

Pengaruh Penggunaan CAD atau CAM terhadap Hasil Belajar Siswa pada Mata Pelajaran CNC

Fitrinaldi Fitrinaldi¹, Khairi Rosadi², Faridl M. Husain³, Taufik Hidayat⁴,
Desi Rahmatina¹, Encik Abdulhajar⁶

Magister Paedagogi, Pascasarjana, Universitas Maritim Raja Ali Haji^{1,2,3,4,5,6}

Email Korespondensi: fitrinaldimr@gmail.com¹

Dikirim: 30 November 2024 | Direvisi: 10 Desember 2024 | Diterima: 21 Desember 2024

DOI: <https://doi.org/10.31629/khidmat.v1i3.7498>

ABSTRAK

Artikel ini bertujuan untuk mengevaluasi pengaruh penggunaan perangkat lunak Computer-Aided Design (CAD) dan Computer-Aided Manufacturing (CAM) terhadap hasil belajar siswa pada mata pelajaran Computer Numerical Control (CNC) di Sekolah Menengah Kejuruan (SMK). Metode yang digunakan adalah eksperimen dengan desain kelompok kontrol, melibatkan dua kelas dari SMK Negeri 3 Tanjungpinang, yaitu kelas eksperimen (menggunakan CAD/CAM) dan kelas kontrol (tanpa CAD/CAM). Setiap kelas terdiri dari 34 siswa. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kelas eksperimen memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi (67,04) dibandingkan kelas kontrol (63,31), dengan selisih signifikan sebesar 3,73 poin. Data statistik juga menunjukkan bahwa kelompok eksperimen memiliki distribusi nilai yang lebih homogen, dengan standar deviasi lebih rendah (3,06) dibandingkan kelompok kontrol (5,13), yang mengindikasikan efektivitas penggunaan CAD/CAM dalam pembelajaran. Penggunaan CAD/CAM terbukti meningkatkan pemahaman siswa terhadap desain mekanik, visualisasi proses pemesinan, serta kemampuan praktis dalam pemrograman CNC. Integrasi teknologi ini tidak hanya relevan dengan tuntutan Industri 4.0 tetapi juga meningkatkan keterlibatan siswa dan mempersiapkan mereka menghadapi dunia kerja modern. Penulis merekomendasikan penerapan CAD/CAM secara lebih luas dalam kurikulum SMK, dengan dukungan pelatihan guru, investasi perangkat lunak, dan kerja sama dengan industri untuk memperluas peluang magang siswa. Selain itu, penelitian lebih lanjut dapat mengeksplorasi penggunaan teknologi berbasis Virtual Reality (VR) dan Augmented Reality (AR) dalam pembelajaran CNC untuk meningkatkan efektivitas dan kreativitas siswa.

KATA KUNCI: Computer Aided Design (CAD), CNC, Pendidikan Kejuruan

PENDAHULUAN

Integrasi teknologi canggih, khususnya dalam pendidikan Computer Numerical Control (CNC), sangat penting untuk mengembangkan keahlian teknik dalam manufaktur modern. Meski teknologi telah diadopsi ke dalam kurikulum, tantangan

signifikan tetap ada dalam meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep CNC dan aplikasinya. Evolusi manufaktur, yang didorong oleh inisiatif Industri 4.0, menuntut adaptasi kurikulum berkelanjutan untuk menyesuaikan dengan kemajuan teknologi yang cepat. Selain itu, penerapan arsitektur kontrol pembelajaran otomatis dapat memfasilitasi pembelajaran real-time dan kemampuan adaptasi dalam sistem manufaktur, yang berdampak positif terhadap hasil Pendidikan (Kovalenko et al., 2022). Penggunaan teknik pemodelan seperti algoritma Optimasi Global Efisien memungkinkan akurasi simulasi CNC yang lebih tinggi, memberikan siswa pemahaman mendalam tentang proses pemesinan (Kugalur Palanisamy et al., 2022), sehingga persiapan mereka untuk lanskap manufaktur berbasis data dan otomatis semakin matang (Wen et al., 2023) (Wosnik et al., 2006).

Pendidikan kejuruan di Indonesia, khususnya di SMK, menghadapi tantangan dalam mengintegrasikan teknologi canggih ke dalam pembelajaran, dengan metode pengajaran konvensional sering kali menghambat hasil optimal bagi siswa. Penerapan program *Computer Aided Design (CAD)/ Computer Aided Manufacturing (CAM)* dapat menjadi solusi transformatif yang meningkatkan keterlibatan dan efektivitas pembelajaran. Studi menunjukkan bahwa lingkungan yang kaya teknologi, seperti studio kolaboratif, dapat meningkatkan kinerja siswa; dalam salah satu, skor ujian meningkat rata-rata sebesar 11,8% ketika konten disampaikan dalam pengaturan ini (Donkin & Kynn, 2021). Selain itu, penggunaan teknologi informasi dan komunikasi (TIK) yang efektif dalam pengawasan instruksional terbukti meningkatkan kualitas pengajaran dan hasil pembelajaran siswa (Wiyono et al., 2022). Merangkul teknologi seperti CAD/CAM sejalan dengan tren pendidikan menuju keberlanjutan dan pendekatan pembelajaran yang lebih personal, yang esensial untuk mempersiapkan siswa menghadapi kebutuhan tenaga kerja modern (Visvizi & Daniela, 2019) (Bjelobaba et al., 2023).

