

Pengembangan Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft untuk Meningkatkan Keterampilan Pemrograman Siswa SMK Negeri 1 Tuban

Mella Karisma Fauzianti¹, Marsono^{*2}, Saifuddin Karim³

^{1,2,3}Teknik Mesin dan Industri, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, Indonesia
Email: ¹mella.karisma.2305116@students.um.ac.id, ²marsono.ft@um.ac.id,
³saifuddin.karim.ft@um.ac.id

Abstrak

Keterbatasan jumlah mesin CNC riil dan risiko keselamatan yang tinggi menjadi kendala utama dalam pembelajaran pemrograman CNC di SMK. Kebaruan modul ini meliputi cakupan dua tipe kontrol mesin yaitu GSK980Mdi dan FANUC OiM, visualisasi langkah dengan tangkapan layar beserta panah dan penomoran, serta tabel pencegahan kesalahan umum siswa. Penelitian ini dilakukan dengan tujuan untuk mengembangkan Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft yang valid, praktis, dan efektif untuk meningkatkan pemahaman siswa SMK khususnya di SMK Negeri 1 Tuban. Penelitian menggunakan model Research and Development (R&D) dengan Define, Design, Develop, Disseminate (4D). Subjek uji coba adalah 33 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban. Instrumen penelitian meliputi lembar validasi ahli media, bahasa, dan materi, angket uji keterampilan, lembar observasi keterlaksanaan, serta soal pre-test dan post-test. Hasil validasi menunjukkan persentase 89,71% (sangat baik) dari ahli media, 87,50% (sangat baik) dari ahli bahasa, dan 86,46% (sangat baik) dari ahli materi. Uji keterampilan siswa mencapai persentase 87,47% (sangat baik), dan observasi keterlaksanaan menunjukkan 94% siswa mampu mengikuti seluruh langkah praktik dengan baik. Hasil uji efektivitas menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 68,2 menjadi 90,8 dengan N-Gain sebesar 0,71 kategori "tinggi". Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft dinyatakan valid, praktis, dan efektif untuk pembelajaran mandiri siswa SMK.

Kata kunci: CNC Milling, Modul Pembelajaran, R&D, Simulasi, Swansoft.

Development of a Swansoft-Based CNC Milling Simulation Learning Module to Improve the Programming Skills of Students at SMK Negeri 1 Tuban

Abstract

The limited availability of actual CNC machines and high safety risks pose major obstacles to CNC programming education in vocational high schools. The new features of this module include support for two types of machine controls the GSK980Mdi and FANUC OiM step-by-step visualizations with screenshots, arrows, and numbering, as well as a table of common student errors. This study was conducted with the aim of developing a valid, practical, and effective Swansoft-based CNC Milling Simulation Learning Module to enhance the understanding of vocational high school students, particularly at SMK Negeri 1 Tuban. The study employed a Research and Development (R&D) model using the Define, Design, Develop, Disseminate (4D) framework. The test subjects were 33 students from class XI TP-3 at SMK Negeri 1 Tuban. Research instruments included validation sheets for media, language, and content experts; a comprehension test questionnaire; an implementation observation sheet; as well as pre-test and post-test questions. Validation results showed a percentage of 89.71% (very good) from media experts, 87.50% (very good) from language experts, and 86.46% (very good) from content experts. The student comprehension test achieved a percentage of 87.47% (very good), and the implementation observation indicated that 94% of students were able to follow all practical steps well. The effectiveness test results showed a significant increase in the average score from 68.2 to 90.8, with an average N-Gain of 0.71 in the "high" category. The Swansoft-Based CNC Milling Simulation Learning Module has been found to be valid, practical, and effective for self-directed learning by vocational high school students.

Keywords: CNC Milling, Learning Module, R&D, Simulation, Swansoft.

1. PENDAHULUAN

Revolusi industri 4.0 telah membawa perubahan fundamental pada sektor manufaktur global. Otomatisasi dan digitalisasi proses produksi menjadi keniscayaan, dan di jantung transformasi ini terdapat teknologi *Computer Numerical Control* (CNC). Mesin CNC memungkinkan produksi komponen dengan presisi tinggi, konsistensi geometris yang terjaga, serta kemampuan membuat bentuk-bentuk kompleks yang tidak mungkin dikerjakan dengan mesin perkakas konvensional [1], [2]. Akibatnya, penguasaan keterampilan pemrograman dan pengoperasian mesin CNC menjadi kompetensi krusial bagi lulusan Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya pada program keahlian Teknik Pemesinan.

Tuntutan kompetensi ini selaras dengan tujuan pendidikan vokasi, yaitu menyiapkan lulusan yang siap kerja dan mampu beradaptasi dengan perkembangan teknologi industri. Kurikulum SMK dirancang untuk menyeimbangkan penguasaan teori dan praktik. Namun, realitas di lapangan sering kali menunjukkan adanya kesenjangan yang signifikan *mismatch* antar kompetensi yang diharapkan industri dan kemampuan yang dimiliki lulusan SMK. Salah satu penyebab utamanya adalah terbatasnya akses siswa terhadap fasilitas dan peralatan praktik yang representatif, termasuk mesin CNC.

Berdasarkan observasi awal dan wawancara dengan guru mata pelajaran Teknik Pemesinan di SMK Negeri 1 Tuban, ditemukan beberapa permasalahan krusial. (1) ketersediaan mesin CNC riil sangat terbatas dengan rasio siswa terhadap mesin yang tidak ideal; (2) biaya operasional mesin CNC sangat tinggi, meliputi biaya pembelian bahan baku, perawatan mesin, dan penggantian pahat yang rusak; (3) proses pembelajaran langsung pada mesin riil menyimpan risiko keselamatan dan kerusakan alat yang tinggi, terutama ketika siswa masih dalam tahap eksplorasi dan percobaan program; (4) belum tersedianya modul atau panduan praktikum simulasi CNC yang terstruktur, sistematis, dan mudah dipahami oleh siswa dengan tingkat kemampuan yang beragam.

Permasalahan serupa juga ditemukan dalam penelitian terdahulu di mana pembelajaran CNC di berbagai institusi pendidikan vokasi terkendala oleh minimnya jumlah mesin dan tingginya biaya operasional [3]. Solusi yang banyak ditawarkan oleh para peneliti dan praktisi pendidikan vokasi adalah pemanfaatan perangkat lunak simulasi (*simulation software*) sebagai lingkungan belajar virtual yang aman, murah, dan fleksibel [4]. Penelitian terbaru menunjukkan bahwa pembelajaran berbasis simulasi digital efektif menjembatani kesenjangan antara teori dan praktik karena memungkinkan siswa melakukan eksperimen berulang tanpa risiko kerusakan alat atau cedera [5], [6].

