

BAB 1

PENDAHULUAN

1.1. Latar Belakang Masalah

Pendidikan kejuruan merupakan jalur pendidikan yang bertujuan mempersiapkan peserta didik untuk siap kerja sesuai dengan kompetensi keahlian yang mereka tekuni. Salah satu program keahlian strategis di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) adalah Teknik Pemesinan, yang menjadi tulang punggung dalam dunia industri manufaktur. Mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) menjadi fondasi penting bagi peserta didik untuk memahami prinsip dasar dalam proses produksi, penggunaan alat ukur, teknik pemotongan, serta pengoperasian mesin.

Perkembangan teknologi digital menuntut dunia pendidikan untuk terus berinovasi, termasuk dalam penyajian materi pembelajaran berbasis teknologi. Pada mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) di SMK, materi yang bersifat praktik membutuhkan dukungan media digital yang interaktif dan aplikatif. Di SMK Negeri 2 Medan, sebagian besar proses pembelajaran masih mengandalkan media konvensional seperti buku teks dan penjelasan verbal, yang kurang menarik dan tidak interaktif bagi siswa generasi digital.

Namun, kenyataan di lapangan menunjukkan bahwa pembelajaran PDTM di beberapa SMK, termasuk SMK Negeri 2 Medan, masih mengandalkan pendekatan konvensional yang bersifat tekstual dan instruksional satu arah. Guru lebih banyak menggunakan papan tulis dan buku cetak, sementara siswa kesulitan memvisualisasikan proses kerja mesin yang kompleks dan memerlukan pengalaman praktik langsung. Situasi ini mengakibatkan rendahnya pemahaman konseptual siswa dan lemahnya kesiapan praktik mereka di bengkel kerja. Hal ini sejalan dengan temuan dari Suryana (2020) yang menyatakan bahwa keterbatasan media pembelajaran praktik di SMK berdampak pada kurang optimalnya capaian kompetensi siswa.

Di era digital saat ini, integrasi teknologi informasi dan komunikasi (TIK) dalam proses pembelajaran menjadi keniscayaan. Kementerian Pendidikan dan Kebudayaan juga mendorong transformasi digital dalam pendidikan melalui program

Merdeka Belajar, salah satunya dengan pemanfaatan media digital berbasis web sebagai alternatif media ajar interaktif. Media pembelajaran berbasis web memiliki keunggulan dalam fleksibilitas akses, integrasi multimedia (teks, gambar, animasi, video, dan simulasi), serta kemampuan untuk diakses kapan pun dan di mana pun (Heinich et al., 2019). Melalui media ini, siswa dapat belajar secara mandiri dan memahami proses kerja mesin secara visual dan interaktif, yang sangat cocok untuk karakteristik pembelajaran kejuruan.

Menurut Arsyad (2021), media pembelajaran memiliki peran penting dalam meningkatkan kualitas proses belajar-mengajar, terutama dalam menyampaikan informasi secara visual dan interaktif. Oleh karena itu, pengembangan media digital berbasis web sangat relevan untuk mendukung pembelajaran PDTM yang bersifat prosedural dan praktis. Media berbasis web juga memungkinkan akses fleksibel kapan saja dan di mana saja, sesuai dengan prinsip pembelajaran digital abad 21 (Sezer, 2022).

Keterbatasan sumber daya dalam lingkungan pendidikan seringkali menjadi hambatan utama dalam mencapai tujuan pembelajaran yang efektif dan optimal. Kondisi ini diperparah oleh kurangnya kemampuan pengajar dalam memanfaatkan teknologi sebagai media pembelajaran, yang seharusnya dapat meningkatkan kualitas pengajaran. Menurut Hanum (2014), pengembangan media pembelajaran berbasis digital dapat menjadi solusi untuk mengatasi keterbatasan ini, dengan menyediakan akses yang lebih fleksibel dan bervariasi bagi siswa. Selain itu, Muntu (2017) menekankan pentingnya pelatihan bagi guru dalam menggunakan media digital untuk memastikan implementasinya berjalan lancar dan dapat disesuaikan dengan kebutuhan pendidikan saat ini. Namun, keterbatasan waktu yang dimiliki oleh guru dan siswa juga sering kali menjadi masalah lain yang menghambat proses pembelajaran. Januarisman dan Ghufro (2016) mengungkapkan bahwa pembelajaran berbasis digital dapat membantu mengatasi masalah waktu dengan memungkinkan siswa belajar secara mandiri dan tidak terbatas oleh jam sekolah. Kesimpulannya, keterbatasan sumber daya, baik dari segi kemampuan guru maupun waktu, dapat diminimalisir melalui pengembangan dan penerapan media pembelajaran berbasis digital, sehingga mendorong terciptanya lingkungan belajar yang lebih adaptif dan efisien.