Perangkat lunak CAD/CAM secara signifikan meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep desain mekanik dan teknis, terutama dalam konteks mesin CNC. CAD/CAM memfasilitasi visualisasi digital dan manipulasi desain yang memungkinkan lingkungan belajar terstruktur, mendukung keterampilan praktis dalam desain industri. Integrasi CAD/CAM dalam proses manufaktur, seperti yang ditunjukkan dalam tentang struktur mikro dan nano yang kompleks, berperan dalam mengoptimalkan strategi pemesinan dan meningkatkan efisiensi produksi melalui penggunaan kode G (Niessen et al., 2019). Selain itu, sistem CAD/CAM mendukung pengelolaan struktur data dinamis yang konsisten, penting bagi pembelajaran dan penerapan dalam skenario dunia nyata. Lebih jauh, kemajuan dalam CAD/CAM, seperti penggabungan pembelajaran penguatan mendalam untuk pengoptimalan desain grafis, memperlihatkan potensi alat pendidikan yang ditingkatkan, merampingkan proses desain dan mempercepat waktu belajar (Wang, C., Zhang, Y., Ding, H., 2023), menjadikan CAD/CAM sebagai sumber pendidikan penting yang menjembatani pengetahuan teoritis dengan aplikasi praktis dalam manufaktur (Hua et al., 2023) (Bilalis et al., 2022).

Integrasi teknologi dalam pendidikan, khususnya dalam pengajaran Computer Numerical Control (CNC), sangat penting untuk mengembangkan keterampilan teknis yang dibutuhkan dalam manufaktur modern. Meski kemajuan telah dicapai, tantangan

tetap ada dalam meningkatkan pemahaman siswa tentang konsep CNC dan aplikasinya secara praktis. menunjukkan bahwa, meski kompetensi digital sangat krusial bagi pendidik dan siswa, masih terdapat kesenjangan dalam penerapan keterampilan ini di lingkungan belajar yang berbasis teknologi (Sarva et al., 2023). Selain itu, evolusi teknologi manufaktur, seperti Cyber-Manufacturing Systems (CMS), menekankan perlunya pemahaman mendalam tentang CNC untuk memanfaatkan otomatisasi dan meningkatkan efisiensi produksi (Ahmed et al., 2023). Lebih jauh, pentingnya pemantauan real-time dalam proses CNC melalui metodologi lanjutan seperti analisis getaran struktural menyoroti perlunya siswa memahami aspek teoritis dan praktis operasi, guna mempersiapkan mereka untuk menghadapi kebutuhan manufaktur modern yang semakin otomatis (Wen et al., 2023) (Jia et al., 2018).

Pendidikan kejuruan di Indonesia, khususnya di bidang teknik seperti pembelajaran CNC, menghadapi tantangan signifikan akibat metode pengajaran yang usang dan keterbatasan fasilitas pembelajaran. Banyak sekolah menengah kejuruan (SMK) masih menggunakan pendekatan pedagogik tradisional yang belum mengintegrasikan teknologi terkini, menyebabkan kesenjangan dalam kualitas pendidikan dan rendahnya hasil belajar siswa (Leavy et al., 2023) (Delcker, 2023). Integrasi teknologi canggih seperti Virtual Reality (VR) menunjukkan potensi besar dalam meningkatkan perolehan keterampilan dan pengembangan kompetensi pada pelatihan kejuruan, dengan studi menunjukkan efektivitas VR dalam mensimulasikan tugas-tugas nyata (Mulders et al., 2024). Selain itu, penggabungan kecerdasan buatan dan analisis pembelajaran dapat menyediakan umpan balik yang dipersonalisasi dan meningkatkan keterlibatan siswa, yang penting untuk memperdalam pemahaman mereka tentang konsep teknik yang kompleks (Ouyang et al., 2023). Untuk mengatasi tantangan ini, diperlukan reformasi kurikulum yang komprehensif dengan penekanan pada kompetensi digital dan metode pengajaran inovatif (Delcker, 2023) (Bjelobaba et al., 2023).

Salah satu solusi yang diusulkan untuk mengatasi masalah tersebut adalah dengan memanfaatkan program CAD/CAM sebagai media pembelajaran dalam mata pelajaran CNC. CAD/CAM adalah perangkat lunak yang memungkinkan siswa untuk merancang dan memvisualisasikan desain mekanikal dan teknikal secara digital sebelum diterapkan pada mesin CNC. CAD/CAM dapat mempercepat pemahaman siswa terhadap proses desain dan memungkinkan mereka untuk memperoleh keterampilan praktis dalam dunia industri. Meskipun demikian, efektivitas penggunaan CAD/CAM dalam konteks pembelajaran CNC di SMK belum banyak diteliti secara mendalam, sehingga perlu adanya kajian lebih lanjut untuk mengevaluasi dampaknya terhadap hasil belajar siswa.