Salah satu perangkat lunak simulasi CNC yang paling banyak digunakan di lingkungan pendidikan dan industri adalah Swansoft CNC Simulator. Perangkat lunak ini menyediakan lingkungan virtual yang realistis, lengkap dengan panel kontrol, sistem koordinat, dan visualisasi proses pemotongan. Swansoft mampu mensimulasi berbagai tipe kontrol mesin CNC termasuk GSK980Mdi dan FANUC OiM, serta berbagai tipe mesin seperti Doosan Mynx750 [7]. Keunggulan Swansoft adalah kemampuannya untuk mendeteksi kesalahan program dan menampilkannya secara visual, sehingga siswa dapat belajar dari kesalahan tanpa konsekuensi yang merugikan. Penelitian terdahulu menunjukkan bahwa penggunaan Swansoft simulator meningkatkan kesadaran belajar siswa, kesiapan mental, dan kehati-hatian sebelum menggunakan mesin riil. Simulator membantu meminimalkan risiko bahaya bagi operator pemula [8].

Namun, efektivitas penggunaan Swansoft sangat bergantung pada ketersediaan panduan atau modul pembelajaran yang memadai. Modul berfungsi sebagai peta jalan yang membimbing siswa langkah demi langkah, mulai dari pengenalan antarmuka, pemahaman sistem koordinat, penulisan kode G&M, hingga proses simulasi yang lengkap. Modul yang baik harus memenuhi kriteria validitas, kebenaran materi dan kesesuaian dengan standar industri, mudah digunakan secara mandiri dan efektif mampu meningkatkan pemahaman siswa.

Berdasarkan analisis kebutuhan yang dilakukan melalui wawancara dengan guru dan siswa kelas XI TPM-3 SMK Negeri 1 Tuban, ditemukan fakta bahwa: (1) 87% siswa menyatakan kesulitan memahami alur simulasi CNC karena tidak ada panduan tertulis; (2) 94% siswa menginginkan modul yang dilengkapi dengan gambar tangkapan layar setiap langkah; dan (3) 100% guru menyatakan membutuhkan sumber belajar yang dapat memfasilitasi pembelajaran mandiri siswa di luar jam sekolah.

Meskipun telah ada beberapa penelitian pengembangan media pembelajaran CNC berbasis simulasi, mayoritas penelitian tersebut masih memiliki beberapa keterbatasan; (1) modul yang dikembangkan umumnya hanya mencakup satu tipe kontrol panel sehingga kurang adaptif terhadap variasi mesin yang ada di industri; (2) petunjuk praktik masih bersifat tekstual dan minim visualisasi langkah sehingga menyulitkan siswa dengan gaya belajar visual; dan (3) aspek keselamatan kerja dan antisipasi kesalahan umum siswa belum mendapatkan porsi yang memadai.

Penelitian sebelumnya menunjukkan bahwa siswa SMK dengan gaya belajar visual memiliki kemampuan analitis dan evaluasi yang lebih rendah dibandingkan aspek interpretasi, sehingga memerlukan panduan belajar yang lebih terstruktur dan visual [9]. Sementara itu, studi lain secara eksplisit menyatakan bahwa infografis dan panduan bergambar langkah demi langkah sangat bermanfaat bagi pelajar visual, karena dukungan oleh *Dual*

Coding Theory yang menyatakan bahwa informasi yang disajikan melalui gambar dan teks secara bersamaan mengaktifkan dua jalur kognitif, sehingga meningkatkan pemahaman dan daya ingat [10].

Berdasarkan celah-celah penelitian (*research gap*) tersebut, maka penelitian ini mengembangkan sebuah modul pembelajaran simulasi CNC *Milling* yang memiliki kebaruan sebagai berikut: (1) modul mencakup dua tipe kontrol mesin sekaligus yaitu GSK980MDi dan FANUC OiM dalam satu buku, sehingga lebih komprehensif; (2) setiap langkah simulasi dilengkapi dengan tangkapan layar yang dilengkapi panah dan penomoran yang jelas; (3) terdapat penjelasan tentang alur kerja dari Mastercam ke Swansoft; (4) dilengkapi dengan tabel yang bersifat preventif; dan (5) menggunakan bahasa yang dialogis dan analogis sederhana untuk mempermudah pemahaman konsep abstrak.

Penelitian pengembangan ini bertujuan untuk: (1) menghasilkan produk modul pembelajaran simulasi CNC *Milling* berbasis Swansoft untuk siswa SMK yang valid, praktis, dan efektif; (2) mendeskripsikan tingkat validitas modul berdasarkan penilaian ahli media, ahli bahasa, dan ahli materi; (3) mendeskripsikan tingkat kepraktisan modul berdasarkan respons siswa dan observasi keterlaksanaan; serta (4) menganalisis tingkat efektivitas modul dalam meningkatkan pemahaman siswa melalui pre-test dan post-test.

Secara teoritis, penelitian ini diharapkan dapat memperkaya khazanah keilmuan tentang pengembangan bahan ajar berbasis simulasi di bidang pendidikan vokasi. Secara praktis, temuan pada penelitian ini dapat menjadi rujukan bagi guru SMK, dosen, dan instruktur pelatihan CNC dalam menyelenggarakan pembelajaran yang aman, efisien, dan berpusat pada siswa atau *student-centered*. Selain itu, modul yang dihasilkan dapat digunakan sebagai sumber belajar mandiri bagi siswa yang ingin mempersiapkan diri sebelum praktik pada mesin CNC sesungguhnya, sehingga meminimalisir risiko kerusakan dan meningkatkan efisiensi penggunaan mesin.

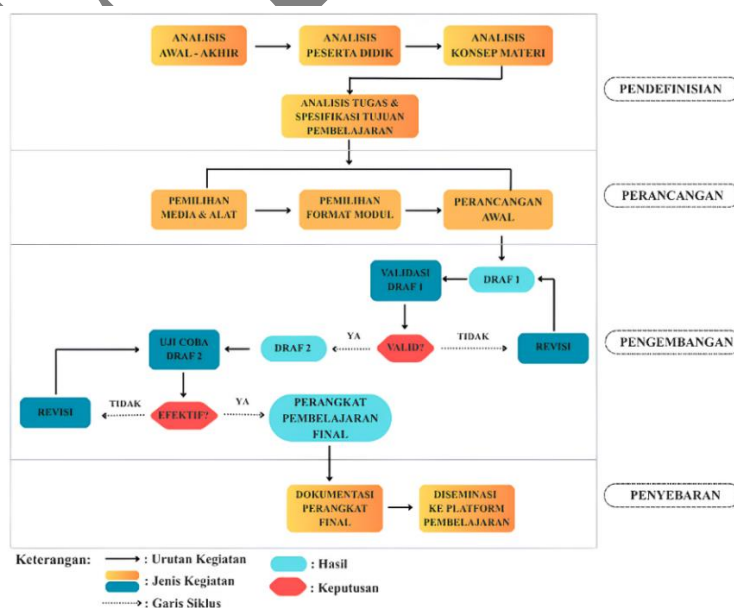
2. METODE PENELITIAN

2.1. Model Pengembangan

Pengembangan Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft merupakan penelitian pengembangan atau *Research and Development* (R&D)[11]. Model pengembangan yang digunakan dalam penelitian ini adalah model 4D yang dikemukakan oleh Thiagarajan, Semmel, dan Semmel[12]. Model 4D dipilih karena memiliki prosedur yang sistematis, sederhana, dan mudah diadaptasikan untuk pengembangan bahan ajar cetak seperti modul pembelajaran. Selain itu, model 4D telah banyak digunakan dalam penelitian pengembangan di bidang pendidikan vokasi dan terbukti menghasilkan produk yang valid, praktis, dan efektif[13], [14], [15].

