

Pengembangan Kurikulum Pelatihan Pemesinan CNC CAD/CAM Berbasis Work Process Analysis

Rohmad Sakuri^{1*}, Bernardus Sentot Wijanarka²

^{1,2}Program Studi Pendidikan Teknik Mesin, Universitas Negeri Yogyakarta, Indonesia

Corresponding Author's e-mail : rohmadzakuri.2024@student.uny.ac.id



e-ISSN: 2964-2981

ARMADA : Jurnal Penelitian Multidisiplin

<https://ejournal.45mataram.ac.id/index.php/armada>

Vol. 04, No. 07 Juli, 2026

Page: 2653-2660

DOI:

<https://doi.org/10.55681/armada.v4i7.2977>

Article History:

Received: Mei 11, 2026

Revised: Juni 19, 2026

Accepted: Juli 17, 2026

Abstract : *This study aimed to identify the core competency needs in CNC CAD/CAM machining relevant to modern manufacturing industry demands and to formulate a competency-based training curriculum aligned with real-world work processes in the business and industrial sectors. This study employed a mixed-method approach combining descriptive qualitative and quantitative methods within the Work Process Analysis (WPA) framework. Research subjects involved 22 industrial practitioners representing four strategic positions: CNC Operators, CAM Programmers, Machine Technicians, and Production Supervisors, supported by field observations at two manufacturing companies. Results indicated that the core competencies required by industry included technical drawing interpretation, NC/CNC machine setup, G-code programming, safe machine operation, quality control, and troubleshooting, with an average urgency score above 9.70 on a 1–10 scale. The training curriculum was developed through five stages: work process analysis, core work-processes identification, occupational standards formulation, detailed curriculum development, and advanced skill test instruments.*

Keywords : *Work Process Analysis (WPA), Training Curriculum, CNC CAD/CAM Machining, Vocational Competence*

Abstrak : Penelitian ini bertujuan mengidentifikasi kompetensi inti pemesinan CNC CAD/CAM yang relevan dengan kebutuhan industri manufaktur modern dan merumuskan kurikulum pelatihan berbasis kompetensi yang selaras dengan proses kerja nyata di dunia usaha dan dunia industri (DUDI). Penelitian menggunakan pendekatan kombinasi (mixed-method) deskriptif kualitatif dan kuantitatif melalui kerangka kerja Work Process Analysis (WPA). Subjek penelitian melibatkan 22 praktisi industri yang mewakili empat posisi strategis, yaitu Operator CNC, Programmer CAM, Teknisi Mesin, dan Supervisor Produksi, serta didukung oleh observasi lapangan di dua perusahaan manufaktur. Hasil penelitian menunjukkan bahwa kompetensi inti yang dibutuhkan industri mencakup kemampuan membaca gambar teknik, penyetelan mesin NC/CNC, pembuatan program G-code, pengoperasian mesin secara aman, pengendalian kualitas, serta troubleshooting, dengan rata-rata nilai urgensi sangat tinggi (di atas 9,70 dari skala 1–10). Kurikulum pelatihan disusun melalui lima tahapan: analisis proses kerja, identifikasi core work-processes, perumusan standar okupasi, pengembangan kurikulum terperinci, dan instrumen tes keterampilan lanjutan.

Kata Kunci : Work Process Analysis (WPA), Kurikulum Pelatihan, Pemesinan CNC CAD/CAM, Kompetensi Vokasi

PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur pada era Revolusi Industri 4.0 mendorong transformasi besar-besaran dalam sektor industri di Indonesia. Kementerian Perindustrian (2023) mencatat terdapat 32.193 perusahaan manufaktur aktif, dengan 67% di antaranya bergerak di bidang otomotif, elektronik, dan komponen mesin yang mengandalkan teknologi Computer Numerical Control (CNC). Teknologi ini mensyaratkan integrasi antara Computer-Aided Design (CAD) untuk perancangan komponen digital dan Computer-Aided Manufacturing (CAM) untuk menghasilkan kode G-code yang menginstruksikan mesin CNC (Prasetya, 2023). Keterpaduan CAD-CAM-CNC menjadi tulang punggung produksi presisi tinggi yang efisien dan otomatis (Rahdiyanta et al., 2019).

Namun di tengah meningkatnya kebutuhan tersebut, terjadi paradoks yang serius. Data Badan Pusat Statistik (BPS) Februari 2025 mencatat Tingkat Pengangguran Terbuka (TPT) lulusan SMK mencapai 8,00%, salah satu yang tertinggi di antara semua jenjang pendidikan. Survei Asosiasi Industri Mesin Indonesia (2022) terhadap 120 perusahaan manufaktur di Jawa Timur mengungkapkan bahwa 78% industri kesulitan merekrut operator CNC yang mampu mengoperasikan mesin multiaxis dan perangkat lunak CAD/CAM generasi terbaru seperti Inventor CAM. Lebih jauh, studi Hariyanto dkk. (2021) di lima politeknik menunjukkan bahwa 65% lulusan teknik mesin belum mencapai level kompetensi pemrograman CNC sesuai standar ISO 10791-6:2014. Kondisi ini mencerminkan adanya skill mismatch yang sistemik antara kompetensi lulusan pendidikan vokasi dengan tuntutan nyata industri manufaktur.

