EISSN: 2528 - 0112

JURNAL VIRTUAL OF MECHANICAL ENGINEERING ARTICLE (V-MAC)

https://ejournal.unibabwi.ac.id/index.php/vmac email: vmac.mesin@gmail.com

Pengaruh CNC Simulator Berbasis Android terhadap Kompetensi Pemrograman CNC *Milling* Siswa Teknik Pemesinan

Raka Putra Rulyantika[1], Marsono[2]
[1]Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang
[2]Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Fakultas Teknik, Universitas Negeri Malang, marsono.ft@um.ac.id

Corresponding Author: marsono.ft@um.ac.id

Abstrak. Pembelajaran pemrograman *Computer Numerical Control (CNC)* di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) masih menghadapi kendala karena keterbatasan jumlah mesin CNC yang tidak sebanding dengan jumlah siswa. Penggunaan simulator CNC berbasis komputer telah banyak diterapkan, namun simulator berbasis Android menawarkan keunggulan berupa kemudahan akses, fleksibilitas penggunaan kapan saja dan di mana saja, serta biaya implementasi yang lebih rendah. Meskipun demikian, penelitian mengenai efektivitas simulator CNC berbasis Android terhadap peningkatan kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa masih terbatas, khususnya pada jenjang SMK di Kabupaten Malang. Oleh karena itu, penelitian ini bertujuan menganalisis pengaruh penggunaan simulator CNC berbasis Android terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa kelas XII, Kabupaten Malang. Latarbelakang penelitian berdasarkan keterbatasan jumlah mesin CNC dibandingkan dengan jumlah siswa yang menyebabkan waktu praktik menjadi tidak efisien. Penelitian memanfaatkan metode kuantitatif melalui desain eksperimen *One-Group Pre-test* dan *Post-test*. Subjek penelitian siswa pemrograman teknik mesin kelas XII berjumlah 29 siswa. Data dikumpulkan melalui tes tertulis, uji kinerja (simulasi), dan lembar observasi, kemudian dianalisis memanfaatkan uji *Paired Sample T-Test* dengan bantuan program SPSS. Dari hasil uji t, didapatkan nilai t sebesar 22,155 dan nilai p-value 0,000 < 0,05. Dengan demikian, dapat dinyatakan bahwa terdapat pengaruh yang signifikan dari penggunaan CNC Simulator berbasis Android terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa. Temuan ini mengindikasikan bahwa pemanfaatan teknologi simulasi berbasis perangkat mobile mampu membantu siswa memahami konsep, langkah pemrograman, serta proses kerja mesin CNC Milling secara lebih visual, interaktif, dan praktis.

Kata Kunci: CNC simulator, android, kompetensi, pemrograman.

1. PENDAHULUAN

Sistem pendidikan kejuruan di tingkat Sekolah Menengah Kejuruan (SMK) sangat berperan dalam menghasilkan lulusan yang terampil dan siap bersaing di sektor industri [1]. Fokus pendidikan kejuruan tidak hanya di aspek teori, melainkan juga dalam pengembangan kemampuan praktis yang selaras dengan kebutuhan industri manufaktur modern [2]. Sejalan dengan hal tersebut, proses pembelajaran di SMK dirancang untuk membekali siswa dengan

kemampuan teknis yang bersifat aplikatif dan mengikuti perkembangan teknologi industri. Pendidikan kejuruan juga berorientasi pada kebutuhan dunia kerja, sehingga pelaksanaan pembelajaran harus mencerminkan kondisi nyata serta kompetensi yang dibutuhkan di lingkungan industri [3].

Salah satu aspek keterampilan penting yang wajib dimiliki siswa teknik permesinan diantaranya pemrograman *Computer Numerical Control* (CNC) *Milling* [4]. Kompetensi ini meliputi pemahaman terhadap kode *G-code dan M-code*, kemampuan melakukan simulasi proses pemotongan, hingga pelaksanaan program pada mesin CNC secara langsung. Penguasaan kemampuan tersebut menjadi landasan penting bagi siswa dalam mengoperasikan mesin CNC secara optimal sesuai dengan standar industri. Dalam konteks manufaktur, teknologi pemesinan CNC/CAM adalah salah satu area yang berpotensi untuk terus mengalami peningkatan sejalan dengan tuntutan Revolusi Industri 4.0 [5].

Akan tetapi, pembelajaran praktik CNC kerap menghadapi berbagai kendala teknis terutama yang berkaitan dengan keterbatasan fasilitas dan peralatan praktik [6]. Permasalahan serupa juga dialami oleh siswa kelas XII di jurusan Teknik Permesinan, Kabupaten Malang. Hasil observasi menunjukkan bahwa banyaknya mesin CNC yang tidak sesuai dengan jumlah siswa mengakibatkan waktu praktik menjadi kurang efektif, sehingga kesempatan siswa untuk melakukan latihan secara langsung menjadi terbatas. Selain itu, risiko kecelakaan kerja serta potensi kerusakan komponen mesin akibat rendahnya kepercayaan diri siswa dalam mengoperasikan mesin menimbulkan kekhawatiran bagi guru. Hal ini berdampak pada pembatasan ruang eksplorasi siswa selama kegiatan praktik. Di sisi lain, pemanfaatan smartphone sebagai media pembelajaran produktif di lingkungan sekolah juga belum optimal. Kondisi-kondisi tersebut mengakibatkan proses pembelajaran praktik CNC belum berjalan secara maksimal. Akibatnya, pemahaman siswa terhadap pemrograman CNC *Milling* belum berkembang secara mendalam, yang tercermin dari masih rendahnya kompetensi praktikum yang dimiliki siswa.

Kondisi tersebut menunjukkan perlunya inovasi dalam media pembelajaran yang bisa menjembatani siswa dalam memahami pemrograman CNC dengan efektif tanpa sepenuhnya bergantung pada ketersediaan mesin praktik. Sebagai salah satu alternatif, perkembangan teknologi mobile berbasis Android dapat dimanfaatkan melalui penggunaan aplikasi CNC Simulator dalam kegiatan pembelajaran. Aplikasi ini memungkinkan siswa mempelajari pemrograman CNC secara lebih fleksibel melalui antarmuka yang intuitif serta dukungan visualisasi 3D, seperti simulasi pergerakan pahat, penulisan kode *G-code dan M-code*, hingga visualisasi proses pemesinan yang lebih mudah dipahami dan efisien.