Model pengembangan 4D terdiri atas empat tahap utama, yaitu *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Keempat tahap tersebut diadaptasi dan disesuaikan dengan kebutuhan penelitian pengembangan Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft untuk siswa SMK.

2.2. Prosedur Pengembangan dan Penelitian



Gambar 1. Modifikasi Model Pengembangan Modul

Prosedur pengembangan modul mengikuti empat tahap model 4D, yaitu: (1) *Define* (Pendefinisian), pada tahap ini dilakukan analisis awal untuk mengidentifikasi masalah pembelajaran CNC di SMK Negeri 1 Tuban berupa analisis kebutuhan siswa, analisis konsep materi, serta analisis spesifikasi tujuan pembelajaran yang ingin dicapai; (2) *Design* (Perancangan), tahap ini meliputi penyusunan peta materi modul, pemilihan format penyajian, serta perancangan struktur modul; (3) *Develop* (Pengembangan), modul yang telah dirancang kemudian divalidasi oleh tiga ahli: ahli media, ahli bahasa, dan ahli materi. Instrumen validasi menggunakan skala Linier 1-4. Setelah divalidasi dan direvisi, modul diuji coba secara terbatas kepada 33 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban. Data kepraktisan dikumpulkan melalui angket uji coba keterpahaman skala 5 dan lembar observasi keterlaksanaan langkah simulasi. Data efektivitas dikumpulkan melalui instrumen soal *pre-test* dan *post-test* yang berjumlah 20 soal pilihan ganda. Peningkatan pemahaman dihitung menggunakan rumus N-Gain[16]. dan (4) *Disseminate* (Penyebaran), modul final didokumentasikan dan dipersiapkan untuk disebarluaskan melalui jurnal dan *platform* pembelajaran.

2.3. Subjek Uji Coba

Penentuan subjek uji coba dalam penelitian ini menggunakan teknik *purposive sampling*, yaitu pemilihan sampel berdasarkan pertimbangan tertentu yang disesuaikan dengan tujuan penelitian. Kriteria inklusi subjek meliputi: (a) siswa kelas XI program keahlian Teknik Pemesinan; (b) telah menempuh mata pelajaran dasar pemrograman CNC; dan (c) belum pernah menggunakan modul simulasi CNC terstruktur. Pemilihan kelas XI TP-3 didasarkan pada rekomendasi guru mata pelajaran karena kelas tersebut memiliki karakteristik kemampuan akademik yang heterogen, sehingga dapat mewakili populasi siswa SMK Negeri 1 Tuban secara lebih representatif.

Subjek uji coba dalam penelitian ini terdiri atas tiga kategori. Pertama, validator ahli yang meliputi sat orang ahli media, satu orang ahli bahasa, dan satu orang ahli materi. Kedua, subjek uji coba kelompok kecil sebanyak 12 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban yang dipilih secara proporsional. Ketiga, subjek uji coba kelompok besar sebanyak 33 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban. Jumlah subjek uji coba kelompok besar ditentukan berdasarkan total siswa dalam satu kelas rombongan belajar (rombel) yang berlaku di SMK Negeri 1 Tuban. Penggunaan satu kelas utuh bertujuan untuk menguji efektivitas modul dalam kondisi pembelajaran riil tanpa melakukan seleksi khusus, sehingga hasil penelitian lebih mencerminkan implementasi sebenarnya di lapangan.

2.4. Jenis Data

Data yang dikumpulkan terdiri atas data kualitatif dan data kuantitatif. Data kualitatif berupa saran, komentar, dan kritik dari validator serta siswa. Data kuantitatif berupa skor angket validasi, angket uji keterpahaman, lembar observasi keterlaksanaan, serta nilai *pre-test* dan *post-test*.

2.5. Instrumen Pengumpulan Data

Pengumpulan data pada penelitian ini menggunakan instrumen angket yang diserahkan kepada validator ahli materi, validator ahli media, validator ahli bahasa, dan subjek uji coba siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban. Sebelum digunakan, seluruh instrumen divalidasi isi (*content validity*) oleh tiga orang ahli yang terdiri dari ahli materi, ahli media, dan ahli bahasa. Validasi isi bertujuan untuk memastikan bahwa setiap butir pernyataan dalam instrumen sesuai dengan indikator yang hendak diukur dan relevan dengan konteks penelitian. Saran dan masukan dari para validator digunakan sebagai dasar perbaikan instrumen sebelum diujicobakan.

Untuk mengukur keandalan (*reliability*) instrumen soal, dilakukan uji coba terbatas pada 12 siswa di luar sampel penelitian. Hasil uji coba dianalisis menggunakan rumus Kuder-Richardson (KR-20) untuk soal pilihan ganda. Hasil perhitungan menunjukkan koefisien reliabilitas sebesar 0,85 yang termasuk kategori “tinggi” ($r > 0,70$), sehingga instrumen dinyatakan reliabel dan layak digunakan untuk mengukur pemahaman siswa.

Kriteria penilaian yang digunakan dalam instrumen angket adalah skala Linkert dengan empat skala penilaian sebagai berikut: (a) nilai 4, artinya sangat setuju/sangat baik, (b) nilai 3, artinya setuju/baik, (c) nilai 2, artinya cukup setuju/cukup baik, dan (d) nilai 1, artinya tidak setuju/tidak baik.

Beberapa instrumen penilaian yang digunakan adalah instrumen untuk melakukan observasi, dokumen, dan wawancara. Observasi dilakukan untuk memperoleh data berupa jawaban dari subjek uji coba yang pertanyaannya tidak terdapat pada angket. Teknik pengumpulan data dokumenter digunakan untuk melengkapi data hasil angket, proses wawancara, dan ketika penelitian sedang berlangsung. Wawancara dilakukan untuk memperoleh berbagai jenis informasi yang diperlukan untuk proses penelitian. Informasi yang dibutuhkan mengenai sistem pembelajaran CNC *Milling* yang diterapkan dan media pembelajaran yang digunakan dalam proses pembelajaran di SMK Negeri 1 Tuban. Kisi-kisi instrumen disajikan pada Tabel 1, 2, 3, 4, dan 5.