Meskipun manfaat penggunaan CAD/CAM dalam pembelajaran sudah cukup dikenal, masih belum banyak yang mengkaji pengaruh langsungnya terhadap hasil belajar siswa di SMK, khususnya dalam mata pelajaran CNC. mengenai efektivitas penggunaan CAD/CAM sebagai metode pembelajaran eksperimen di kelas kejuruan masih terbatas, padahal di era digital ini, penguasaan CAD/CAM menjadi salah satu kompetensi yang sangat dibutuhkan di dunia industri. Keterbatasan ini menunjukkan

adanya gap antara potensi teknologi CAD/CAM dengan pemanfaatannya secara maksimal dalam pendidikan kejuruan di Indonesia.

METODE

Metode yang digunakan dalam studi ini adalah metode eksperimen, melibatkan dua kelas yaitu kelas eksperimen menggunakan program CAD/CAM dalam pembelajaran CNC (11 PM2) SMK Negeri 3 Tanjungpinang sebanyak 34 sampel dan kelas kontrol tanpa menggunakan program CAD/CAM (11 PM1) SMK Negeri 3 Tanjungpinang sebanyak 34 sampel dengan waktu 1 semester (ganjil), sesuai dengan temuan dari berbagai pendidikan yang menekankan pentingnya integrasi teknologi untuk meningkatkan hasil belajar. Misalnya, penggunaan komputer dalam pendidikan kejuruan telah terbukti meningkatkan kualitas pengajaran dan prestasi siswa, meskipun tantangan implementasi tetap ada (Oguzor, 2011). Selain itu, desain ini mencerminkan praktik terbaik dalam pendidikan, seperti uji coba acak klaster, yang memberikan pengukuran intervensi pendidikan yang lebih akurat (Yildiz et al., 2022). Penggunaan teknologi seperti CAD/CAM sangat penting dalam pelatihan kejuruan, karena tidak hanya membantu siswa memahami konsep yang kompleks tetapi juga menumbuhkan kreativitas dan keterampilan pemecahan masalah yang krusial dalam pendidikan STEAM (Zhan et al., 2023). Dengan demikian, pendekatan ini didukung oleh bukti bahwa lingkungan belajar berbasis teknologi dapat secara signifikan meningkatkan keterlibatan siswa dan hasil belajar dalam mata pelajaran teknis.

Data dikumpulkan melalui hasil tes belajar setelah kedua kelas diberi perlakuan yang sama, untuk mengetahui perbedaan efektivitas program CAD/CAM terhadap hasil belajar siswa. Uji statistik deskriptif digunakan untuk menggambarkan distribusi nilai rata-rata, median, modus, dan ukuran dispersi (seperti rentang, varians, dan standar deviasi) pada kedua kelas. Selain itu, uji normalitas Kolmogorov-Smirnov dilakukan untuk memastikan bahwa data dari kedua kelas berdistribusi normal, analisis lebih lanjut dengan teknik statistik parametrik.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil ini berfokus pada analisis nilai hasil belajar siswa pada kompetensi pengoperasian mesin CNC (Computer Numerical Control) di dua kelas, yaitu 11PM1 dan 11PM2.

Tabel 1. Nilai Hasil Belajar CNC 11PM1

No	Nilai Kompetensi									Nilai Akhir
	Responden	Bagian bagian mesin Bubut CNC	Tool offset	Sistem Pengukuran CNC	Bagian program CNC	Membuat Program CNC Manual	Membuat Prrogram CNC Master CAM	Input program ke mesin CNC	Eksekusi Program Mesin CNC	
1	R1	61	62	55	65	57	59	65	45	58.63

No	Nilai Kompetensi									Nilai Akhir
	Responden	Bagian bagian mesin Bubut CNC	Tool offset	Sistem Pengukuran CNC	Bagian program CNC	Membuat Program CNC Manual	Membuat Prrogram CNC Master CAM	Input program ke mesin CNC	Eksekusi Program Mesin CNC	
2	R2	75	81	70	75	69	68	77	76	73.88
3	R3	70	73	74	64	63	68	69	66	68.38
4	R4	72	73	75	77	69	68	71	65	71.25
5	R5	69	73	69	69	69	69	69	69	69.50
6	R6	73	72	71	78	60	65	75	62	69.50
7	R7	72	68	64	45	55	52	60	70	60.75
8	R8	55	53	75	55	51	53	65	60	58.38
9	R9	60	70	60	63	65	58	53	69	62.25
10	R10	50	53	50	64	45	48	47	51	51.00
11	R11	61	63	59	64	69	68	55	68	63.38
12	R12	63	60	73	65	63	63	63	63	64.13
13	R13	65	64	60	63	70	61	63	70	64.50
14	R14	66	61	64	62	69	68	51	67	63.50
15	R15	58	60	73	51	53	60	53	51	57.38
16	R16	73	70	71	68	65	66	63	74	68.75
17	R17	57	61	64	67	45	49	65	58	58.25
18	R18	64	70	74	60	63	69	60	65	65.63
19	R19	67	65	60	62	63	51	54	60	60.25
20	R20	70	64	63	61	60	65	68	63	64.25
21	R21	69	55	59	70	74	51	68	63	63.63
22	R22	50	55	60	62	65	51	52	53	56.00
23	R23	62	70	63	60	61	68	63	65	64.00
24	R24	79	75	76	73	74	78	77	80	76.50
25	R25	59	62	61	60	64	63	68	67	63.00
26	R26	71	55	60	64	58	68	60	67	62.88
27	R27	63	60	59	60	64	55	55	62	59.75
28	R28	65	71	55	65	73	54	53	71	63.38
29	R29	61	60	59	58	65	54	60	70	60.88
30	R30	64	65	45	65	55	45	62	70	58.88
31	R31	63	60	70	65	62	58	59	59	62.00
32	R32	74	59	52	48	74	71	60	51	61.13
33	R33	61	62	64	65	61	71	62	73	64.88
34	R34	61	65	67	64	58	60	59	63	62.13

