, bukan pengganti penuh dari kegiatan praktikum di laboratorium.

Hasil penelitian ini juga dapat dibandingkan secara kritis dengan penelitian terdahulu. Penelitian yang dilakukan oleh Wicaksono dan Handayani (2024) yang berjudul "*Pengembangan Modul Praktikum Listrik Dinamis Arus Searah Berbasis Tinkercad*" memiliki kemiripan dari sisi penggunaan Tinkercad sebagai media simulasi, namun berbeda dari sisi jenjang pendidikan dan cakupan materi, karena penelitian tersebut berfokus pada topik listrik dinamis arus searah tanpa mengintegrasikan materi mikrokontroler seperti pada E-modul ini.

Penelitian oleh Admutia dan Samala (2024) yang berjudul "*Pengembangan E-Jobsheet Pada Pembelajaran Mikroprosesor dan Mikrokontroler Berbantu Tinkercad*" memiliki kedekatan dari sisi cakupan materi mikrokontroler, namun berbeda dari sisi jenis produk (E-Jobsheet, bukan E-modul *flipbook*) dan jenjang subjek uji coba. Validasi materi (88%) dan media (91%) pada penelitian tersebut relatif sebanding dengan hasil penelitian ini, namun instrumen kepraktisan yang digunakan (82%, dari sisi peserta didik) berbeda konsepnya dengan respons peserta didik pada penelitian ini yang tidak diklaim sebagai uji kepraktisan formal.

Penelitian oleh Krisyo dkk. (2024) yang berjudul "*Pengembangan Modul Pembelajaran Digital Berbasis Tinkercad Pada Mata Kuliah Aplikasi Mikrokontroler*" memiliki kesamaan model pengembangan berbasis simulasi Tinkercad, tetapi berbeda jenjang pendidikan (mahasiswa, bukan peserta didik SMK) dan model pengujian coba (kelompok kecil dan besar, bukan bertahap *one to one-small group-field test*). Validasi isi (93%) dan media (96%) pada penelitian tersebut sedikit lebih tinggi dibanding penelitian ini, yang kemungkinan

dipengaruhi oleh perbedaan karakteristik subjek antara mahasiswa dan peserta didik SMK.

Berdasarkan keseluruhan pembahasan tersebut, dapat disimpulkan bahwa E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad layak digunakan sebagai media pendukung pembelajaran, berdasarkan validasi kelayakan teoritik dari ahli materi, ahli desain instruksional, ahli bahasa, dan ahli media, serta tingkat respons yang baik dari peserta didik pada tahap *one to one*, *small group*, dan *field test*. Meskipun demikian, hasil penelitian ini belum dapat diklaim sebagai bukti bahwa E-modul meningkatkan hasil belajar, meningkatkan motivasi belajar, maupun meningkatkan keterampilan praktikum nyata peserta didik. Dengan demikian, kelayakan yang dinyatakan dalam penelitian ini terbatas pada aspek kelayakan produk untuk digunakan, bukan pada aspek dampaknya terhadap capaian belajar peserta didik.

4.2.1 Faktor Pendukung dan Penghambat

Beberapa faktor mendukung kelancaran pengembangan E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad. Ketersediaan materi Dasar-Dasar Teknik Elektronika yang telah tersusun dalam capaian pembelajaran kurikulum memudahkan proses penyusunan konten E-modul secara sistematis. Dukungan guru mata pelajaran turut mempercepat proses identifikasi kebutuhan materi maupun karakteristik peserta didik karena guru memiliki pemahaman langsung terhadap kondisi peserta didik kelas X Teknik Mekatronika 2. Dari sisi teknis, platform Heyzine menjadi faktor pendukung karena dapat menyajikan E-modul dalam bentuk *flipbook* digital yang dapat diakses melalui tautan menggunakan *web browser* tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. Fitur simulasi Tinkercad *Circuits* juga turut mendukung pengembangan produk karena mampu memfasilitasi simulasi rangkaian elektronika secara interaktif tanpa memerlukan instalasi perangkat lunak tambahan maupun penggunaan komponen elektronika fisik. Selain itu, karakteristik peserta didik kelas X Teknik Mekatronika 2 yang diteliti, yang cenderung lebih responsif terhadap visualisasi konkret dibandingkan penjelasan teoritis semata, turut memperkuat relevansi pengembangan media berbasis simulasi ini. Karakteristik ini teramati dari respons peserta didik selama uji coba, namun tidak dimaksudkan sebagai generalisasi

terhadap karakteristik peserta didik SMK secara keseluruhan, mengingat subjek penelitian ini terbatas pada satu kelas di satu satuan pendidikan.

Adapun faktor penghambat dari pengembangan media pembelajaran berupa E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad yaitu koneksi internet yang tidak stabil menjadi hambatan utama karena baik platform Heyzine maupun simulasi Tinkercad sama-sama memerlukan akses internet yang memadai. Kondisi tersebut berdampak langsung pada kelancaran peserta didik dalam membuka E-modul, mengakses materi, memutar video pembelajaran, maupun menjalankan simulasi rangkaian. Akses Tinkercad juga lebih nyaman digunakan melalui laptop atau komputer dibandingkan smartphone karena keterbatasan ukuran layar mempersulit peserta didik dalam menyusun dan menghubungkan komponen rangkaian secara presisi.