Tabel 1. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Ahli Materi

Aspek Penilaian	Indikator
Keakuratan dan Kebenaran Materi (Kelayakan Isi)	Kesesuaian materi dengan kompetensi dasar Keakuratan materi (konsep CNC, kode G/M, sistem koordinat) Pendukung materi pembelajaran (gambar, tabel, contoh) Kemutakhiran materi (sesuai perkembangan teknologi CNC)
Materi Pendukung Pembelajaran (Kelayakan Penyajian)	Teknik penyajian (sesuai dengan perkembangan IPTEK) Pendukung penyajian (kekinian fitur, contoh, dan rujukan) Penyajian pembelajaran (keterkaitan antar konsep) Kelengkapan penyajian (terdapat jobsheet dan latihan)
Penilaian Bahasa	Lugas (mudah dipahami oleh siswa SMK) Komunikatif (bahasa yang digunakan efektif) Dialogis dan interaktif (terdapat pertanyaan pemantik) Kesesuaian dengan tingkat perkembangan peserta didik Keruntutan dan keterpaduan alur pikir Penggunaan istilah, simbol, atau ikon

Tabel 2. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Ahli Media

Indikator Penilaian	Komponen
Ukuran Modul	Ukuran fisik modul (proporsional)
Desain Sampul Modul	Tata letak sampul modul Huruf yang digunakan menarik dan mudah digunakan
Desain Isi Modul	Ilustrasi sampul modul Konsistensi tata letak Unsur tata letak harmonis Unsur tata letak lengkap Tata letak mempercepat pemahaman Tipografi isi modul sederhana Tipografi mudah dibaca Tipografi isi modul memudahkan pemahaman Ilustrasi isi (<i>screenshot</i> , diagram, gambar)

Tabel 3. Kisi-Kisi Instrumen Validasi Ahli Bahasa

Aspek	Indikator
Kejelasan dan Keefektifan Kalimat	Ketepatan struktur kalimat (subjek dan predikat jelas) Keefektifan kalimat (tidak berbelit-belit) Kemudahan memahami maksud kalimat secara keseluruhan
Kebakuan dan Ketepatan Istilah	Kebakuan istilah teknis (menggunakan istilah baku) Ketepatan penggunaan istilah asing (kode G/M, <i>feed rate</i>)
Tanda Baca dan Ejaan	Ketepatan penggunaan tanda baca (titik, koma, dll) Kesesuaian dengan Pedoman Umum Ejaan Bahasa Indonesia (PUEBI)
Komunikativitas dan Interaktivitas	Kemampuan bahasa dalam mendorong minat baca siswa Bahasa yang digunakan bersifat dialogis/interaktif Kemampuan bahasa dalam mempermudah pemahaman konsep teknis
Kesesuaian dengan Peserta Didik	Kesesuaian bahasa dengan tingkat perkembangan berpikir siswa SMK Bahasa yang digunakan bebas dari makna ganda (ambigu)

Tabel 4. Kisi-Kisi Instrumen Uji Keterpahaman Siswa

Aspek	Indikator
Bahasa	Bahasa yang digunakan sederhana dan mudah dimengerti Kalimat tidak menimbulkan makna ganda (ambigu) Istilah teknis (G00, G01, Zero Return) dijelaskan dengan jelas
Penyajian Materi	Penjelasan disajikan runtut dan sistematis

Aspek	Indikator
Pemahaman Konsep	Ukuran dan jenis huruf nyaman untuk dibaca Gambar membantu memahami tampilan dan tombol di Swansoft Ilustrasi (aturan tangan kanan) memudahkan mengingat arah sumbu koordinat Screenshot setiap langkah memudahkan praktik langsung di komputer Tabel kode G dan M informatif dan mudah dipahami Petunjuk panah dan penomoran pada gambar memudahkan mengikuti urutan langkah Memahami perbedaan mesin konvensional dan CNC Memahami fungsi komponen utama sistem CNC (kontrol, panel, motor) Memahami perbedaan Titik Nol Mesin dan Titik Nol Benda Kerja Memahami perbedaan G90 (Absolut) dan G91 (Inkremental) Memahami hubungan kecepatan spindel (S), kecepatan makan (F), dan kedalaman potong
Keterlaksanaan Langkah	Petunjuk langkah demi langkah dari menyalakan mesin hingga simulasi selesai sangat jelas Mampu melakukan Zero Return hanya dengan membaca modul Mampu melakukan setting titik nol benda kerja tanpa bantuan guru Mampu menambahkan dan mengganti tool (pahat) di simulator sesuai panduan Tidak mengalami kesulitan berarti saat memanggil G-Code dari Mastercam ke Swansoft
Manfaat Modul	Panduan untuk dua tipe mesin (GSK dan FANUC) sangat membantu dan tidak membingungkan Modul membuat lebih percaya diri untuk mencoba simulasi CNC Terbantu karena dapat belajar secara mandiri Modul meningkatkan minat dan motivasi belajar CNC Merasa lebih siap untuk praktik di mesin sesungguhnya

Tabel 5. Kisi-Kisi Instrumen Soal *Pre-Test* dan *Post-Test*

Kompetensi Dasar	Indikator Soal
Definisi dan Konsep Dasar CNC	Menjelaskan definisi teknologi CNC berdasarkan tiga pilar utama (otomatisasi, program tersimpan, penyimpanan program)
Sistem Koordinat Kode G	Menentukan arah sumbu koordinat (X, Y, Z) menggunakan aturan tangan kanan
Kode M	Mengidentifikasi kode G yang tepat untuk gerakan cepat tanpa menyayat (G00)
Titik Referensi	Mengartikan perintah program G01 X50 Y25 F150
Sistem Pemrograman	Menjelaskan fungsi kode M03 dalam program CNC <i>milling</i>
Perbandingan Mesin	Membedakan Titik Nol Mesin (Machine Zero) dan Titik Nol Benda Kerja (Workpiece Zero)
Jenis Pahat	Menjelaskan bahwa mode G90 (Absolute) mengukur semua koordinat dari titik nol benda kerja
Parameter Pemotongan	Menjelaskan perbedaan mendasar antara mesin konvensional dan mesin CNC
Tujuan Simulasi	Memilih jenis pahat yang tepat untuk membuat lubang (U Drill / Twist Drill)
Sistem Incremental (G91)	Menjelaskan arti parameter S1500 (kecepatan putaran spindel dalam RPM)
Koordinat Benda Kerja	Mengidentifikasi tujuan penggunaan <i>software</i> simulasi CNC (kecuali menggantikan fungsi mesin riil dalam produksi massal)
Feed Rate (F)	Menjelaskan bahwa dalam mode G91, perintah G01 X10 Y5 bergerak relatif dari posisi pahat saat ini
Prosedur Simulasi	Menentukan koordinat lubang pertama pada benda kerja 50x50 dengan titik nol di pojok kiri atas
Setting Work Offset (GSK)	Menjelaskan pengertian <i>Feed Rate</i> (kecepatan gerak pahat menyayat benda kerja)
Fungsi End Mill	Menentukan langkah pertama setelah menyalakan mesin dan melepas emergency (<i>zero return</i>)
Write Protect	Menjelaskan langkah setting titik nol benda kerja pada GSK980MDi setelah tool di posisi pojok
	Mengidentifikasi operasi yang TIDAK menggunakan pahat End Mill (<i>drilling</i> /membuat lubang)
	Menjelaskan tindakan yang benar saat muncul pesan "Write Protect" pada layar kontrol