Sumber: diolah Penulis, 2024

Kompetensi yang diukur mencakup berbagai aspek keterampilan teknis, seperti pengenalan bagian-bagian mesin bubut CNC, penggunaan tool offset, sistem pengukuran CNC, pemrograman manual, pemrograman menggunakan Master CAM,

hingga eksekusi program pada mesin CNC. Data nilai ini menjadi indikator kemampuan siswa dalam memahami dan mengaplikasikan konsep pengoperasian mesin CNC secara praktis di lingkungan pembelajaran.

Tabel 2. Nilai Hasil Belajar CNC 11PM2

No	Responden	Nilai Kompetensi								Nilai Akhir
		Bagian bagian mesin Bubut CNC	Tool offset	Sistem Pengukuran CNC	Bagian program CNC	Membuat Program CNC Manual	Membuat Prgogram CNC Master CAM	Input program ke mesin CNC	Eksekusi Program Mesin CNC	
1	R1	62	76	65	67	62	60	67	65	65.50
2	R2	74	65	70	76	74	65	76	76	72.00
3	R3	68	67	74	65	68	70	78	72	70.25
4	R4	74	66	67	79	74	75	67	60	70.25
5	R5	74	78	60	75	74	56	68	70	69.38
6	R6	78	65	65	60	78	60	74	60	67.50
7	R7	77	60	68	65	77	78	76	65	70.75
8	R8	60	75	56	70	60	69	56	63	63.63
9	R9	65	65	67	68	65	68	60	75	66.63
10	R10	55	71	59	69	55	70	76	56	63.88
11	R11	66	56	60	65	66	80	63	67	65.38
12	R12	68	66	67	69	68	50	65	65	64.75
13	R13	70	67	65	78	70	54	75	70	68.63
14	R14	71	56	75	56	71	58	72	65	65.50
15	R15	63	65	60	76	63	73	65	63	66.00
16	R16	78	67	70	56	78	67	70	76	70.25
17	R17	62	65	67	58	62	79	67	60	65.00
18	R18	69	60	68	59	69	65	60	67	64.63
19	R19	72	74	60	65	72	64	73	73	69.13
20	R20	75	69	74	68	75	62	54	70	68.38
21	R21	74	56	70	69	74	78	53	56	66.25
22	R22	55	60	65	56	55	74	56	78	62.38
23	R23	67	76	58	60	67	79	76	60	67.88
24	R24	84	68	56	66	84	76	86	65	73.13
25	R25	64	76	50	69	64	73	50	70	64.50
26	R26	76	68	59	77	76	70	60	65	68.88
27	R27	68	76	65	50	68	65	67	72	66.38
28	R28	74	63	57	65	74	60	65	73	66.38
29	R29	50	67	58	56	50	56	68	56	57.63
30	R30	80	76	56	78	80	58	76	58	70.25
31	R31	65	60	70	75	65	59	74	64	66.50
32	R32	78	55	76	50	78	50	70	69	65.75
33	R33	79	64	57	53	79	76	65	56	66.13

No	Nilai Kompetensi									Nilai Akhir
	Responden	Bagian bagian mesin Bubut CNC	Tool offset	Sistem Pengukuran CNC	Bagian program CNC	Membuat Program CNC Manual	Membuat Prrogram CNC Master CAM	Input program ke mesin CNC	Eksekusi Program Mesin CNC	
34	R34	66	67	69	70	66	76	67	78	69.88

Sumber: diolah Penulis, 2024

Berdasarkan tabel nilai yang disajikan, terdapat perbedaan performa individu dalam menguasai setiap kompetensi. Hal ini menunjukkan adanya variasi tingkat pemahaman dan keterampilan siswa dalam menggunakan teknologi CNC. Beberapa siswa berhasil mencapai nilai rata-rata yang tinggi di seluruh kompetensi, sementara yang lainnya menunjukkan kelemahan di beberapa aspek, seperti eksekusi program atau penggunaan tool offset. Perbedaan ini dapat disebabkan oleh berbagai faktor, termasuk latar belakang kemampuan awal, minat belajar, dan metode pengajaran yang diterapkan.

Pembahasan lebih lanjut akan membandingkan hasil dari kedua kelas untuk mengevaluasi efektivitas pembelajaran serta mengidentifikasi kompetensi yang memerlukan perhatian lebih dalam pengajaran. Analisis ini juga akan membantu dalam memberikan rekomendasi untuk meningkatkan kualitas pembelajaran CNC di masa mendatang, termasuk penggunaan pendekatan yang lebih adaptif terhadap kebutuhan siswa dan peningkatan fasilitas pendukung praktik di lingkungan sekolah. Dengan demikian, hasil ini diharapkan dapat menjadi acuan dalam pengembangan program pelatihan CNC yang lebih efektif.