Menghadapi kurangnya minat siswa dan keterbatasan infrastruktur di sekolah, pengembangan media pembelajaran berbasis digital menjadi semakin relevan. Penyediaan materi pembelajaran digital yang menarik dan interaktif dapat meningkatkan minat siswa untuk belajar. Sebagai contoh, penelitian oleh Muntu (2017) menunjukkan bahwa penggunaan media berbasis digital dalam simulasi digital telah berhasil meningkatkan keinginan siswa untuk berpartisipasi aktif dalam pembelajaran. Namun, kurangnya dukungan dari sekolah dan keterbatasan infrastruktur, seperti koneksi internet yang tidak memadai, masih menjadi kendala serius yang perlu diatasi. Hanum (2014) menyoroti pentingnya investasi dari pihak sekolah untuk memperbaiki infrastruktur ini agar penggunaan teknologi dapat diimplementasikan secara optimal. Sebagai tambahan, evaluasi yang kurang memadai juga menghambat penilaian keberhasilan penerapan teknologi dalam pembelajaran. Untuk itu, perlu adanya sistem evaluasi yang berkelanjutan dan terintegrasi guna memastikan bahwa penggunaan media berbasis digital benar-benar membawa dampak positif. Secara keseluruhan, untuk mengatasi berbagai masalah utama tersebut, penguatan dalam hal infrastruktur, dukungan institusi, dan metode evaluasi menjadi kunci utama dalam menciptakan proses pembelajaran yang efektif dan berkelanjutan.

Keterbatasan sumber daya pembelajaran di SMK Negeri 2 Medan terutama disebabkan oleh kurangnya penggunaan teknologi dalam kelas XI program keahlian teknik pemesinan. Dalam konteks pendidikan modern, integrasi teknologi dalam proses pembelajaran sangat krusial untuk menunjang pengalaman belajar yang efektif dan menarik bagi siswa. Menurut Prof. Dr. Zainal A. Hasibuan, pembelajaran berbasis teknologi dapat meningkatkan kualitas pendidikan melalui penyampaian materi yang lebih variatif dan interaktif. Meski demikian, aplikasi teknologi dalam pembelajaran belum dioptimalkan, sebagian akibat minimnya infrastruktur dan dukungan teknis di lembaga pendidikan. Kurangnya motivasi belajar siswa juga sering kali dipicu oleh metode pembelajaran konvensional yang tidak menarik dan stagnan. Dengan demikian, diperlukan transformasi media pembelajaran untuk meningkatkan keterlibatan siswa secara aktif dalam kegiatan belajar.

Paradigma baru dalam pengajaran dan pembelajaran di SMK Negeri 2 Medan ini membutuhkan dukungan penuh dari tenaga pengajar, yang saat ini mengalami

keterbatasan kemampuan dalam memanfaatkan fasilitas digital. Dr. Sri Sulastri dalam penelitiannya mengenai media pembelajaran berbasis digital menekankan perlunya pelatihan dan pengembangan kompetensi guru untuk memfasilitasi integrasi teknologi ke dalam kurikulum. Selain itu, waktu pembelajaran yang terbatas secara langsung menghambat pencapaian target kurikulum dan pengembangan keterampilan siswa. Ir. Sutrisno, M.T. menegaskan pentingnya efisiensi dalam teknik pemesinan dengan memanfaatkan teknologi digital sebagai solusi mempercepat proses pembelajaran sekaligus meningkatkan hasil belajar siswa. Kesimpulannya, optimalisasi penggunaan teknologi dalam pendidikan dan peningkatan kapasitas guru merupakan kunci keberhasilan pembelajaran di era digital saat ini.