Kompetensi Dasar	Indikator Soal
Kode M30	Menjelaskan fungsi kode M30 (mengakhiri program dan mengembalikan indikator ke awal program)

2.6. Teknik Analisis Data

Metode analisis data dalam penelitian ini menggunakan dua jenis, yaitu deskriptif kualitatif dan kuantitatif. Data kualitatif yang diperoleh dari hasil wawancara, saran, dan komentar validator serta siswa dianalisis secara deskriptif naratif sebagai pelengkap. Data kuantitatif dari angket validasi dan uji keterampilan dianalisis menggunakan rumus persentase penilaian menurut Sugiyono[17]: 81,25%-100% (Sangat Baik), 62,50%-81,25% (Baik), 43,75%-62,50% (Cukup Baik), dan 25%-43,75% (Kurang Baik). Persentase hasil evaluasi dari subjek uji coba dihitung dengan rumus: $P = \frac{\sum x}{\sum xi} \times 100\%$ (1)

Keterangan:

P = Persentase hasil evaluasi subjek uji coba

$\sum x$ = jumlah keseluruhan jawaban subjek uji coba

$\sum xi$ = jumlah keseluruhan skor maksimal subjek uji coba

Rumus (1) digunakan untuk menghitung persentase hasil evaluasi dari subjek uji coba dengan membandingkan jumlah total jawaban yang diperoleh terhadap skor maksimal ideal.

Untuk mengukur efektivitas modul, digunakan analisis N-Gain dari nilai *pre-test* dan *post-test*. Kriteria N-Gain yang digunakan adalah $g > 0,7$ (Tinggi), $0,3 \leq g \leq$ (Sedang), dan $g < 0,3$ (Rendah) sebagai alat ukur kasar efektivitas suatu kursus dalam meningkatkan pemahaman konseptual siswa [18]. rumus N-Gain yang digunakan adalah sebagai berikut: $N - Gain = \frac{Skor Posttest - Skor Pretest}{Skor Maksimal - Skor Pretest}$ (2)

Rumus (2) digunakan untuk mengukur peningkatan pemahaman atau efektivitas pembelajaran antara *pre-test* dan *post-test*. Nilai N-Gain menunjukkan seberapa besar peningkatan skor relatif terhadap ruang peningkatan yang mungkin dicapai.

3. HASIL DAN PEMBAHASAN

3.1. Hasil Validasi Modul

Modul yang telah dikembangkan kemudian diserahkan kepada tiga validator, yaitu validator ahli materi, validator ahli, media, dan validator ahli bahasa untuk dinilai. Rekapitulasi hasil validasi disajikan pada Tabel 6.

Tabel 6. Rekapitulasi Hasil Validasi Ahli Materi

No.	Aspek Penilaian	$\sum x$	$\sum xi$	P (%)	Kriteria
1	Keakuratan dan Kebenaran Materi	28	32	87,50	Sangat Baik
2	Kelayakan Penyajian	31	36	86,11	Sangat Baik
3	Bahasa	24	28	85,71	Sangat Baik
	Total	83	96	86,46	Sangat Baik

Berdasarkan Tabel 6, hasil validasi materi yang dilakukan oleh ahli materi terhadap Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft memperoleh penilaian sebesar 86,46%. Rincian pada setiap aspeknya yaitu aspek keakuratan dan kebenaran materi mencapai 87,50%; aspek kelayakan penyajian mencapai 86,11%; dan aspek bahasa mencapai 85,71%. Berdasarkan saran perbaikan, ahli materi menyarankan untuk menambahkan petunjuk penggunaan modul di bagian awal dan memperbaiki *typo* yang ada pada penulisan modul. Secara keseluruhan, Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft telah dinyatakan layak untuk dilanjutkan ke tahap uji coba.

Tabel 7. Rekapitulasi Hasil Validasi Ahli Media

No.	Aspek Penilaian	$\sum x$	$\sum xi$	P (%)	Kriteria
1	Ukuran Modul	3	4	75,00	Baik
2	Desain Sampul	15	16	93,75	Sangat Baik
3	Desain Isi	43	48	89,58	Sangat Baik
	Total	61	68	89,71	Sangat Baik

Hasil validasi menunjukkan bahwa aspek ukuran modul memperoleh persentase 75,00%, aspek desain sampul memperoleh 93,75%, dan aspek desain isi memperoleh 89,58%. Persentase keseluruhan validasi ahli media mencapai 89,71% dengan kategori sangat baik. Saran perbaikan dari ahli media meliputi peningkatan resolusi gambar tangkapan layar yang kurang jelas dan konsistensi penggunaan *font* pada seluruh halaman. Revisi telah dilakukan sesuai dengan saran tersebut sehingga modul layak untuk diujicobakan.

Tabel 8. Rekapitulasi Hasil Validasi Ahli Bahasa

No.	Aspek Penilaian	Σx	Σxt	P (%)	Kriteria
1	Lugas	11	12	91,67	Sangat Baik
2	Komunikatif	15	16	93,75	Sangat Baik
3	Dialogis dan Interaktif	12	16	75,00	Baik
4	Kesesuaian dengan Perkembangan Peserta Didik	11	12	91,67	Sangat Baik
5	Keruntutan dan Keterpaduan Alur Pikir	7	8	87,50	Sangat Baik
	Total	56	64	87,50	Sangat Baik

Hasil validasi menunjukkan bahwa aspek lugas memperoleh persentase 91,67%, aspek komunikatif 93,75%, aspek dialogis dan interaktif 75%, aspek kesesuaian dengan perkembangan siswa 91,67%, dan aspek keruntutan alur pikir 87,50%. Secara keseluruhan, validasi ahli bahasa memperoleh persentase sebesar 87,50% dengan kategori sangat baik. Ahli bahasa merekomendasikan penyederhanaan kalimat yang terlalu panjang, pemecahan paragraf panjang menjadi beberapa paragraf pendek, serta penambahan pertanyaan pemantik di setiap awal sub-bab untuk meningkatkan interaktivitas modul. Rekomendasi tersebut telah diimplementasikan pada revisi final modul sehingga modul layak untuk diujicobakan.