Tabel 3. Data Statistik Kelas Eksperimen dan Kelas Kontrol

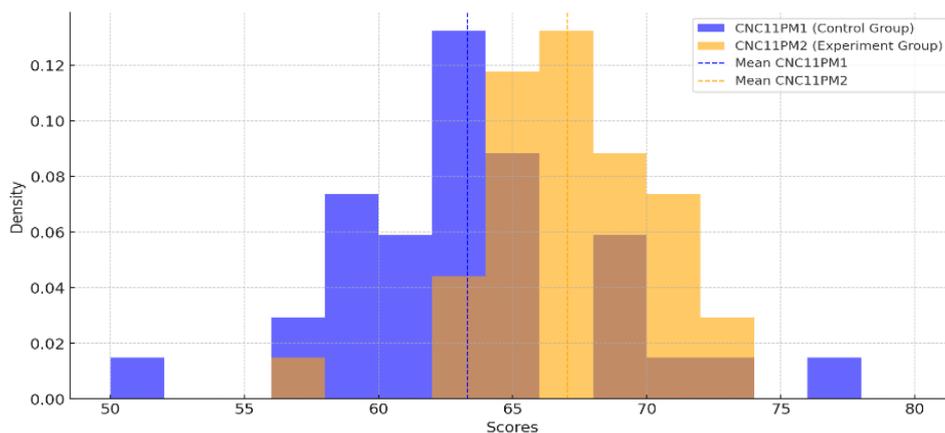
Statistics

		CNC11PM1	CNC11PM2
N	Valid	34	34
	Missing	0	0
Mean		63.3112	67.0394
Std. Error of Mean		.87928	.52545
Median		63.1900	66.4400
Mode		63.38 ^a	70.25
Std. Deviation		5.12703	3.06385
Variance		26.286	9.387
Skewness		.414	-.542
Std. Error of Skewness		.403	.403
Kurtosis		.955	1.418
Std. Error of Kurtosis		.788	.788
Range		25.50	15.50

Minimum		51.00	57.63
Maximum		76.50	73.13
Sum		2152.58	2279.34
Percentiles	25	60.1250	65.2850
	50	63.1900	66.4400
	75	65.0675	69.5050

Sumber: diolah Penulis, 2024

Analisis deskriptif menunjukkan bahwa kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki rata-rata nilai sebesar 67.04, lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 yang memiliki rata-rata nilai 63.31, dengan selisih 3.73 poin. Nilai median kelompok kontrol CNC11PM2 juga lebih tinggi, yaitu 66.44 dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 sebesar 63.19, yang menunjukkan bahwa nilai pada kelompok eksperimen CNC11PM2 cenderung lebih baik secara keseluruhan. Selain itu, mode pada kelompok eksperimen CNC11PM2 adalah 70.25, lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 yang memiliki mode 63.38, mengindikasikan frekuensi nilai tertinggi pada kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih baik. Perbedaan dalam mean, median, dan mode ini memperlihatkan adanya potensi peningkatan hasil belajar pada kelompok eksperimen CNC11PM2. Secara umum, hasil ini menunjukkan bahwa perlakuan yang diterapkan pada kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih efektif dalam meningkatkan nilai siswa.



Grafik 1. Distribusi nilai kelompok kontrol (CNC11PM1) dan kelompok eksperimen (CNC11PM2)

Sumber: diolah Penulis, 2024

Dispersi data menunjukkan bahwa kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki standar deviasi lebih kecil (3.06) dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 (5.13), yang menandakan bahwa nilai pada kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih homogen. Rentang nilai kelompok eksperimen CNC11PM2 juga lebih kecil, yaitu 15.50 dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 sebesar 25.50, menunjukkan distribusi nilai yang lebih seragam. Variansi kelompok eksperimen CNC11PM2 yang lebih rendah, yaitu 9.39 dibandingkan 26.29 pada kelompok kontrol CNC11PM1, memperkuat kesimpulan

bahwa hasil nilai kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih konsisten. Ketiga indikator ini menunjukkan bahwa nilai kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki distribusi yang lebih stabil dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1. Hal ini menambah bukti bahwa perlakuan pada kelompok eksperimen CNC11PM2 menghasilkan hasil belajar yang lebih baik.

Dari distribusi data, kelompok kontrol CNC11PM1 memiliki kemiringan positif sebesar 0.41, yang menunjukkan bahwa sebagian besar nilai berada di bawah rata-rata. Sebaliknya, kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki kemiringan negatif sebesar -0.54, yang menandakan bahwa sebagian besar nilai berada di atas rata-rata. Kurtosis pada kelompok eksperimen CNC11PM2 juga lebih tinggi (1.42) dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1 (0.96), menunjukkan distribusi nilai pada kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih terpusat di sekitar rata-rata. Interpretasi umum dari hasil ini adalah bahwa kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki nilai yang lebih tinggi, lebih konsisten, dan lebih terdistribusi di atas rata-rata dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1. Dengan demikian, dapat disimpulkan bahwa metode atau perlakuan yang diberikan pada kelompok eksperimen CNC11PM2 lebih efektif dalam meningkatkan hasil belajar siswa.