Selain itu, perlu ditegaskan bahwa E-modul yang dikembangkan dalam penelitian ini belum dilengkapi mekanisme kontrol yang dapat memastikan peserta didik benar-benar melaksanakan simulasi Tinkercad secara mandiri. Tanpa adanya lembar kerja praktikum atau bukti hasil simulasi (seperti tangkapan layar rangkaian atau hasil pengukuran) yang wajib dikumpulkan, produk ini tidak dapat memverifikasi apakah peserta didik benar-benar menjalankan simulasi sesuai instruksi ataupun sekadar melewati tautan simulasi tanpa mengerjakannya. Oleh karena itu, penggunaan E-modul ini dalam praktiknya perlu disertai pemantauan guru secara langsung serta kewajiban pengumpulan lembar kerja atau bukti hasil simulasi, agar pelaksanaan praktikum virtual dapat dipastikan berjalan sesuai dengan tujuan pembelajaran. Keterbatasan ini menjadi catatan penting bagi pengembangan maupun implementasi E-modul serupa di masa mendatang.

4.2.2. Kekuatan dan Kelemahan Produk

Kekuatan produk E-modul Dasar-Dasar Teknik Elektronika berbantuan simulasi Tinkercad yaitu bukan sekadar tampilan *flipbook* atau kelengkapan fitur, melainkan integrasi antara materi, petunjuk praktikum, membuka simulasi rangkaian, melakukan pengukuran virtual, dan mengerjakan evaluasi dalam satu media pembelajaran. Integrasi ini memberikan dampak pedagogis penting, karena peserta didik tidak hanya membaca konsep teori secara tekstual, tetapi juga dapat langsung melihat hubungan antara konsep tersebut dengan simulasi rangkaian

virtual. Kemampuan memvisualisasikan konsep abstrak semacam ini menjadi kekuatan pedagogis utama, karena mendukung visualisasi konsep sesuai karakteristik produk yang dikembangkan, yang sebelumnya sulit dibayangkan hanya melalui penjelasan verbal atau gambar statis.

Dari sisi teknis, E-modul dapat diakses melalui berbagai perangkat seperti laptop, komputer, maupun *smartphone* yang terhubung dengan internet, serta disajikan dalam bentuk *flipbook* yang dapat dibuka langsung melalui tautan Heyzine tanpa memerlukan instalasi aplikasi tambahan. E-modul turut mengintegrasikan materi pembelajaran dengan simulasi virtual menggunakan Tinkercad, sehingga peserta didik dapat melakukan praktikum virtual dan memandu proses eksplorasi rangkaian tanpa memerlukan komponen elektronika fisik. Selain itu, E-modul memuat berbagai komponen pembelajaran seperti teks, gambar, video, latihan soal, dan tautan simulasi yang saling mendukung satu sama lain, serta dapat digunakan sebagai bahan belajar mandiri maupun sebagai pendamping pembelajaran di kelas.

Adapun kelemahan produknya yaitu penggunaan E-modul dan simulasi Tinkercad memerlukan koneksi internet yang stabil, dan beberapa fitur interaktif memerlukan waktu pemuatan yang lebih lama apabila jaringan internet kurang mendukung. Praktikum virtual menggunakan Tinkercad juga hanya optimal diakses melalui komputer atau laptop, karena penggunaan perangkat seperti *smartphone* dapat mengurangi kenyamanan peserta didik dalam merancang, menghubungkan, dan mengamati komponen pada simulasi rangkaian elektronika. Produk ini juga belum tersedia dalam versi luring (*offline*), sehingga sepenuhnya bergantung pada akses internet setiap kali digunakan.

Selain kelemahan teknis tersebut, E-modul ini belum menyertakan rubrik penilaian praktikum untuk mengukur ketepatan peserta didik dalam menyusun rangkaian, membaca alat ukur, mencatat data, menganalisis hasil, hingga menarik kesimpulan. Produk ini juga belum diuji efektivitasnya terhadap peningkatan hasil belajar peserta didik melalui *pretest*, *posttest*, maupun uji statistik, belum mengukur peningkatan keterampilan merakit komponen secara nyata di laboratorium fisik, belum diuji retensi pemahamannya dalam jangka waktu tertentu, serta belum dibandingkan dengan media sejenis untuk mengetahui keunggulan relatifnya. Di

sisi lain, simulasi virtual pada Tinkercad tetap tidak dapat sepenuhnya menggantikan pengalaman praktikum fisik, karena peserta didik masih membutuhkan interaksi langsung dengan komponen riil serta pemahaman atas kondisi non-ideal di lapangan.

Namun, keberadaan kelemahan dan batasan teknis maupun substansial tersebut tidak lantas membuat produk E-modul ini menjadi tidak layak. Kelemahan-kelemahan ini justru mempertegas batasan penelitian sekaligus menjadi landasan mendasar bagi pengembangan produk di masa mendatang. Berdasarkan kelemahan tersebut, beberapa rekomendasi perbaikan dapat dipertimbangkan untuk pengembangan produk lebih lanjut, di antaranya menambahkan video tutorial singkat cara penggunaan E-modul dan Tinkercad, memperjelas petunjuk login akun Tinkercad bagi pengguna baru, menambahkan soal latihan berbasis masalah (*problem-based*) agar peserta didik lebih terlatih menerapkan konsep, menambahkan rubrik penilaian praktikum yang lebih terstruktur, serta menyediakan file PDF cadangan sebagai alternatif akses apabila platform Heyzine sewaktu-waktu tidak dapat dibuka.