3.2. Hasil Uji Kepraktisan

Uji coba kepraktisan modul dilakukan melalui dua tahapan, yaitu uji coba kelompok kecil yang melibatkan 12 siswa dan uji coba kelompok besar yang melibatkan 33 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban. Pada tahap ini siswa diminta untuk mengisi angket uji keterpahaman yang mencakup tiga aspek, yaitu tampilan, penyajian materi, dan manfaat. Selain itu, dilakukan pula observasi keterlaksanaan untuk mengamati kemampuan siswa dalam mengikuti setiap langkah simulasi berdasarkan panduan modul. Data hasil uji coba kepraktisan disajikan pada Tabel 9 dan Tabel 10.

Tabel 9. Data Hasil Uji Coba Kelompok Kecil

No.	Tampilan (20)	Penyajian Materi (20)	Manfaat (20)	Σn (60)	P (%)	Kriteria
1	18	17	16	51	85,00	Sangat Baik
2	19	18	17	54	90,00	Sangat Baik
3	16	15	14	45	75,00	Baik
4	20	19	18	57	95,00	Sangat Baik
5	19	18	18	55	91,67	Sangat Baik
6	18	17	16	51	85,00	Sangat Baik
7	17	16	15	48	80,00	Baik
8	19	18	17	54	90,00	Sangat Baik
9	18	17	16	51	85,00	Sangat Baik
10	17	16	15	48	80,00	Baik
11	18	17	16	51	85,00	Sangat Baik
12	19	18	18	55	91,67	Sangat Baik
Rata-rata per Aspek	18,2	17,2	16,3			

No.	Tampilan (20)	Penyajian Materi (20)	Manfaat (20)	Σn (60)	P (%)	Kriteria
Persentase per Aspek	90,83%	85,83%	81,67%			
Total		86,11%		620		

Hasil yang diperoleh pada uji coba kelompok kecil terhadap Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft adalah mencapai skor 620 dari total skor maksimal 720 dengan persentase 86,11% yang termasuk dalam kriteria sangat baik.

Tabel 10. Rekapitulasi Hasil Uji Coba Kelompok Besar

No.	Aspek	Σn	ΣN	P (%)	Kriteria
1	Tampilan	610	660	92,42	Sangat Baik
2	Penyajian Materi	577	660	87,42	Sangat Baik
3	Manfaat	545	660	82,58	Sangat Baik
	Total	1732	1980	87,47	Sangat Baik

Hasil yang diperoleh pada uji coba kelompok besar terhadap Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft adalah mencapai skor 1732 dari total skor maksimal 1980 dengan persentase 87,47% yang termasuk dalam kriteria sangat baik. Berdasarkan hasil uji coba kelompok besar, tidak ditemukan saran atau masukan yang signifikan sehingga modul dinyatakan layak untuk digunakan dalam pelajaran.

3.3. Hasil Uji Efektivitas

Uji efektivitas modul bertujuan untuk mengukur peningkatan pemahaman siswa terhadap materi CNC *Milling* sebelum dan sesudah menggunakan modul pembelajaran. Pengukuran dilakukan melalui instrumen soal *pre-test* dan *post-test* yang terdiri dari 20 butir soal pilihan ganda. *Pre-test* dilaksanakan pada pertemuan pertama sebelum siswa diberikan modul, sedangkan *post-test* dilaksanakan pada pertemuan terakhir setelah seluruh rangkaian simulasi selesai dilakukan. Subjek uji coba efektivitas melibatkan 33 siswa kelas XI TP-3 SMK Negeri 1 Tuban.

Sebelum melakukan uji-t berpasangan (*paired sample t-test*), dilakukan uji prasyarat normalitas menggunakan uji Shapiro-Wilk. Hasil uji normalitas menunjukkan nilai signifikan untuk data *pre-test* sebesar 0,152 dan *post-test* sebesar 0,203 ($p > 0,05$), sehingga kedua data dinyatakan berdistribusi normal. Selanjutnya dilakukan uji-t berpasangan untuk mengetahui apakah terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil *pre-test* dan *post-test* setelah penggunaan modul. Hasil uji-t berpasangan menunjukkan nilai t-hitung sebesar 15,847 dengan signifikansi (*p-value*) sebesar 0,000 ($p < 0,05$). Hal ini mengindikasikan bahwa terdapat perbedaan yang signifikan antara hasil *pre-test* dan *post-test*, sehingga peningkatan pemahaman siswa setelah menggunakan modul dinyatakan signifikan secara statistik.

Data hasil *pre-test* dan *post-test* beserta perhitungan N-Gain untuk mengukur tingkat efektivitas modul disajikan pada Tabel 11.

Tabel 11. Hasil Uji Efektivitas (N-Gain)

Keterangan	Pre-test	Post-test	N-Gain	Kategori
Nilai Rata-rata	68,2	90,8	0,71	Tinggi
Nilai Tertinggi	95	100	-	-
Nilai Terendah	30	60	-	-

Berdasarkan Tabel 11, terjadi peningkatan nilai rata-rata yang signifikan sebesar 22,6 poin. Hasil perhitungan N-Gain sebesar 0,71 termasuk dalam kategori tinggi ($g > 0,7$). Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan modul simulasi Swansoft efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa terhadap materi CNC *Milling*, terutama pada aspek pemrograman dasar, sistem koordinat, dan prosedur keselamatan simulasi.

3.4. Pembahasan

Hasil validasi Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft yang dikembangkan dalam penelitian ini memperoleh persentase rata-rata sebesar 87,89%. Tingkat validasi ini sebanding dengan temuan penelitian pengembangan modul CNC lainnya. Kurniawan dkk. dalam pengembangan modul pembelajaran berbasis STEM pada materi CNC *Milling* Simulator melaporkan bahwa hasil validasi ahli materi berada pada

kategori sangat valid dan validasi ahli media juga memperoleh kategori sangat valid[19]. Demikian pula penelitian pengembangan modul CNC Semi PU GSK 928 TC untuk SMK menunjukkan hasil validasi modul oleh ahli bahasa, ahli desain, dan ahli materi dengan perolehan rata-rata 84,43% yang termasuk dalam kriteria sangat layak[20]. Capaian validasi dalam penelitian ini yang mencapai 87,89% tergolong lebih tinggi dibandingkan dengan rata-rata 84,43% tersebut, mengindikasikan kualitas modul yang dikembangkan memiliki tingkat kelayakan yang sangat baik.