Meskipun terdapat beberapa studi yang membahas tema serupa, masing-masing memiliki perspektif yang sedikit berbeda yang menjadi perbedaan mendasar dengan penelitian yang saat ini akan dilakukan. Studi Arief (2019) lebih menekankan pada aspek proses belajar, sedangkan penelitian ini fokus pada pengembangan media yang spesifik untuk mata pelajaran teknik pemesinan di SMK. Sutrisno (2017) dalam karyanya tentang teknik pemesinan lebih menitikberatkan pada aspek praktis dari teknik ini, sedangkan penelitian ini diarahkan pada integrasi teknologi digital dalam proses pembelajaran. Penelitian terdahulu secara umum telah menjawab sebagian dari problematika keterbatasan pembelajaran di lingkungan sekolah kejuruan, namun kajian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi baru dengan lebih menekankan pengembangan media berbasis digital yang terpusat pada kelas Teknik Pemesinan di sekolah kejuruan, serta mengatasi gap teknologi yang dihadapi oleh para pengajar. Dengan berfokus pada penerapan praktis di kelas, penelitian ini ingin memberikan solusi konkret terhadap tantangan yang telah diidentifikasi dalam studi-studi sebelumnya, terutama dalam meningkatkan kapasitas dan keterampilan guru serta siswa di era digital.

Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan media pembelajaran dasar teknik mesin yang berbasis digital dengan harapan dapat menciptakan sarana belajar mengajar yang lebih modern dan efektif, sehingga pada akhirnya dapat meningkatkan hasil belajar siswa dalam bidang teknik pemesinan. Meningkatnya hasil belajar ini diharapkan dapat dicapai melalui penggunaan media digital yang tidak hanya memberikan akses yang lebih fleksibel dan bervariasi, tetapi juga

mampu memotivasi siswa dalam mengeksplorasi materi pembelajaran dengan lebih mendalam, tanpa dibatasi oleh waktu dan lokasi. Mengingat tantangan pendidikan di era digital yang menuntut integrasi teknologi dalam proses belajar mengajar, urgensi pengembangan media pembelajaran berbasis digital ini semakin nyata agar tidak terjadi ketertinggalan dari segi pemanfaatan teknologi pendidikan. Di samping itu, penelitian ini penting dilakukan untuk menjawab kebutuhan saat ini, di mana lembaga pendidikan dituntut untuk mengadopsi metode pembelajaran yang adaptif dan relevan dengan perkembangan zaman. Signifikansi lainnya terletak pada kontribusinya dalam mengatasi gap teknologi yang sering kali dihadapi oleh para pengajar, dengan menyediakan panduan dan pelatihan yang diperlukan untuk memaksimalkan penggunaan media digital dalam pengajaran. Selain memberikan solusi konkret terhadap kendala yang telah dipaparkan pada penelitian terdahulu, penelitian ini juga berpotensi untuk diterapkan secara lebih luas dalam berbagai mata pelajaran di lingkungan sekolah kejuruan, sehingga memberikan manfaat yang berkelanjutan dalam meningkatkan kapasitas dan keterampilan baik bagi guru maupun siswa di masa depan. Melalui penelitian ini, diharapkan tercipta pendekatan baru dalam pembelajaran teknik pemesinan yang tidak hanya bersifat teoritis tetapi juga dapat diterapkan secara praktis dengan dukungan teknologi digital.

Melihat kebutuhan tersebut, penting untuk mengembangkan media pembelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin berbasis digital web yang dirancang secara sistematis dan berbasis kebutuhan siswa kelas XI Teknik Pemesinan di SMK Negeri 2 Medan. Media ini tidak hanya akan memvisualisasikan konsep secara interaktif, tetapi juga menyediakan fitur evaluasi mandiri, latihan soal, dan video demonstrasi proses kerja mesin.

Dengan demikian, penelitian ini diharapkan dapat menjawab tantangan pembelajaran teknik mesin di era digital, serta memberikan kontribusi nyata dalam meningkatkan mutu pendidikan vokasi melalui inovasi media ajar berbasis digital.