Kelompok kontrol memiliki distribusi yang lebih melebar dengan kemiringan positif, menunjukkan bahwa sebagian besar nilai berada di bawah rata-rata. Sebaliknya, distribusi kelompok eksperimen lebih terpusat di sekitar rata-rata dengan kemiringan negatif, menandakan bahwa sebagian besar nilai berada di atas rata-rata. Hal ini mencerminkan efektivitas metode pembelajaran dengan CAD/CAM dalam meningkatkan hasil belajar siswa.

Tabel 4. Paired Samples Test

Paired Samples Test									
Paired Differences		t			df		Sig. (2-tailed)		
Mean		Std. Deviation			Std. Error Mean		95% Confidence Interval of the Difference		
		Lower			Upper				
Pair 1	CNC11 PM1 - CNC11 PM2	-3.72824	4.08993	.70142	-5.15528	-2.30119	-5.315	33	.000

Sumber: Penulis, 2024

Hasil analisis menunjukkan bahwa nilai rata-rata perbedaan antara CNC11PM1 dan CNC11PM2 adalah -3.72824, yang berarti rata-rata nilai kelompok CNC11PM2 lebih tinggi sebesar 3.73 poin dibandingkan CNC11PM1. Perbedaan ini mengindikasikan adanya peningkatan hasil belajar pada kelompok CNC11PM2 setelah penerapan perlakuan tertentu. Standar deviasi dari perbedaan nilai sebesar 4.08993 menunjukkan seberapa besar penyimpangan nilai terhadap rata-rata perbedaan. Standar error rata-

rata perbedaan sebesar 0.70142 menandakan estimasi rata-rata memiliki tingkat presisi yang baik. Nilai standar error yang kecil memperkuat keyakinan bahwa hasil analisis ini cukup dapat diandalkan.

Interval kepercayaan 95% untuk perbedaan rata-rata berada pada rentang -5.15528 hingga -2.30119, yang tidak mencakup nilai nol. Hal ini menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata nilai antara CNC11PM1 dan CNC11PM2 signifikan secara statistik. Nilai t hitung sebesar -5.315 dengan derajat kebebasan (df) sebesar 33 dan nilai signifikansi (Sig. 2-tailed) < 0.001 semakin menegaskan kesimpulan tersebut. Nilai signifikansi yang jauh lebih kecil dari 0.05 menandakan bahwa perbedaan rata-rata tidak terjadi secara kebetulan. Dengan demikian, perlakuan yang diterapkan pada CNC11PM2 memberikan dampak yang nyata terhadap peningkatan hasil belajar.

Terdapat perbedaan signifikan antara hasil belajar pada kelompok CNC11PM1 dan CNC11PM2. Kelompok CNC11PM2 menunjukkan peningkatan hasil belajar yang lebih tinggi dan konsisten dibandingkan CNC11PM1. Perlakuan yang diterapkan pada CNC11PM2 terbukti efektif, sebagaimana terlihat dari nilai rata-rata yang lebih tinggi dan distribusi nilai yang lebih homogen. Secara statistik, perbedaan ini didukung oleh nilai signifikansi yang kuat, sehingga dapat disimpulkan bahwa metode atau pendekatan pada CNC11PM2 lebih unggul dalam meningkatkan hasil belajar siswa. Analisis ini memberikan bukti yang kuat untuk mendukung perlakuan serupa dalam pembelajaran di masa depan.

Hasil ini menunjukkan bahwa kelompok eksperimen CNC11PM2 memiliki nilai rata-rata yang lebih tinggi dibandingkan kelompok kontrol CNC11PM1, dengan selisih sebesar 3,73 poin. Perbedaan ini memberikan bukti konkret bahwa integrasi teknologi CAD/CAM dalam pembelajaran CNC berkontribusi signifikan dalam meningkatkan pemahaman siswa. Menurut Ahmed et al. (2023), teknologi modern seperti CAD/CAM memainkan peran penting dalam membantu siswa memahami konsep manufaktur yang kompleks melalui visualisasi dan simulasi digital. Dengan demikian, teknologi ini mampu menjembatani kesenjangan antara kebutuhan industri modern dan kemampuan praktis siswa. Perbaikan ini relevan dengan gap pertama, yaitu perlunya peningkatan pemahaman siswa terhadap konsep CNC dan aplikasinya secara praktis.

Distribusi nilai kelompok eksperimen CNC11PM2 yang lebih homogen, seperti terlihat dari standar deviasi yang lebih kecil (3,06 dibandingkan 5,13 pada kelompok kontrol), menunjukkan bahwa teknologi CAD/CAM memberikan dampak yang konsisten pada hasil belajar siswa. Hal ini sesuai dengan temuan Sarva et al. (2023), yang menyoroti bahwa integrasi teknologi berbasis digital dapat meningkatkan keterlibatan dan efisiensi pembelajaran siswa. Dengan distribusi nilai yang lebih seragam, teknologi ini mengurangi disparitas dalam hasil belajar, sehingga semua siswa dapat mencapai pemahaman yang lebih merata. Temuan ini menjawab gap kedua, yaitu perlunya pendekatan yang lebih efektif dalam penerapan teknologi berbasis pendidikan di lingkungan belajar.