Melalui fitur simulasi tersebut, siswa dapat melakukan latihan pemrograman secara berulang tanpa harus menggunakan mesin CNC secara langsung, sehingga risiko kerusakan mesin dan kecelakaan kerja dapat diminimalkan. Selain itu, aplikasi simulasi berbasis *mobile* juga memberikan peluang bagi siswa untuk belajar secara bebas, kapanpun dan di tempat manapun, dengan memanfaatkan perangkat yang mudah diakses [7]. Dengan demikian, penggunaan aplikasi CNC Simulator berbasis Android berpotensi menambah pencapaian belajar siswa menggunakan penyajian visual yang lebih interaktif, sekaligus menjadi solusi atas keterbatasan fasilitas mesin CNC sehingga siswa tetap dapat berlatih secara mandiri [8].

Secara teoretis, pemanfaatan media simulasi berbasis Android dalam pembelajaran sejalan dengan teori konstruktivisme yang menyoroti bahwa siswa secara aktif membentuk pemahaman melalui pengalaman belajar serta interaksi dengan lingkungan sekitar [9]. Melalui simulasi pemrograman CNC, para siswa tidak sekedar menerima informasi dengan cara yang pasif, tetapi juga aktif terlibat dalam proses eksplorasi, percobaan, dan pemecahan masalah. Selain itu, penggunaan visualisasi simulasi interaktif juga mendukung teori pembelajaran kognitif yang menekankan pentingnya gambaran visual dalam memfasilitasi pemahaman siswa terhadap konsep abstrak maupun teknis [10]. Maka dari itu, penerapan aplikasi CNC Simulator berbasis Android berfungsi sebagai alat edukasi yang bermanfaat dalam membantu proses

konstruksi pengetahuan, sekaligus meningkatkan pemahaman konseptual serta keterampilan praktis siswa dalam pemrograman CNC *Milling*.

Berbagai penelitian terdahulu menunjukkan bahwa media simulasi CNC mampu meningkatkan pemahaman konsep pemrograman, mempermudah proses pembelajaran praktik, serta menjadi alternatif pembelajaran ketika ketersediaan mesin CNC terbatas. Namun, sebagian besar penelitian tersebut masih berfokus pada simulator berbasis komputer desktop atau hanya mengevaluasi kelayakan media pembelajaran tanpa menguji secara empiris pengaruhnya terhadap kompetensi pemrograman siswa. Selain itu, penelitian mengenai pemanfaatan CNC Simulator berbasis Android pada pembelajaran CNC *Milling* di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK), khususnya di Kabupaten Malang, masih relatif terbatas. Kondisi tersebut menunjukkan adanya kesenjangan penelitian yang perlu dikaji lebih lanjut.

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini memberikan kontribusi dengan menganalisis pengaruh penggunaan CNC Simulator berbasis Android terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa Teknik Permesinan kelas XII melalui desain eksperimen *One-Group Pre-test* dan *Post-test*. Berbeda dengan penelitian sebelumnya yang lebih menitikberatkan pada pengembangan atau kelayakan media pembelajaran, penelitian ini memberikan bukti empiris mengenai efektivitas penggunaan simulator berbasis Android sebagai media pembelajaran dalam meningkatkan kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa. Hasil penelitian ini diharapkan dapat menjadi referensi bagi guru, sekolah, dan peneliti dalam mengembangkan pembelajaran praktik CNC yang lebih fleksibel, aman, dan sesuai dengan kebutuhan pendidikan kejuruan di era digital.

Sehubungan dengan hal tersebut, penelitian ini bertujuan untuk menganalisis pengaruh penggunaan CNC Simulator berbasis Android terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa Teknik Permesinan kelas XII di Kabupaten Malang. Penelitian ini diharapkan memberikan kontribusi ilmiah berupa bukti empiris mengenai efektivitas media pembelajaran berbasis Android dalam meningkatkan kompetensi pemrograman CNC, sekaligus memberikan kontribusi praktis sebagai alternatif media pembelajaran untuk mengatasi keterbatasan fasilitas praktik di SMK.

2. METODE

Penelitian ini memanfaatkan metode kuasi eksperimen melalui desain eksperimen *One-Group Pre-test* dan *Post-test*. Penelitian dilaksanakan di salah satu SMK di Kabupaten Malang pada siswa kelas XII Program Keahlian Teknik Pemesinan. Subjek penelitian berjumlah 29 siswa yang dipilih sebagai kelas eksperimen. Variabel dalam penelitian terdiri atas variabel bebas, yaitu penggunaan CNC Simulator berbasis Android, serta variabel terikat, yaitu kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa. Perlakuan diberikan selama 2 minggu yang terdiri atas 6 kali pertemuan dengan durasi 60 menit pada setiap pertemuan**.** Sebelum perlakuan, siswa mengikuti *pre-test* (O_1) untuk mengukur kemampuan awal, kemudian setelah seluruh perlakuan selesai diberikan, siswa mengikuti posttest (O_2) untuk mengukur kompetensi pemrograman CNC *Milling*.

Tabel 1. Desain Pelaksanaan Penelitian

Kelas Eksperimen	Tes Awal	Tindakan	Tes Akhir
Kelas XII	O_1	Pembelajaran dengan simulator Android selama 2 minggu (6 pertemuan × 60 menit)	O_2

Sumber: Data Penelitian, 2026

Data penelitian dikumpulkan melalui tes tulis, uji kinerja, dan observasi. Tes tulis digunakan untuk mengukur pemahaman siswa terhadap konsep dasar pemrograman CNC *Milling*, meliputi *G-Code, M-Code*, sistem koordinat, dan parameter pemotongan. Uji kinerja dilakukan melalui praktik pemrograman menggunakan CNC Simulator berbasis Android untuk menilai ketepatan program dan hasil simulasi pemesinan. Observasi dilakukan selama enam kali pertemuan untuk mengamati keaktifan siswa selama proses pembelajaran menggunakan

CNC Simulator berbasis Android. Kisi-kisi instrumen tes tulis yang digunakan untuk mengukur pemahaman siswa terhadap materi pemrograman CNC *Milling* disajikan pada Tabel 2.