1.2. Identifikasi Masalah

Ada berbagai permasalahan yang dapat dikenali dari persoalan yang nampak pada mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) dikelas XI Teknik Pemesina, antara lain sebagai berikut:

1. Pembelajaran mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) di SMK Negeri 2 Medan masih didominasi oleh penggunaan media pembelajaran konvensional seperti buku teks dan penjelasan verbal dari guru, yang kurang mendukung pemahaman siswa terhadap materi praktik dan prosedural.
2. Materi PDTM memerlukan visualisasi prosedur kerja dan penggunaan mesin yang kompleks. Namun, keterbatasan media ajar membuat siswa kesulitan membayangkan dan memahami konsep-konsep teknik dasar, karena belum tersedia media berbasis video, simulasi, atau animasi.
3. Belum banyak guru yang mengembangkan media pembelajaran lebih interaktif dan inovatif sebagai sarana belajar pada mata pelajaran PDTM
4. Pembelajaran yang tidak interaktif menyebabkan keterlibatan siswa rendah. Banyak siswa hanya menjadi pendengar pasif tanpa eksplorasi mandiri terhadap materi. Hal ini berdampak pada rendahnya motivasi dan efektivitas belajar siswa.
5. SMK Negeri 2 Medan belum memiliki media pembelajaran berbasis digital/web yang dirancang khusus untuk mendukung proses pembelajaran PDTM secara menyeluruh dan sistematis sesuai dengan kurikulum Teknik Pemesinan.

1.3. Pembatasan Masalah

Dengan dasar hasil identifikasi masalah tersebut, maka batasan masalah dalam penelitian pengembangan ini akan difokuskan pada:

1. Pengembangan media pembelajaran digital hanya difokuskan pada beberapa kompetensi dasar dalam mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) kelas XI sesuai dengan kurikulum program keahlian Teknik Pemesinan, antara lain: Pengenalan alat ukur teknik (sigmat, mikrometer, dsb.), Dasar-dasar proses pemotongan, Teknik pengikiran, pengeboran, dan penggerindaan.
2. Media pembelajaran yang dikembangkan berbasis digital web (dalam bentuk website) dan memuat elemen multimedia seperti: Teks materi dan gambar pendukung, Video demonstrasi praktik kerja dasar teknik mesin, Kuis interaktif sebagai latihan evaluasi.

3. Penelitian ini menggunakan model ADDIE (Analysis, Design, Development, Implementation, Evaluation) sebagai kerangka pengembangan media pembelajaran.
4. Subjek uji coba terbatas pada siswa kelas XI program keahlian Teknik Pemesinan SMK Negeri 2 Medan pada tahun ajaran berjalan, serta melibatkan validator dari ahli materi dan ahli media pembelajaran.
5. Penilaian hanya difokuskan pada aspek kelayakan media (menurut ahli materi dan media) dan respon siswa terhadap penggunaan media, bukan pada pengukuran langsung terhadap hasil belajar kognitif siswa secara eksperimen kuantitatif.

1.4. Rumusan Masalah

Dengan mempertimbangkan batasan masalah yang telah disebutkan diatas, rumusan masalah dalam penelitian pengembangan ini yaitu:

1. Bagaimana proses pengembangan media pembelajaran berbasis digital untuk mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin kelas XI program keahlian Teknik Pemesinan di SMK Negeri 2 Medan?
2. Bagaimana tingkat kelayakan media pembelajaran digital yang dikembangkan berdasarkan penilaian ahli materi dan ahli media?
3. Bagaimana respon siswa terhadap penggunaan media pembelajaran digital pada mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin di kelas XI SMK Negeri 2 Medan?

1.5. Tujuan Pengembangan Produk

Berdasarkan rumusan masalah yang telah diuraikan sebelumnya, adapun tujuan dari penelitian pengembangan ini adalah untuk :

1. Mengembangkan media pembelajaran berbasis digital dalam bentuk web interaktif untuk mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin kelas XI program keahlian Teknik Pemesinan di SMK Negeri 2 Medan.
2. Mengetahui tingkat kelayakan media pembelajaran digital yang dikembangkan berdasarkan penilaian dari ahli materi dan ahli media.

3. Menganalisis respon siswa kelas XI terhadap penggunaan media pembelajaran digital dalam pembelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin.

1.6. Manfaat Penelitian Pengembangan Produk

1. Manfaat Teoretis

- a. Memberikan kontribusi dalam pengembangan teori dan praktik media pembelajaran berbasis digital, khususnya dalam konteks pendidikan vokasi teknik di Indonesia.
- b. Menjadi referensi bagi pengembangan model pembelajaran interaktif berbasis web yang sesuai dengan karakteristik siswa SMK dan tuntutan kurikulum abad ke-21.
- c. Memperkaya kajian ilmiah di bidang teknologi pendidikan, khususnya yang berkaitan dengan pengembangan media pembelajaran teknik mesin.