Permasalahan tersebut diperparah oleh kelemahan dalam pengembangan kurikulum pendidikan vokasi. Penelitian Susilo et al. (2020) di Indonesia menunjukkan bahwa hanya sekitar 15% institusi vokasi yang menggunakan pendekatan berbasis praktik kerja nyata, sementara 85% masih mengandalkan analisis dokumen tanpa keterlibatan industri secara langsung. Penelitian terdahulu tentang pengembangan kurikulum CNC di Indonesia pun masih terbatas pada pendekatan kualitatif deskriptif tanpa kerangka analitis terstruktur. Rahman (2019) misalnya hanya memetakan kebutuhan kompetensi melalui kuesioner tanpa membangun hierarki tugas (Task Hierarchy) dan standar kinerja (Performance Standards). Kondisi ini mengakibatkan kurikulum yang dihasilkan kurang mencerminkan kondisi dan tuntutan nyata di lapangan, serta belum mengadopsi model hybrid (teori–praktik–industri) sebagaimana diterapkan di negara-negara maju seperti Jerman dan Jepang yang tingkat penyerapan lulusannya mencapai 92% (Suharto, 2021).

Untuk menjawab kesenjangan ini, pendekatan Work Process Analysis (WPA) menawarkan solusi yang relevan. WPA merupakan metode analisis pekerjaan berbasis proses nyata produksi yang memetakan alur kerja, interaksi manusia–mesin, serta kompetensi yang muncul dalam setiap tahapan proses kerja. Berbeda dengan pendekatan konvensional, WPA menekankan bahwa kompetensi bukan sekadar keterampilan teknis terpisah, melainkan integrasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang terbentuk dalam konteks proses kerja utuh (Deitmer & Heinemann, 2019). Studi Lee et al. (2021) di Korea Selatan membuktikan bahwa pelatihan CNC berbasis proses kerja mampu meningkatkan kesesuaian kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri serta mempercepat adaptasi terhadap sistem produksi terkomputerisasi. Regulasi pemerintah melalui Peraturan Presiden No. 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi semakin memperkuat urgensi pengembangan kurikulum berbasis link and match antara institusi pendidikan dan industri.

Berdasarkan latar belakang tersebut, penelitian ini bertujuan untuk: (1) mengidentifikasi kompetensi dan subkompetensi pemesinan CNC yang dibutuhkan oleh industri manufaktur; dan (2) merumuskan kurikulum pelatihan berbasis kompetensi untuk pemesinan CNC CAD/CAM yang selaras dengan proses kerja nyata di industri. Hasil penelitian diharapkan menjadi acuan bagi perguruan tinggi dan lembaga pelatihan vokasi dalam menghasilkan SDM manufaktur yang job-ready, sekaligus mendukung target Indonesia masuk 10 besar ekonomi manufaktur dunia pada 2030 sebagaimana tercantum dalam RPJMN 2025–2029.

METODE PENELITIAN

Penelitian ini menggunakan pendekatan mixed-method deskriptif kualitatif dan kuantitatif dengan kerangka Work Process Analysis (WPA) yang dikembangkan oleh Spöttl dan Loose. Pendekatan ini dipilih karena mampu merespons kompleksitas teknologi yang cepat berkembang di bidang pemesinan CNC CAD/CAM, dengan menekankan identifikasi kompetensi berdasarkan proses kerja aktual di industri, bukan sekadar analisis tugas (task-based approach). Kurikulum yang dikembangkan tidak hanya berfokus pada keterampilan teknis (domain-specific skills), tetapi juga kompetensi luas (broad competences) yang memungkinkan peserta pelatihan mengatasi ketidakpastian dan perubahan di tempat kerja.

Penelitian dilaksanakan di dua perusahaan manufaktur yang menggunakan teknologi CNC CAD/CAM di wilayah Daerah Istimewa Yogyakarta, yaitu PT Mitra Unggul Perkasa selama satu bulan (17 November – 17 Desember 2025) dan PT UPT Logam selama satu bulan (12 Januari – 11 Februari 2026). Penelitian ini melibatkan 22 responden dari dua perusahaan manufaktur CNC yang mewakili empat posisi strategis: Koordinator, Leader, dan Operator. Distribusi responden disajikan pada Tabel 1.