Tabel 2. Instrument Tes Tulis

Indikator	Bentuk Pertanyaan	No.Soal
Konsep Dasar CNC, *G-code*	Pilihan Ganda	1-6
Sistem Koordinat		7-10
Parameter Pemotongan		11-15
Fungsi *G-code*		16-20
Fungsi *M-code*		21-23
Struktur Program		24-25

Sumber: Data Penelitian, 2026

Tabel 3. Instrument Uji Kinerja

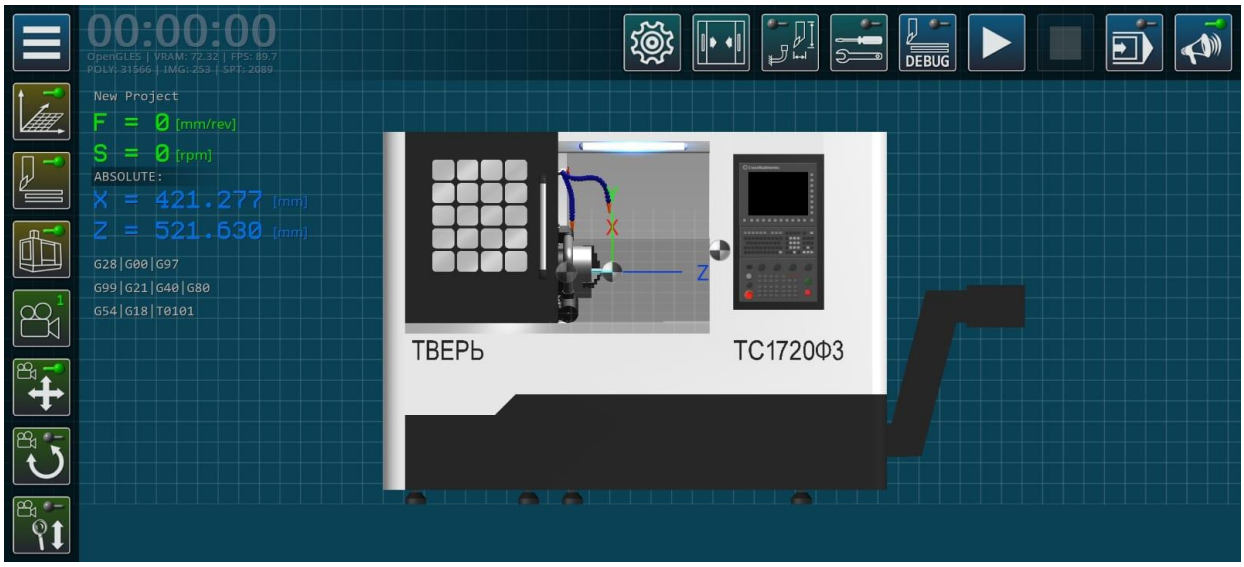
Indikator	Aspek yang dinilai	Teknik Penilaian	Skor
Setting Zero Point	Ketepatan menentukan titik nol benda kerja di simulator.	Praktik	4 = Sangat Baik 3 = Baik 2 =Cukup 1 = Kurang
Input Data *Tool*	Ketepatan memilih jenis pahat (*endmill/face mill*) sesuai gambar.		
Running Program	Keberhasilan menjalankan program dari awal hingga akhir tanpa pesan *error* pada aplikasi		
Kesesuaian Dimensi	Hasil simulasi pemakanan sesuai dengan ukuran yang diminta pada gambar kerja.		

Sumber: Data Penelitian, 2026

Pengujian hipotesis dilakukan dengan analisis statistik inferensial melalui uji t berpasangan (*Paired Sample T-Test*). yang bertujuan guna mengetahui perbandingan rata-rata nilai *pre-test* dan *posttest* setelah tindakan dilakukan. H_0 dalam penelitian ini menyatakan tidak adanya pengaruh signifikan penggunaan CNC Simulator berbasis Android terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa. Sementara itu, H_a menyatakan adanya pengaruh signifikan dari penggunaan media tersebut terhadap kompetensi siswa.