2. Manfaat Praktis

- a. Bagi Guru: Menyediakan media pembelajaran alternatif yang lebih menarik, efektif, dan interaktif untuk digunakan dalam proses pembelajaran *Pekerjaan Dasar Teknik Mesin*, sehingga memudahkan guru dalam menjelaskan prosedur kerja teknik dasar.
- b. Bagi Siswa: Memberikan pengalaman belajar yang lebih visual, fleksibel, dan mandiri, serta meningkatkan pemahaman konsep dan prosedur kerja dalam teknik pemesinan.
- c. Bagi Sekolah: Mendukung program digitalisasi pembelajaran dan meningkatkan kualitas proses belajar-mengajar di SMK Negeri 2 Medan, khususnya pada program keahlian Teknik Pemesinan.
- d. Bagi Pengembang Media/Instruksional Designer: Menjadi acuan dalam merancang media pembelajaran digital yang sesuai dengan kebutuhan pembelajaran teknik berbasis praktik dan visualisasi kerja mesin.

1.7. Spesifikasi Produk Yang Diharapkan

Produk yang dikembangkan dalam penelitian ini berupa media pembelajaran berbasis digital web interaktif untuk mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) kelas XI SMK, dengan spesifikasi sebagai berikut:

1. Materi yang disajikan dalam media Media digital akan memuat materi pokok Pekerjaan Dasar Teknik Mesin meliputi: Pengantar Pekerjaan Dasar Teknik Mesin, Pengenalan dan penggunaan alat ukur teknik (sigmat, mikrometer), Dasar-dasar proses pemotongan dan pengeboran, Teknik pengikiran dan penggerindaan, Ilustrasi dan simulasi peralatan serta prosedur kerja dasar.
2. Menggunakan bahasa Indonesia yang komunikatif dan sesuai dengan level pemahaman siswa SMK. Desain antarmuka yang sederhana, menarik, dan ramah pengguna, dengan skema warna yang tidak mencolok namun kontras. Tampilan visual yang responsif dan dapat diakses melalui desktop dan smartphone.
3. Pengembangan media pembelajaran ini dikembangkan dengan menggunakan aplikasi digital

1.8. Pentingnya Pengembangan

Pengembangan media pembelajaran berbasis digital dalam mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin (PDTM) sangat penting dilakukan karena berbagai alasan yang berkaitan dengan kebutuhan pendidikan vokasi, kemajuan teknologi, dan tuntutan dunia kerja industri. Berikut beberapa alasan yang menegaskan pentingnya pengembangan ini:

1. Menjawab Permasalahan Keterbatasan Media Konvensional. Pembelajaran teknik di SMK sering kali masih menggunakan metode konvensional dengan media cetak yang kurang mendukung visualisasi proses kerja teknik secara konkret. Materi-materi dalam PDTM seperti penggunaan alat ukur, teknik pemotongan, dan penggunaan mesin memerlukan media visual yang dapat menunjukkan langkah-langkah secara prosedural dan dinamis. Pengembangan media digital yang interaktif akan membantu menjembatani keterbatasan tersebut.
2. Meningkatkan Kualitas Pembelajaran Teknik yang Lebih Interaktif dan Visual. Materi teknik mesin bersifat prosedural dan praktik, sehingga membutuhkan media yang dapat menggambarkan proses secara animatif dan interaktif. Penggunaan media digital berbasis web yang dilengkapi video, simulasi, dan evaluasi interaktif memungkinkan peserta didik memahami

materi secara lebih mendalam, meningkatkan motivasi belajar, serta memfasilitasi belajar mandiri (Arsyad, 2021; Heinich et al., 2019).