Tingginya persentase validasi yang diperoleh, khususnya pada aspek keakuratan materi sebesar 86,46% menunjukkan bahwa konsep-konsep CNC yang disajikan telah sesuai dengan standar industri dan prosedur operasional mesin CNC yang benar. Hal ini sejalan dengan pendapat Arsyad bahwa media pembelajaran yang memiliki desain visual menarik dapat meningkatkan motivasi dan perhatian peserta didik [21]. Keunggulan pada aspek desain isi modul yang mengindikasikan tata letak, tipografi, dan ilustrasi yang mendukung keterbacaan menjadi faktor penguat tingginya persentase validasi yang dicapai.

Uji kepraktisan modul dalam penelitian ini menunjukkan hasil yang konsisten, dengan uji coba kelompok kecil memperoleh persentase 86,11% dan uji coba kelompok besar memperoleh 87,47%. Hasil observasi keterlaksanaan menunjukkan rata-rata persentase sebesar 90,97%, yang mengindikasikan bahwa modul sangat praktis untuk diimplementasikan dalam pembelajaran. Temuan ini didukung oleh hasil kajian terdahulu yang menunjukkan bahwa sebanyak 77,8 % siswa menyetujui penggunaan media video dan simulator CNC *milling lite* dalam pembelajaran CNC [22]. Angka persentase kepraktisan yang tinggi dalam penelitian ini mencerminkan penerimaan positif dari siswa terhadap modul pembelajaran berbasis simulasi.

Uji efektivitas modul diukur melalui *pre-test* dan *post-test* yang diberikan kepada 33 siswa. Nilai rata-rata *pre-test* siswa adalah 68,2 dan meningkat menjadi 90,8 pada *post-test*, dengan peningkatan sebesar 22,6 poin. Hasil perhitungan N-Gain rata-rata sebesar 0,71 yang termasuk dalam kategori tinggi. Hasil uji-t berpasangan menunjukkan bahwa peningkatan tersebut signifikan secara statistik ($t=15,847$; $p=0,000$).

Peningkatan hasil belajar sebesar 22,6 poin ini sangat relevan jika dibandingkan dengan temuan hasil kajian terdahulu. Penelitian sebelumnya melaporkan bahwa penggunaan media video dan simulator CNC *milling lite* dapat meningkatkan hasil belajar siswa sebesar 18,08 poin atau 30% dari nilai sebelumnya[23]. Angka peningkatan yang lebih tinggi dalam penelitian ini (22,6 poin) menunjukkan bahwa modul berbasis Swansoft yang dikembangkan memiliki efektivitas yang lebih baik dibandingkan media pembelajaran CNC lainnya. Hal ini disebabkan oleh keunggulan modul yang mencakup dua tipe kontrol mesin sekaligus, visualisasi langkah yang lebih detail, serta panduan yang lebih terstruktur. Penelitian lain yang dilakukan di SMK YPM 1 Taman Sidoarjo juga menunjukkan peningkatan hasil belajar yang signifikan, di mana persentase ketuntasan siswa dari *pre-test* ke *post-test* meningkat dari 50% menjadi 91,67%[20].

Hasil komparasi dengan beberapa penelitian terdahulu menunjukkan bahwa Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft yang dikembangkan memiliki tingkat validitas, kepraktisan, dan efektivitas yang sebanding atau bahkan lebih baik dibandingkan penelitian sejenis. Peningkatan hasil belajar sebesar 22,6 poin yang konsisten dengan temuan terdahulu mengindikasikan bahwa pendekatan simulasi terbukti efektif sebagai jembatan antara teori dan praktik di SMK[23].

Dengan demikian, modul dinyatakan valid, praktis, dan efektif dalam meningkatkan pemahaman siswa, serta siap digunakan sebagai sumber belajar mandiri untuk simulasi CNC *Milling*. Temuan ini memberikan kontribusi empiris bagi pengembangan bahan ajar CNC di SMK dan dapat menjadi rujukan bagi peneliti selanjutnya dalam mengembangkan modul pembelajaran berbasis simulasi pada materi teknis lainnya.

4. KESIMPULAN

Penelitian dan pengembangan ini telah menghasilkan produk berupa Modul Pembelajaran Simulasi CNC *Milling* Berbasis Swansoft untuk siswa kelas XI SMK Negeri 1 Tuban. Modul dikembangkan menggunakan model pengembangan 4D yang meliputi tahap *Define*, *Design*, *Develop*, dan *Disseminate*. Modul disusun menjadi tujuh bab yang mencakup dasar teori CNC, sistem koordinat, kode G dan M, pahat dan parameter pemotongan, membuat program *milling*, serta panduan simulasi pada Swansoft untuk tipe GSK980MDi dan FANUC OiM.

Modul pembelajaran yang telah dikembangkan telah memenuhi kriteria penilaian dengan tingkat kelayakan yang dapat dikategorikan sangat baik. Validasi materi yang dilakukan oleh ahli materi memperoleh penilaian sebesar 86,46%. Validasi media yang dilakukan oleh ahli media memperoleh hasil persentase sebesar 89,71%. Validasi bahasa yang dilakukan oleh ahli bahasa memperoleh hasil persentase sebesar 87,50%.

Uji coba kelompok kecil yang dilakukan terhadap 12 siswa memperoleh hasil persentase sebesar 86,11%. Uji coba kelompok besar yang dilakukan terhadap 33 siswa memperoleh persentase sebesar 87,47%. Hasil observasi keterlaksanaan menunjukkan rata-rata persentase sebesar 90,97%. Uji efektivitas menunjukkan peningkatan nilai rata-rata dari 68,2 menjadi 90,8 dengan N-Gain sebesar 0,71 (kategori tinggi). Berdasarkan seluruh hasil tersebut,