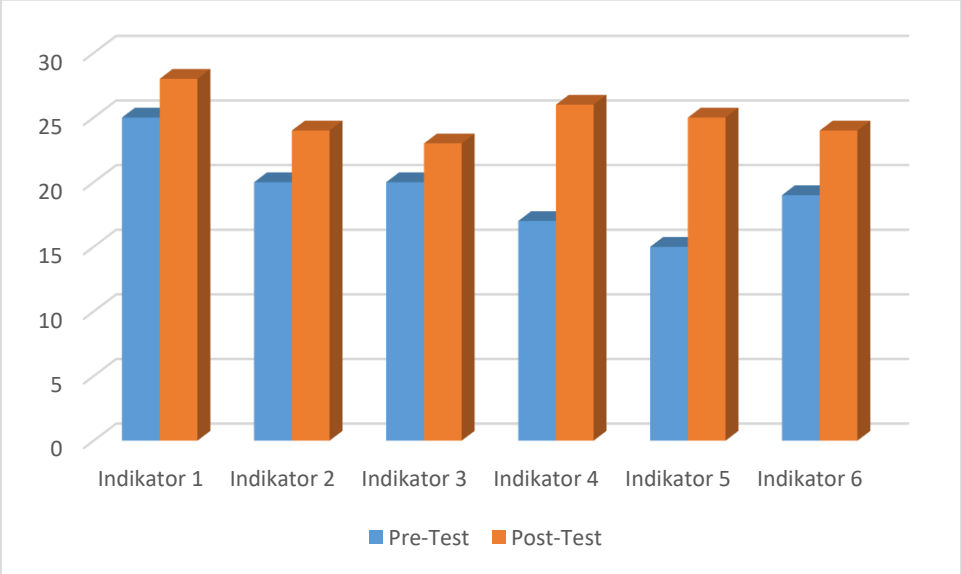
3. HASIL DAN PEMBAHASAN

Media penelitian ini dirancang untuk mendukung pencapaian kompetensi CNC *Milling* siswa jurusan Teknik Pemesinan kelas XII. melalui pemanfaatan media pembelajaran berbasis teknologi. Media yang digunakan berupa aplikasi CNC Simulator *Lite* berbasis Android, yang memungkinkan siswa mempelajari sekaligus mempraktikkan pemrograman CNC secara fleksibel, interaktif, dan kontekstual. Proses pembelajaran dirancang secara sistematis melalui tahapan pre-test untuk mengukur kemampuan awal, pemberian perlakuan menggunakan simulator, dan diakhiri dengan *post-test* untuk mengevaluasi peningkatan kompetensi. Pada tahap awal, siswa diberikan pengantar konsep dasar pemrograman CNC, meliputi pemahaman fungsi *G-Code* dan *M-Code*, teknik pengkodean, serta alur pengoperasian mesin CNC *Milling* melalui simulasi. Selanjutnya, siswa melakukan praktik langsung yang mencakup penyusunan kode program, pengeditan, menjalankan simulasi, mendeteksi kesalahan (*collision*), serta memverifikasi hasil program secara mandiri.



Gambar 1 Aplikasi CNC Simulator berbasis Androi
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Penggunaan CNC Simulator *Lite* berbasis Android dalam pembelajaran terbukti menghasilkan pengetahuan belajar yang lebih nyata melalui tampilan animasi 3D secara *real-time*. Berkaitan dengan penelitian terdahulu bahwa *"multimedia learning occurs more deeply when learners are able to integrate words and pictures than from words alone"*, sehingga media berbasis visual dan animasi mampu meningkatkan pemahaman konsep secara signifikan [11]. Demikian pula, siswa tidak sekedar dituntut memahami konsep, melainkan juga menerapkannya dalam praktik melalui simulasi, sehingga terjadi integrasi antara aspek kognitif dan psikomotorik. Pendekatan ini relevan dengan teori konstruktivisme yang menekankan bahwa proses perolehan pengetahuan terjadi melalui partisipasi langsung siswa [12]. Hasil temuan penelitian juga membuktikan bahwa penggunaan simulator berbasis Android memberikan kemudahan bagi siswa dalam melakukan praktik tanpa keterbatasan alat dan risiko kerusakan mesin nyata yang disajikan pada gambar 2.



Gambar 2. Chart Hasil Pre-test dan Post-Test
Sumber: Hasil Penelitian, 2026

Simulasi yang disajikan secara sederhana namun representatif memungkinkan siswa memahami kesalahan dan umpan balik secara langsung. Temuan dari penelitian sebelumnya mendukung hal ini dengan menyatakan bahwa lingkungan pembelajaran berbasis simulasi memungkinkan siswa untuk mempraktikkan keterampilan secara aman dan berulang kali, sehingga menghasilkan peningkatan hasil kinerja [13]. Dengan demikian, penggunaan CNC Simulator tidak sekedar memperbaiki efektivitas pembelajaran, melainkan juga memacu partisipasi dan kemandirian siswa dalam belajar.

Secara keseluruhan, penerapan media pembelajaran berbasis simulator ini memberikan dampak positif terhadap peningkatan keterampilan bagi siswa, baik dalam hal ilmu pengetahuan maupun kemampuan praktik. Hal ini sejalan dengan fungsi media pembelajaran dengan meningkatkan perhatian, motivasi, serta keaktifan siswa ketika proses belajar mengajar [14]. Dengan pengalaman belajar yang melibatkan interaksi dan penerapan, siswa dapat mengerti konsep. pemrograman CNC *Milling* secara lebih mendalam dan sistematis. Dampak positif tersebut juga diperkuat oleh hasil analisis data, yang menggambarkan kenaikan rata-rata nilai dari tes awal ke tes akhir, sebagaimana ditunjukkan pada tabel di bawah ini.

Tabel 2 Ringkasan Peningkatan Nilai Rata-rata Siswa

Kelas	Tes Awal	Tes Akhir
XII	68,4	84,3

Sumber: Data Penelitian, 2026

Mengacu pada analisis data yang disajikan pada Tabel 2, rata-rata nilai *pre-test* siswa kelas XII sebesar 68,4, sementara rata-rata nilai posttest setelah perlakuan menunjukkan peningkatan menjadi 84,3. Temuan ini menunjukkan adanya peningkatan sebesar 23% dibandingkan kondisi awal. Peningkatan tersebut mengindikasikan bahwa sebelum penggunaan media pembelajaran, tingkat penguasaan siswa terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* masih tergolong terbatas. Namun, setelah memanfaatkan media CNC Simulator berbasis Android, pemahaman dan kemampuan siswa dalam menyusun serta menginterpretasikan program CNC *Milling* mengalami peningkatan yang cukup signifikan. Hasil ini relevan dengan penelitian sebelumnya yang mengungkapkan bahwa penggunaan simulator CNC dapat membantu siswa memahami proses pemrograman dan pengoperasian mesin secara lebih konkret. Hal ini disebabkan karena siswa dapat mengamati secara langsung visualisasi gerakan pahat, jalur pemotongan, serta hasil pemesinan melalui simulasi yang ditampilkan [15].

Hipotesis penelitian dianalisis menggunakan uji *Paired Sample T-Test* (uji t) untuk mengevaluasi dampak pemanfaatan media media CNC Simulator berbasis Android terhadap kompetensi CNC *Milling* siswa secara simultan. Hasil pengujian hipotesis terlihat pada tabel berikut.