Kemiringan negatif pada distribusi nilai kelompok eksperimen CNC11PM2 (-0,54) dibandingkan dengan kelompok kontrol (0,41) menunjukkan bahwa sebagian besar siswa pada kelompok eksperimen memiliki nilai di atas rata-rata. Fenomena ini memperlihatkan dampak positif dari metode pembelajaran yang menggunakan

CAD/CAM dalam mengoptimalkan potensi siswa. Leavy et al. (2023) menekankan pentingnya teknologi pendidikan untuk menciptakan lingkungan belajar yang kondusif, yang memungkinkan siswa untuk mengembangkan keterampilan kritis yang sesuai dengan kebutuhan dunia kerja. Hasil ini mengatasi gap ketiga dengan memberikan bukti empiris bahwa integrasi teknologi seperti CAD/CAM mampu meningkatkan kualitas pembelajaran CNC.

Kurtosis yang lebih tinggi pada kelompok eksperimen CNC11PM2 (1,42 dibandingkan 0,96 pada kelompok kontrol) menunjukkan bahwa nilai-nilai siswa lebih terpusat di sekitar rata-rata. Kondisi ini mencerminkan stabilitas dalam pencapaian hasil belajar, yang sulit dicapai dengan metode pembelajaran tradisional. Delcker (2023) menyatakan bahwa kurikulum pendidikan kejuruan perlu dirancang dengan mempertimbangkan pendekatan berbasis teknologi untuk meningkatkan konsistensi dan efektivitas pembelajaran. Dengan hasil ini, berhasil menjawab gap keempat, yaitu pentingnya reformasi kurikulum kejuruan yang mengintegrasikan teknologi modern seperti CAD/CAM.

Analisis paired samples test menunjukkan bahwa perbedaan rata-rata antara kedua kelompok signifikan secara statistik ($p < 0,001$), dengan interval kepercayaan yang tidak mencakup nol. Hasil ini menguatkan keandalan dan validitas temuan bahwa penggunaan CAD/CAM memberikan dampak nyata pada peningkatan hasil belajar siswa. Ouyang et al. (2023) mengemukakan bahwa teknologi berbasis kecerdasan buatan dan analitik dapat mendukung personalisasi pembelajaran, sehingga setiap siswa dapat menerima intervensi yang sesuai dengan kebutuhan mereka. Dengan demikian, ini tidak hanya mengisi gap kelima, tetapi juga memberikan arah untuk pengembangan lebih lanjut dalam pembelajaran CNC berbasis teknologi.

KESIMPULAN

Hasil menunjukkan bahwa penggunaan program CAD/CAM dalam pembelajaran CNC secara signifikan meningkatkan pemahaman dan hasil belajar siswa dibandingkan dengan metode konvensional. Kelas eksperimen yang menggunakan CAD/CAM menunjukkan nilai rata-rata lebih tinggi dalam aspek keterampilan teknis dan pemrograman dibandingkan kelas kontrol. Hal ini membuktikan bahwa integrasi teknologi seperti CAD/CAM dapat menciptakan pengalaman belajar yang lebih efektif, mendukung siswa dalam memahami konsep yang kompleks, serta mempersiapkan mereka untuk tantangan di dunia industri modern.

Untuk mengintegrasikan teknologi CAD/CAM secara efektif di SMK, sekolah dapat mengambil langkah-langkah konkret seperti menyediakan pelatihan intensif bagi guru untuk meningkatkan kompetensi teknis mereka dalam penggunaan perangkat lunak CAD/CAM. Selain itu, sekolah perlu mengalokasikan anggaran untuk investasi dalam perangkat lunak berlisensi dan perangkat keras yang memadai guna mendukung pembelajaran. Kerja sama dengan industri dapat memperluas peluang magang siswa, sehingga mereka dapat menerapkan keterampilan CAD/CAM secara langsung di lingkungan kerja nyata.

di masa depan perlu mengeksplorasi penggunaan teknologi CAD/CAM yang lebih lanjut, seperti penerapan simulasi berbasis Virtual Reality (VR) atau Augmented

Reality (AR) dalam pembelajaran CNC. Selain itu, analisis dampak jangka panjang penggunaan CAD/CAM terhadap kesiapan kerja siswa perlu dilakukan untuk mengukur efektivitasnya dalam konteks industri yang lebih luas. juga disarankan untuk mengkaji pendekatan pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) dengan integrasi CAD/CAM untuk meningkatkan kreativitas dan keterampilan problem-solving siswa.