Modul Pembelajaran Simulasi CNC Milling Berbasis Swansoft termasuk dalam kriteria sangat baik dan layak digunakan dalam kegiatan pembelajaran pada mata pelajaran Teknik Pemesinan di SMK Negeri 1 Tuban.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] K. Kumar, C. Ranjan, dan J. P. Davim, *CNC Programming for Machining*. dalam Materials Forming, Machining and Tribology. Cham: Springer International Publishing, 2020. doi: 10.1007/978-3-030-41279-1.
- [2] R. Eko, "OPTIMASI PARAMETER PEMROGRAMAN CNC MILLING TERHADAP PROSES KERJA YANG EFESIEN DENGAN SIMULASI SWANSOFT CNC MILLING," PhD Thesis, Universitas Muhammadiyah Ponorogo, 2023. Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://eprints.umpo.ac.id/11817/>
- [3] "Lap Ii Pemrograman Cnc Milling Dengan Software Swansoft Cnc Simulation Sistem Operasi Fancu Oi M Nc [34wmk857jml7]." Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://idoc.pub/documents/lap-ii-pemrograman-cnc-milling-dengan-software-swansoft-cnc-simulation-sistem-operasi-fancu-oi-m-nc-34wmk857jml7>
- [4] T. Ma'rufiati dan Y. Estriyanto, "Enhancing Students' Learning Outcomes Through Simulator Program: A Case Study of using Swansoft CNC Simulator Software in Vocational Education," dalam *2nd International Conference on Neural Networks and Machine Learning 2023 (ICNNML 2023)*, Atlantis Press, 2024, hlm. 102–107. Diakses: 5 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.atlantispress.com/proceedings/icnnml-23/126001207>
- [5] E. Carter, J. F. Walder, P. Mensink, dan A. Sadhu, "Immersive Gamified Training Simulations for Visualization of Structural Maintenance With Virtual Reality," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 34, no. 2, hlm. e70156, 2026, doi: 10.1002/cae.70156.
- [6] C. Sellberg dan O. Lindwall, "Simulation-based training in professional education: learning, participation, and instructional design," *Instr. Sci.*, vol. 54, no. 1, hlm. 9, Des 2025, doi: 10.1007/s11251-025-09763-2.
- [7] W. M. Kusuma, S. Setuju, dan D. Ratnawati, "Development of learning media lathe machining based on animation video," *J. Taman Vokasi*, vol. 7, no. 1, hlm. 54–61, Jul 2019, doi: 10.30738/jtv.v7i1.4779.
- [8] "IMPLEMENTATION OF THE USE OF THE 'CNC VMC SIMULATOR' APPLICATION TOWARDS IMPROVING THE LEARNING OUTCOMES OF GRADE XI STUDENTS OF SMKN 3 BUDURAN SDOARJO | Jurnal Pendidikan Teknik Mesin," Jun 2025, Diakses: 5 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/69611>
- [9] N. S. S. Maulida dan Sutama, "Analysis of mathematical critical thinking skills with visual learning styles in vocational high school," dalam *AIP Conference Proceedings*, AIP Publishing LLC, 2024, hlm. 020033. Diakses: 5 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://pubs.aip.org/aip/acp/article-abstract/2926/1/020033/2998994>
- [10] V. Otti, N. Clough, F. Gishen, M. Russell, dan R. G. Mathew, "How to Codesign Infographics to Teach Clinical Skills," *Clin. Teach.*, vol. 22, no. 5, hlm. e70180, Okt 2025, doi: 10.1111/tct.70180.
- [11] P. P. Kuantitatif, "Metode penelitian kuantitatif kualitatif dan R&D," *Alf. Bdg.*, 2016, Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://www.researchgate.net/profile/Hery-Purnomo/publication/377469385_METODE_PENELITIAN_KUANTITATIF_KUALITATIF_DAN_RD/links/65a89006bf5b00662e196dde/METODE-PENELITIAN-KUANTITATIF-KUALITATIF-DAN-R-D.pdf?__cf_chl=tk=nCoUyuEGaYY_sI703pQR98sN2_hY3g4HU1pMZwpG_us-1739947478-1.0.1.1-LdQU9dWIAysvCtpvd4Uu6KNXvu7bCNUUxgfLLZulaEo
- [12] S. Thiagarajan dan A. Others, "Instructional Development for Training Teachers of Exceptional Children: A Sourcebook," Council for Exceptional Children, 1920 Association Drive, Reston, Virginia 22091 (Single Copy, \$5, 1974. Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://eric.ed.gov/?id=ED090725>
- [13] K. A. Pangestu, "Pengembangan media pembelajaran interaktif nc/cnc menggunakan software swansoft cnc simulator pada kompetensi keahlian bidang Teknik Mesin / Kukuh Andreng Pangestu," diploma, Universitas Negeri Malang, 2022. Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.um.ac.id/269018/>
- [14] M. F. R. Pratama, "Pengembangan media pembelajaran berbasis video youtube dengan software swansoft cnc pada mata kuliah cnc dasar di Universitas Negeri Malang / M. Farih Rizki Pratama," diploma, Universitas Negeri Malang, 2023. Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.um.ac.id/313924/>

- [15] "PENGEMBANGAN MODUL PEMBELAJARAN CNC MILLING MENGGUNAKAN SOFTWARE MASTERCAM X9 PADA MATA PELAJARAN CNC DI JURUSAN TEKNIK PEMESINAN SMKN 1 BLITAR | Jurnal Pendidikan Teknik Mesin," Feb 2022, Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://ejournal.unesa.ac.id/index.php/jurnal-pendidikan-teknik-mesin/article/view/45072>
- [16] R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *Am. J. Phys.*, vol. 66, no. 1, hlm. 64–74, 1998.
- [17] D. Sugiyono, "Metode penelitian pendidikan pendekatan kuantitatif, kualitatif dan R&D," 2013, Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: https://digilib.unigres.ac.id/index.php?p=show_detail&id=43
- [18] R. R. Hake, "Interactive-engagement versus traditional methods: A six-thousand-student survey of mechanics test data for introductory physics courses," *Am. J. Phys.*, vol. 66, no. 1, hlm. 64–74, 1998.
- [19] E. D. Kurniawan, N. Nopriyanti, R. Hermawan, dan P. I. Yanti, "Pengembangan modul pembelajaran berbasis stem pada materi cnc milling simulator," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 10, no. 2, hlm. 204–216, 2023.
- [20] M. B. ULUM, "Pengembangan Modul Cnc Semi Pu Gsk 928 Tc Untuk Meningkatkan Aktivitas Dan Hasil Belajar Siswa Kelas XII Smk Ypm 1 Taman Sidoarjo," PhD Thesis, State University of Surabaya. Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://www.neliti.com/publications/249936/pengembangan-modul-cnc-semi-pu-gsk-928-tc-untuk-meningkatkan-aktivitas-dan-hasil>
- [21] D. F. A. Husaeni *dkk.*, "The Effect of Using Web-Based Interactive Learning Media for Vocational High School Students to Understanding of Looping: Qualitative Approach.," *J. Sci. Learn.*, vol. 5, no. 1, hlm. 115–126, 2022.
- [22] R. B. Wijanarko, "Pengembangan e-modul dan video tutorial pembelajaran cnc menggunakan cnc simulator free android pada SMKN 1 Jenangan," PhD Thesis, Universitas Negeri Malang, 2024. Diakses: 5 Juni 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://repository.um.ac.id/341211/>
- [23] "The Influence of Video-Based Media and Simulator CNC Milling Lite Applicati." Diakses: 30 April 2026. [Daring]. Tersedia pada: <https://journals.indexcopernicus.com/search/article?articleId=4396032>