Tabel 3 Hasil Pengujian (uji-t)

Pair	Mean Difference	Std. Deviation	t	df	Sig.(2-tailed)
Pre-test Post-test	15,93	3,87	22,155	28	0,000

Sumber: Data Penelitian, 2026

Berdasarkan pengujian yang tercantum pada Tabel 3, diperoleh selisih rata-rata sebesar 15,93 dan nilai t sebesar 22,155 dengan signifikansi sebesar 0,000. Angka signifikansi ini lebih rendah dari 0,05 (0,000 < 0,05), yang mengindikasikan bahwa hopotesis nol (H_o) ditolak dan hipotesis alternatif (H_a) diterima. Oleh karena itu, disimpulkan bahwa pemanfaatan media simulator CNC berbasis android memberikan dampak signifikan terhadap peningkatan kompetensi CNC *Milling* siswa di jurusan Teknik Permesinan kelas XII.

Hasil pengujian hipotesis tersebut semakin diperkuat oleh analisis *gain score* yang digunakan untuk mengukur besarnya kemajuan keterampilan dan pemahaman siswa setelah mengikuti tindakan pembelajaran, melalui perbandingan antara skor tes awal dan tes akhir [16]. Melalui analisis gain score, tingkat efektivitas penggunaan CNC Simulator berbasis Android dalam meningkatkan kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa Teknik Permesinan dapat mengacu pada hasil yang ditampilkan tabel berikut.

Tabel 4 Hasil Pengujian Gain Score

Rata-rata *Pre-test*	Rata-rata *Post-test*	Selisih	N-Gain (%)	Kategori (Hake)
68,4	84,3	15,9	50,44	Sedang

Sumber: Data Penelitian, 2026

Merujuk hasil analisi pada Tabel 4, perhitungan N-Gain memaparkan angka sebesar 50,44% yang termasuk dalam kategori sedang. Menandakan bahwa pemanfaatan CNC Simulator berbasis Android dalam pembelajaran mampu memberikan peningkatan yang cukup efektif terhadap kompetensi pemrograman CNC *Milling* siswa Teknik Permesinan. Perolehan nilai N-Gain yang dihasilkan tergolong dalam kategori sedang mengindikasikan bahwa media CNC Simulator berbasis Android mampu menstimulus pemahaman serta keterampilan siswa dalam pemrograman CNC secara cukup signifikan, meskipun masih terdapat peluang untuk mencapai peningkatan yang lebih optimal. Dengan demikian, hasil analisis gain score ini semakin memperkuat temuan bahwa penerapan alat pembelajaran menggunakan simulasi memberikan dampak baik dalam mengembangkan kemampuan siswa, khususnya pada pembelajaran praktik kejuruan [17].

Penelitian ini memperkuat temuan dari penelitian sebelumnya yang menunjukkan bahwa penerapan media simulasi dalam pengajaran CNC secara signifikan memperbaiki hasil belajar dan kemampuan siswa [18]. Penggunaan aplikasi Simulator CNC VMC dalam kegiatan pembelajaran mampu meningkatkan capaian belajar siswa memalui perolehan nilai Gain Score mencapai 0,69, yang masuk dalam kategori sedang hingga tinggi. Karenanya, media simulasi dianggap cukup efektif untuk menambah pemahaman siswa mengenai materi CNC [19]. Selain itu, penerapan CNC Simulator dalam proses pendidikan teknik pemesinan dapat memperbaiki perolehan belajar siswa sebab simulasi memberi kesempatan bagi siswa untuk berlatih pemrograman dan pengoperasian mesin secara virtual sebelum menjalani praktik di mesin yang sesungguhnya [20]. Dengan demikian, akumulasi temuan ini mendukung asumsi bahwa media pembelajaran yang menggunakan teknologi simulasi tidak hanya memperluas pengalaman belajar, tetapi juga berfungsi sebagai pendorong dalam meningkatkan penguasaan keterampilan pemrograman CNC *Milling* bagi siswa, sehingga relevan dengan konteks penelitian penggunaan CNC Simulator berbasis Android pada siswa jurusan Teknik Pemesinan di kelas XII, Kabupaten Malang.

Peningkatan kemampuan siswa yang terlihat dari komparasi nilai tes awal dan tes akhir juga bisa dijelaskan melalui beberapa elemen utama yang berkaitan dengan sifat media pembelajaran yang dipakai, yaitu kemampuan visualisasi 3D dan kemudahan penggunaan smartphone berbasis android. Secara konseptual, temuan ini mendukung prinsip konstruktivisme yang menegaskan bahwa peningkatan hasil belajar terjadi karena siswa tidak hanya menerima informasi, tetapi juga terlibat aktif dalam membangun pengetahuan melalui pengalaman belajar yang eksploratif dan kontekstual [21]. Media simulasi memberikan peluang bagi siswa untuk mengeksplorasi gagasan, memperbaiki kekeliruan, serta merenungkan hasil yang didapat dari proses simulasi pemrograman CNC.

Pertama, kemampuan visualisasi tiga dimensi (3D) dan deteksi tabrakan dalam aplikasi CNC Simulator memberikan kesempatan kepada siswa untuk secara langsung mengamati dampak dari logika pemrograman yang dibuat, tanpa perlu khawatir akan merusak mesin CNC yang asli. Temuan ini sejalan dengan perspektif teori pembelajaran berbasis pengalaman, yang

menyoroti pentingnya pengalaman belajar yang nyata dan berkaitan langsung untuk memperkuat pemahaman yang lebih mendalam tentang konsep [22]. Melalui penggunaan visualisasi, siswa dapat menangkap hubungan antara kode program dengan gerakan alat dan objek yang sedang dikerjakan dengan lebih jelas. Di samping itu, fitur deteksi tabrakan memberikan umpan balik secara langsung ketika ada kesalahan dalam penulisan program, sehingga siswa dapat segera melakukan koreksi. Situasi ini mendorong siswa untuk lebih berani melakukan eksplorasi serta percobaan dalam menyusun program CNC. Umpan balik yang diberikan membantu siswa menjadi lebih akrab dengan struktur *G-Code dan M-Code*, yang pada akhirnya berperan dalam peningkatan pencapaian belajar mengajar. Mekanisme ini selaras dengan pendekatan belajar dengan praktik langsung, di mana kegiatan mencoba, membuat kesalahan, dan memperbaiki merupakan bagian penting dalam pembelajaran keterampilan teknis [23].