3. Mendukung Implementasi Teknologi Digital dalam Pendidikan Kejuruan. Era Revolusi Industri 4.0 dan kebijakan Merdeka Belajar mendorong pengintegrasian teknologi informasi dalam pembelajaran di semua jenjang pendidikan, termasuk di SMK. Pengembangan media digital berbasis web mendukung transformasi pembelajaran vokasi yang menekankan keterampilan teknologi, fleksibilitas akses, serta peningkatan literasi digital siswa (Sezer, 2022).
4. Membantu Guru dalam Menyampaikan Materi yang Kompleks. Materi PDTM mengandung banyak konsep teknis yang membutuhkan penjelasan detail dan visual. Guru dapat terbantu dengan media digital sebagai alat bantu ajar yang sistematis dan mudah digunakan. Media ini dapat menjadi suplemen pembelajaran saat terbatasnya waktu praktik di bengkel atau alat yang tidak tersedia.
5. Menyesuaikan dengan Karakteristik Siswa Digital Native. Siswa SMK saat ini adalah generasi yang tumbuh di era teknologi digital. Mereka lebih mudah memahami materi melalui media visual, animasi, dan interaksi berbasis teknologi. Oleh karena itu, media berbasis digital yang menarik dan mudah diakses sesuai dengan gaya belajar mereka akan meningkatkan efektivitas pembelajaran.
6. Memberikan Solusi Akses Pembelajaran yang Fleksibel dan Mandiri. Media digital berbasis web memungkinkan siswa untuk belajar kapan saja dan di mana saja, baik di sekolah maupun di rumah. Ini penting dalam mendukung pembelajaran blended learning dan pembelajaran mandiri (self-paced learning), terutama dalam kondisi keterbatasan sarana praktik atau situasi pembelajaran daring.

1.9. Asumsi dan Keterbatasan Pengembangan

1.9.1. Asumsi Pengembangan

Dalam proses pengembangan media pembelajaran berbasis digital ini, penelitian didasarkan pada beberapa asumsi berikut:

1. Siswa memiliki akses terhadap perangkat digital seperti komputer, laptop, atau smartphone serta koneksi internet yang memadai untuk mengakses media pembelajaran berbasis web.
2. Guru memiliki kemampuan dasar dalam mengoperasikan teknologi digital serta bersedia mengintegrasikan media pembelajaran berbasis digital dalam proses pembelajaran di kelas.
3. Media pembelajaran digital yang dikembangkan dapat mendukung proses belajar mandiri siswa di luar jam pelajaran dan memperkuat pemahaman terhadap materi praktik teknik dasar.
4. Model pengembangan ADDIE yang digunakan dalam penelitian ini sesuai untuk menghasilkan produk media yang sistematis, valid, dan dapat diimplementasikan dalam konteks pembelajaran kejuruan.
5. Validasi yang dilakukan oleh ahli materi dan ahli media dapat mewakili penilaian kelayakan isi dan teknis terhadap media pembelajaran yang dikembangkan.

1.9.2. Keterbatasan Pengembangan

Adapun keterbatasan dalam pengembangan media ini meliputi:

1. Cakupan Materi Terbatas. Media pembelajaran ini hanya dikembangkan untuk beberapa kompetensi dasar pada mata pelajaran Pekerjaan Dasar Teknik Mesin kelas XI, tidak mencakup seluruh topik dalam kurikulum Teknik Pemesinan.
2. Platform Terbatas pada Akses Web (Browser-Based). Produk dikembangkan hanya untuk akses melalui browser web, belum dalam bentuk aplikasi mobile (Android/iOS) atau terintegrasi dalam Learning Management System (LMS).
3. Tidak Mengukur Langsung Hasil Belajar Kognitif Siswa. Penelitian ini hanya mengevaluasi kelayakan media dan respon siswa, tanpa melakukan pengujian secara kuantitatif terhadap peningkatan hasil belajar siswa melalui eksperimen atau uji banding.
4. Uji Coba Terbatas. Uji coba media dilakukan secara terbatas pada satu kelas XI program keahlian Teknik Pemesinan di SMK Negeri 2 Medan, sehingga

generalisasi hasil terhadap populasi yang lebih luas masih memerlukan penelitian lanjutan.

5. Kemampuan Teknologi Siswa Beragam. Tingkat literasi digital dan kemampuan siswa dalam menggunakan teknologi bervariasi, sehingga efektivitas penggunaan media digital dapat berbeda antar individu.
6. Pengembangan Simulasi Masih Sederhana. Animasi dan visualisasi yang digunakan dalam media bersifat sederhana, belum mencakup simulasi interaktif tiga dimensi atau berbasis augmented/virtual reality.