DAFTAR PUSTAKA

- Ahmed, U., Lin, J. C. W., & Srivastava, G. (2023). Exploring the Potential of Cyber Manufacturing System in the Digital Age. *ACM Transactions on Internet Technology*, 23(4). <https://doi.org/10.1145/3596602>
- Bilalis, L., Canellidis, V., Papatheodorou, T., & Giannatsis, J. (2022). Direct Digital Manufacturing of a Customized Face Mask. *Journal of Manufacturing and Materials Processing*, 6(5). <https://doi.org/10.3390/jmmp6050126>
- Bjelobaba, G., Savić, A., Tošić, T., Stefanović, I., & Kocić, B. (2023). Collaborative Learning Supported by Blockchain Technology as a Model for Improving the Educational Process. *Sustainability (Switzerland)*, 15(6), 1–23. <https://doi.org/10.3390/su15064780>
- Delcker, J. (2023). Digitalisation in the Curricula of Vocational Schools: Text Mining as an Instrument of Curricula Analysis. *Technology, Knowledge and Learning*, 28(3), 999–1014. <https://doi.org/10.1007/s10758-022-09591-0>
- Donkin, R., & Kynn, M. (2021). Does the learning space matter? An evaluation of active learning in a purpose-built technology-rich collaboration studio. *Australasian Journal of Educational Technology*, 37(1), 133–146. <https://doi.org/10.14742/ajet.5872>
- Hua, L., Huang, N., Yi, B., Zhao, Y., & Zhu, L. (2023). Global toolpath smoothing for CNC machining based on B-spline approximation with tool tip position adjustment. *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 125(7–8), 3651–3665. <https://doi.org/10.1007/s00170-023-11033-9>
- Jia, S., Yuan, Q., Cai, W., Yuan, Q., Liu, C., Lv, J., & Zhang, Z. (2018). Establishment of an improved material-drilling power model to support energy management of drilling processes. *Energies*, 11(8), 0–16. <https://doi.org/10.3390/en11082013>
- Kovalenko, I., Moyne, J., Bi, M., Balta, E. F. E. C., Ma, W., Qamsane, Y., Zhu, X., Mao, Z. M., Tilbury, D. M., & Barton, K. (2022). Toward an Automated Learning Control Architecture for Cyber-Physical Manufacturing Systems. *IEEE Access*, 10, 38755–38773. <https://doi.org/10.1109/ACCESS.2022.3165551>
- Kugalur Palanisamy, N., Rivière Lorphèvre, E., Gobert, M., Briffoteaux, G., Tuytens, D., Arrazola, P. J., & Ducobu, F. (2022). Identification of the Parameter Values of the Constitutive and Friction Models in Machining Using EGO Algorithm: Application to Ti6Al4V. *Metals*, 12(6), 1–21. <https://doi.org/10.3390/met12060976>
- Leavy, A., Dick, L., Meletiou-Mavrotheris, M., Papparistodemou, E., & Stylianou, E. (2023). The prevalence and use of emerging technologies in STEAM education: A systematic review of the literature. *Journal of Computer Assisted Learning*, 39(4), 1061–1082. <https://doi.org/10.1111/jcal.12806>
- Mulders, M., Buchner, J., & Kerres, M. (2024). Virtual Reality in Vocational Training: A

- Study Demonstrating the Potential of a VR-based Vehicle Painting Simulator for Skills Acquisition in Apprenticeship Training. *Technology, Knowledge and Learning*, 29(2), 697–712. <https://doi.org/10.1007/s10758-022-09630-w>
- Niessen, F., John, M., & Nancarrow, B. (2019). *machining of complex micro- and nano-structures*.
- Oguzor, N. S. (2011). Computer usage as instructional resources for vocational training in Nigeria. *Educational Research and Reviews*, 6(5), 395–402. <https://doi.org/10.6007/ijarbss.v1i2.16>
- Ouyang, F., Wu, M., Zheng, L., Zhang, L., & Jiao, P. (2023). Integration of artificial intelligence performance prediction and learning analytics to improve student learning in online engineering course. *International Journal of Educational Technology in Higher Education*, 20(1), 1–23. <https://doi.org/10.1186/s41239-022-00372-4>
- Sarva, E., Lāma, G., Ojesika, A., Daniela, L., & Rubene, Z. (2023). Development of Education Field Student Digital Competences—Student and Stakeholders’ Perspective. *Sustainability (Switzerland)*, 15(13). <https://doi.org/10.3390/su15139895>
- Visvizi, A., & Daniela, L. (2019). Technology-enhanced learning and the pursuit of sustainability. *Sustainability (Switzerland)*, 11(15), 1–7. <https://doi.org/10.3390/su11154022>
- Wang, C., Zhang, Y., Ding, H., Z. (2023). Applied Mathematics and Nonlinear Sciences. *Applied Mathematics and Nonlinear Sciences*, 8(2), 3383–3392.
- Wen, J., Xie, F., Liu, X., & Yue, Y. (2023). Evolution and Development Trend Prospect of Metal Milling Equipment. *Chinese Journal of Mechanical Engineering (English Edition)*, 36(1). <https://doi.org/10.1186/s10033-023-00865-x>
- Wiyono, B. B., Samsudin, Imron, A., & Arifin, I. (2022). The Effectiveness of Utilizing Information and Communication Technology in Instructional Supervision with Collegial Discussion Techniques for the Teacher’s Instructional Process and the Student’s Learning Outcomes. *Sustainability (Switzerland)*, 14(9). <https://doi.org/10.3390/su14094865>
- Wosnik, M., Kramer, C., Selig, A., & Klemm, P. (2006). Enabling feedback of process data by use of STEP-NC. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 19(6), 559–569. <https://doi.org/10.1080/09511920600622080>
- Yildiz, M., Shi, R., & Kara, M. (2022). How to improve the design of experimental studies in computing education: Evidence from the international assessments. *Education and Information Technologies*, 27(4), 5075–5102. <https://doi.org/10.1007/s10639-021-10800-z>
- Zhan, Z., Yao, X., & Li, T. (2023). Effects of association interventions on students’ creative thinking, aptitude, empathy, and design scheme in a STEAM course: considering remote and close association. *International Journal of Technology and Design Education*, 33(5), 1773–1795. <https://doi.org/10.1007/s10798-022-09801-x>