Kedua, fleksibilitas penggunaan smartphone berbasis Android memberi kemudahan bagi siswa untuk memanfaatkan media pembelajaran kapanpun dan dimanapun. Hal ini menciptakan kesempatan siswa guna melakukan latihan pemrograman CNC secara mandiri di luar jam praktik di sekolah. Dalam teori pembelajaran berbasis teknologi, perangkat digital berperan sebagai sarana untuk memperluas akses terhadap sumber belajar sekaligus meningkatkan interaksi siswa dengan materi yang dipelajari [24]. Keterbatasan jumlah mesin CNC sering menjadi hambatan utama dalam pelaksanaan praktik pembelajaran di SMK. Dengan adanya simulator berbasis aplikasi, siswa tetap dapat berlatih menyusun program serta melakukan simulasi proses *machining* tanpa harus menunggu giliran menggunakan mesin yang sebenarnya. Tingginya intensitas latihan tersebut turut berkontribusi terhadap peningkatan nilai posttest siswa. Berdasarkan hal tersebut, adanya kenaikan nilai *pre-test* dan posttest dalam penelitian ini menunjukkan bahwa pemanfaatan CNC Simulator berbasis Android tidak sekedar memudahkan siswa dalam memahami konsep pemrograman CNC secara lebih visual dan praktis, tetapi juga membuka peluang untuk belajar secara mandiri melalui latihan. Temuan ini sejalan dengan pendekatan pembelajaran yang menempatkan siswa sebagai pusat, dengan memberikan keleluasaan kepada siswa untuk mengelola proses serta strategi belajar sesuai dengan kebutuhan masing-masing. [25].

Sementara itu, temuan penelitian pada aspek keterampilan praktik simulasi menunjukkan nilai rata-rata sebesar 83,97 (skala 0–100), yang mengindikasikan bahwa siswa mampu mengimplementasikan pemahaman teoritis ke dalam pembuatan program sederhana pada simulator dengan baik. Hal ini menunjukkan bahwa penggunaan simulator tidak semata-mata meningkatkan kemampuan pemahaman seperti pemahaman kode, melainkan juga keterampilan seperti ketelitian dalam penulisan program dan kemampuan menginterpretasikan hasil simulasi. Temuan ini mendukung teori *mobile learning* yang menyatakan bahwa perangkat mobile dapat menjadi jembatan efektif antara pembelajaran teori dan praktik, khususnya dalam bidang teknik permesinan [26]. Melalui kemudahan akses dan sifat interaktifnya, siswa dapat melakukan eksplorasi, pengulangan, serta simulasi secara mandiri tanpa sepenuhnya bergantung pada ketersediaan mesin CNC nyata yang terbatas di sekolah. Dengan demikian, perangkat *mobile* menjadi alat yang efektif untuk mengaitkan pembelajaran teori di kelas dengan praktik nyata di ranah industri [27].

Keseluruhan hasil penelitian ini menunjukkan bahwa CNC Simulator berbasis Android merupakan alternatif media pembelajaran yang layak diterapkan di kelas XII, Kabupaten Malang, khususnya dalam kondisi keterbatasan unit mesin CNC. Media ini tidak hanya beimplikasi terhadap kemajuan kompetensi siswa, tetapi juga mampu mendorong motivasi serta kemandirian belajar melalui pengalaman belajar yang lebih fleksibel, interaktif, dan kontekstual [28]. Keberhasilan implementasi media tersebut mengindikasikan bahwa integrasi teknologi berbasis Android dalam pembelajaran vokasi dapat menjadi solusi strategis untuk mengatasi keterbatasan fasilitas praktik tanpa mengurangi kualitas capaian pembelajaran. Siswa tidak hanya memperoleh pemahaman konseptual, tetapi juga memiliki kesempatan

untuk berlatih secara mandiri dan berulang, sehingga penguasaan keterampilan yang dibutuhkan di dunia industri dapat semakin optimal [29].

Dengan demikian, penerapan CNC Simulator yang berbasis Android bukan hanya penting sebagai inovasi dalam media pendidikan, namun juga memiliki dampak nyata untuk memperbaiki model-model pembelajaran di SMK yang lebih beradaptasi dengan kemajuan teknologi. Oleh sebab itu, dianjurkan agar pengajar dan lembaga pendidikan dapat lebih banyak mengintegrasikan media sejenis, serta melanjutkan penelitian untuk mengevaluasi seberapa efektifnya pada berbagai konteks dan keahlian yang berbeda.

4. KESIMPULAN

Dari temuan penelitian, disimpulkan bahwa penggunaan CNC Simulator yang berbasis Android terbukti berdampak baik dalam meningkatkan kemampuan pemrograman CNC *Milling* pada siswa kelas XII Teknik Permesinan. Kenaikan yang terlihat pada nilai rata-rata siswa menunjukkan pergeseran dari kategori cukup ke kategori baik, serta siswa menunjukkan adanya perkembangan capaian hasil belajar setelah perlakuan diberikan. Secara statistik, peningkatan tersebut terbukti signifikan berdasarkan hasil uji *Paired Sample T-Test* menghasilkan nilai t-hitung sebesar 22,155 dengan p-value (0,000 < 0,05). Temuan ini menunjukkan bahwa pemanfaatan simulator memiliki dampak yang signifikan pada keterampilan siswa. Meskipun demikian, tingkat peningkatan yang berada pada kategori sedang mengindikasikan bahwa media CNC simulator berbasis android cukup efektif sebagai penunjang pembelajaran, namun masih memerlukan pengembangan lebih lanjut agar hasil yang dicapai dapat lebih optimal. Selain itu, pemanfaatan simulator berbasis Android dapat menjadi solusi atas keterbatasan sarana praktik, mengurangi risiko kerusakan mesin, serta meningkatkan motivasi, kemandirian belajar, dan kemampuan visualisasi siswa dalam memahami logika pemrograman CNC. Oleh karena itu, CNC Simulator layak dijadikan sebagai alternatif media pembelajaran yang relevan, praktis, dan adaptif dalam mendukung peningkatan kompetensi siswa di bidang teknik permesinan.

Namun, penelitian ini memiliki beberapa batasan yang harus dicermati. Pertama, metode yang digunakan adalah *one-group pre-test* dan *post-test* yang tidak mencakup kelompok kontrol, sehingga peningkatan yang terjadi tidak sepenuhnya dapat diatribusikan hanya pada perlakuan yang diberikan. Kedua, jumlah sampel yang terbatas pada satu kelas juga membatasi ruang generalisasi hasil penelitian. Selain itu, pengukuran kompetensi masih dilakukan berbasis simulasi dan belum diuji secara langsung pada mesin CNC *Milling* nyata, sehingga belum sepenuhnya merepresentasikan kondisi praktik di industri. Durasi perlakuan yang relatif singkat serta penggunaan aplikasi versi *Lite* dengan fitur terbatas juga berpotensi memengaruhi kedalaman capaian belajar siswa. Oleh karena itu, hasil dari penelitian ini harus ditafsirkan dengan cermat, terutamanya mengenai pengaplikasian temuan dan penerapannya di lingkungan praktik industri yang nyata.

Berdasarkan temuan tersebut, disarankan agar guru Teknik Permesinan memanfaatkan CNC Simulator, baik versi Lite maupun Pro, sebagai media pendukung pembelajaran untuk memperkuat pemahaman konsep serta latihan mandiri sebelum praktik pada mesin CNC nyata. Selain itu, guru diharapkan dapat mengembangkan variasi tugas berbasis proyek agar keterampilan siswa semakin terasah secara aplikatif. Sementara itu, untuk peneliti selanjutnya, disarankan agar menerapkan desain penelitian yang lebih kokoh, melibatkan lebih banyak sampel, serta menguji secara langsung dampak penggunaan simulator terhadap kinerja siswa dalam mengoperasikan mesin CNC. Penelitian lanjutan juga dapat mengkaji perbandingan antarplatform simulator maupun mengintegrasikan teknologi lain guna meningkatkan kualitas pembelajaran vokasi secara lebih komprehensif.

REFERENSI

[1] S. Rahmadhani and L. Suryati, "Vocational High School Students ' Competency Needs to the World of Work," *J. Mimb. Ilmu*, vol. 27, no. 2, pp. 349–355, 2022, doi: 10.23887/mi.v27i1.42161.

[2] E. Takyi, M. Mingkun, C. Seth, Y. Ntim, and A. Gabrah, "Analysing Dewey ' s vocational aspects of education and Maslow ' s theory of motivation in support of vocational education and training," *Discov. Educ.*, vol. 2, no. 18, 2023, doi: 10.1007/s44217-023-00042-1.

[3] R. G. Hadgraft and A. Kolmos, "Emerging learning environments in engineering education," *Australas. J. Eng. Educ.*, vol. 25, no. 1, pp. 3–16, Jan. 2020, doi: 10.1080/22054952.2020.1713522.

[4] G. Wibisono, B. S. Wijanarka, and H. Theophile, "The Link And Match Between The Competency Of Vocational High Schools Graduates And The Industry On CAD / CAM And CNC," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 26, no. 1, pp. 26–34, 2020, doi: 10.21831/jptk.v26i1.27932.

[5] Y. Estriyanto, V. L. Sutrisno, and T. W. Saputra, "Studi Keselarasan Pembelajaran CNC/CAM Pada Lptk, Smk, Dan Industri Menyongsong Era Revolusi Industri 4.0 Bidang Manufaktur," *J. Pendidik. Teknol. dan Kejuru.*, vol. 18, no. 1, pp. 111–120, 2021, doi: 10.23887/jptk-undiksha.v18i1.30344.

[6] Fahrizal, D. Manesi, S. Mau, and Priyono, "Pelatihan CAD / CAM bagi Guru Teknik Permesinan di SMK Negeri Kletek Kabupaten Malaka untuk Peningkatan Kompetensi Pemodelan dan Produksi Media Ajar," *PengabdianMu J. Ilm. Pengabdi. Kpd. Masy.*, vol. 10, no. 12, pp. 2787–2793, 2025, doi: 10.33084/pengabdianmu.v10i12.10771.

[7] A. F. De Souza, J. Martins, H. Maiochi, A. D. P. Juliani, and P. A. Jaskowiak, "Development of a mobile application for monitoring and controlling a CNC machine using Industry 4.0 concepts," *Int. J. Adv. Manuf. Technol.*, vol. 111, no. 9, pp. 2545–2552, 2020, doi: 10.1007/s00170-020-06245-2.

[8] M. Milki and Nopriyanti, "Pengaruh Penggunaan Buku Panduan Aplikasi CNC Simulator For Android Terhadp Kemampuan Pembuatan Program Cnc Pada Mahasiswa Pendidikan Teknik Mesin FKIP UNSRI," *Jambura J. Eng. Educ.*, vol. 2, no. 2, pp. 21–29, 2023, doi: 10.37905/jjee.v2i2.20221.

[9] S. Wibowo, M. N. Wangid, F. M. Firdaus, and A. Info, "The relevance of Vygotsky ' s constructivism learning theory with the differentiated learning primary schools," *J. Educ. Learn.*, vol. 19, no. 1, pp. 431–440, 2025, doi: 10.11591/edulearn.v19i1.21197.

[10] G. Makransky and G. B. Petersen, "The Cognitive Affective Model of Immersive Learning (CAMIL): a Theoretical Research-Based Model of Learning in Immersive Virtual Reality," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 33, pp. 937–958, 2021, doi: 10.1007/s10648-020-09586-2.

[11] J. C. Castro-Alonso, B. B. de Koning, L. Fiorella, and F. Paas, "Five Strategies for Optimizing Instructional Materials: Instructor- and Learner-Managed Cognitive Load," *Educ. Psychol. Rev.*, vol. 33, no. 4, pp. 1379–1407, 2021, doi: 10.1007/s10648-021-09606-9.

[12] L. Suoth, E. J. Mutji, and R. Balamu, "Penerapan Pendekatan Konstruktivisme Vygotsky Terhadap Pembelajaran Bahasa Indonesia," *J. Lesson Learn. Stud.*, vol. 5, no. 1, pp. 48–53, 2022, doi: 10.23887/jlls.v5i1.40510.

[13] M. R. Nurulhidayah, P. H. M. Lubis, and M. Ali, "Pengaruh Model Pembelajaran Discovery Learning Menggunakan Media Simulasi Phet Terhadap Pemahaman Konsep Fisika Siswa," *J. Pendidik. Fis.*, vol. 8, no. 1, pp. 95–103, 2020, doi: 10.24127/jpf.v8i1.2461.

[14] S. Ahdan, A. R. Putri, and A. Sucipto, "Aplikasi M-Learning Sebagai Media Pembelajaran Conversation Pada *Homey English*," *J. Sist. Inf.*, vol. 9, no. 3, pp. 493–

509, 2020, doi: 10.32520/stmsi.v9i3.884.
[15] P. Andariansyah, C. R. Prihantoro, and H. D. Nugraha, "Efektivitas Penerapan Software Swansoft CNC Simulation Terhadap Hasil Belajar Psikomotorik Siswa pada Elemen Teknik Pemesinan Nonkonvensional di SMK," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 13, no. 1, pp. 75–85, 2025, doi: 10.23887/jptm.v13i1.91248.
[16] M. Sri, A. Dewi, N. Ayu, and P. Lestari, "E-Modul Interaktif Berbasis Proyek Terhadap Hasil," *J. Ilm. Pendidik. dan Pembelajaran*, vol. 4, no. 3, pp. 433–441, 2020, doi: 10.23887/jipp.v4i3.28035.
[17] R. F. Rahmat, L. Mursyida, F. Rizal, Krismadinata, and Y. Yunus, "Pengembangan media pembelajaran berbasis mobile learning pada mata pelajaran simulasi digital," *J. Inov. Teknol. Pendidik.*, vol. 6, no. 2, pp. 116–126, 2019, doi: 10.21831/jitp.v6i2.27414.
[18] A. Widianto and M. Khumaedi, "Pengembangan Media Audio Visual Simulasi Setting Mesin CNC Turning Untuk Meningkatkan Hasil Belajar Pengetahuan Pembubutan Rata," *J. Pendidik. Tek. Mesin*, vol. 21, no. 1, pp. 10–15, 2021, doi: 10.15294/jptm.v21i1.31620.
[19] M. Li, Y. Li, and H. Guo, "Research and application of situated teaching design for NC machining course based on virtual simulation technology," *Comput. Appl. Eng. Educ.*, vol. 28, no. 3, pp. 658–674, May 2020, doi: https://doi.org/10.1002/cae.22234.
[20] M. A. Setiawan and Widiyanti, "The Impact of CNC Learning Module Implementation on Technical Threading Skills Using CNC Turning Machines at," *Journals Educ. Sci.*, vol. 9, no. 4, pp. 2005–2016, 2025, doi: 10.31258/jes.9.4.p.2005-2016.
[21] M. A. Almulla, "Constructivism learning theory: A paradigm for students ' critical thinking, creativity, and problem solving to affect academic performance in higher education," *Cogent Educ.*, vol. 10, no. 1, 2023, doi: 10.1080/2331186X.2023.2172929.
[22] T. H. Morris, "Experiential learning – a systematic review and revision of Kolb's model," *Interact. Learn. Environ.*, vol. 28, no. 8, pp. 1064–1077, Nov. 2020, doi: 10.1080/10494820.2019.1570279.
[23] S. Niiranen, "Supporting the development of students' technological understanding in craft and technology education via the learning-by-doing approach," *Int. J. Technol. Des. Educ.*, vol. 31, no. 1, pp. 81–93, 2021, doi: 10.1007/s10798-019-09546-0.
[24] K. Loderer, R. Pekrun, and J. C. Lester, "Beyond cold technology: A systematic review and meta-analysis on emotions in technology-based learning environments," *Learn. Instr.*, vol. 70, p. 101162, 2020, doi: 10.1016/j.learninstruc.2018.08.002.
[25] D. Dada, O. T. Laseinde, and L. Tartibu, "Student-Centered Learning Tool for Cognitive Enhancement in the Learning Environment," *Procedia Comput. Sci.*, vol. 217, pp. 507–512, 2023, doi: 10.1016/j.procs.2022.12.246.
[26] M. Shortt, S. Tilak, I. Kuznetcova, B. Martens, and B. Akinkuolie, "Gamification in mobile-assisted language learning: a systematic review of Duolingo literature from public release of 2012 to early 2020," *Comput. Assist. Lang. Learn.*, vol. 36, no. 3, pp. 517–554, Mar. 2023, doi: 10.1080/09588221.2021.1933540.
[27] C.-J. Chung, G.-J. Hwang, and C.-L. Lai, "A review of experimental mobile learning research in 2010–2016 based on the activity theory framework," *Comput. Educ.*, vol. 129, pp. 1–13, 2019, doi: 10.1016/j.compedu.2018.10.010.
[28] R. Efendi, G. Ali, W. A. Purnomo, and R. A. Wulandari, "Augmented Reality Based Competency Based Learning on Computer Network Learning in Vocational Education Vocational School," *J. Penelit. dan Pengemb. Pendidik.*, vol. 7, no. 2, pp. 242–253, 2023, doi: 10.23887/jppp.v7i2.62263.
[29] R. Ramadhan, R. E. Wulansari, E. Indrawan, D. Novaliendry, and D. A. Saputra, "Development of Interactive Media to Improve CNC Machine Malfunction Handling Skills of TU 3A Based on Immersive Gamification," *J. Penelit. Pendidik. IPA*, vol. 11, no. 12, pp. 1163–1171, 2025, doi: 10.29303/jppipa.v11i12.13088.