Tabel 1. Distribusi Responden Penelitian

Jabatan	PT UPT Logam	PT Mitra Unggul Perkasa	Total
Koordinator	1	1	2
Leader	2	1	3
Operator	14	3	17
Total	17	5	22

Selain responden lapangan, validasi kurikulum juga melibatkan pakar pengembangan kurikulum pendidikan vokasi dan praktisi industri, yang terdiri atas manajer produksi, supervisor workshop, serta quality control yang terlibat langsung dalam proses pemesinan CNC. Penelitian dilaksanakan dalam tiga fase utama. Fase pertama adalah Analisis dan Perancangan, yang meliputi kajian literatur work-process based curricula, analisis kebutuhan industri pemesinan CNC CAD/CAM, identifikasi gap antara kurikulum yang ada dengan kebutuhan industri, survei industri manufaktur, penyusunan profil okupasi Teknisi/Operator CNC CAD/CAM, serta persiapan instrumen penelitian. Fase kedua adalah Pengembangan dan Validasi, yang mencakup pelaksanaan observasi on-site proses kerja, wawancara mendalam dengan praktisi industri, identifikasi core work-processes, penyusunan kurikulum berbasis WPA, serta validasi oleh ahli dan praktisi. Fase ketiga adalah Evaluasi dan Revisi, yang mencakup analisis relevansi kurikulum, revisi berdasarkan feedback, finalisasi dokumen kurikulum, dan penyusunan panduan implementasi.

Pengumpulan data dilakukan melalui empat teknik. Pertama, observasi terstruktur (on-site work-process observation) untuk mengamati alur kerja operator CNC, struktur proses kerja, dan kompetensi yang muncul di setiap tahapan. Kedua, wawancara mendalam dengan operator CNC, programmer CAM, dan koordinator lapangan, yang berfokus pada bagaimana pekerjaan dilakukan, tantangan yang dihadapi, serta cara mengatasi situasi kompleks. Ketiga, kuesioner untuk dua keperluan: pengumpulan data operasional kerja dan validasi kelayakan kurikulum. Keempat, dokumentasi berupa SOP perusahaan, deskripsi pekerjaan, spesifikasi mesin CNC, work orders, serta dokumentasi proses kerja. Instrumen analisis proses kerja disusun mengacu pada empat komponen utama WPA sebagaimana ditampilkan pada Tabel 2.

Tabel 2. Kisi-Kisi Instrumen Analisis Proses Kerja

Komponen	Aspek yang Diamati/Ditanyakan
<i>Objects of Skilled Work</i>	Sistem teknis mesin CNC, jenis material dan <i>workpiece</i> , fungsi sistem, interaksi dengan persyaratan kualitas pelanggan

Komponen	Aspek yang Diamati/Ditanyakan
<i>Tools, Methods, Organisation</i>	Peralatan produksi (<i>cutting tools</i> , alat ukur), software CAD/CAM, metode kerja, dan organisasi <i>workshop</i>
<i>Requirements</i>	Persyaratan teknis, prosedural, regulasi K3, serta standar kualitas dari perusahaan dan pelanggan
<i>Competences</i>	Kompetensi teknis/profesional, kompetensi sosial/komunikasi, dan kompetensi metodologis/ <i>learning</i>

Analisis data menggunakan dua pendekatan secara paralel. Analisis kualitatif deskriptif digunakan untuk mengolah data observasi dan wawancara melalui empat tahapan: reduksi data, penyajian data, identifikasi core work-processes, penyusunan narasi deskriptif setiap proses kerja, dan penarikan kesimpulan. Analisis kuantitatif deskriptif digunakan untuk mengolah data kuesioner validasi kelayakan kurikulum yang mencakup aspek kelayakan isi (content validity), kelayakan penyajian, kelayakan bahasa, relevansi industri, dan kesesuaian dengan prinsip work-process based learning. Validitas temuan diperkuat melalui triangulasi sumber, yaitu membandingkan data dari operator CNC, programmer, supervisor, dan manajer produksi; triangulasi metode antara observasi, wawancara, kuesioner, dan dokumentasi; serta triangulasi peneliti melalui expert team dalam analisis proses kerja.

HASIL DAN PEMBAHASAN

Proses Kerja CNC CAD/CAM Berdasarkan Work Process Analysis

Observasi terstruktur terhadap 22 responden di dua perusahaan manufaktur menggunakan panduan yang mencakup lebih dari 60 indikator berhasil memetakan enam tahapan proses kerja utama operator CNC. Keenam tahapan tersebut muncul secara konsisten di kedua perusahaan dan disajikan pada Tabel 3.

Tabel 3. Hasil Work Process Analysis: Tahapan Proses Kerja Operator CNC

Tahap	Nama Proses Kerja	Aktivitas Utama
1	Persiapan Kerja	Memeriksa gambar kerja, menyiapkan material, cutting tool, dan fixture; memastikan kondisi mesin siap
2	Pemrograman	Membuat model CAD, menyusun toolpath CAM, simulasi, menghasilkan G-code
3	Setting Mesin	Menentukan titik nol, mengatur tool offset, memverifikasi koordinat, dry run
4	Pelaksanaan Pemesinan	Menjalankan program, memonitor spindle, chip, dan coolant; melakukan facing, drilling, pocketing, contouring
5	Pemeriksaan Kualitas	Mengukur dimensi dengan jangka sorong, mikrometer, dial indicator; membandingkan terhadap toleransi gambar kerja
6	Penyelesaian Kerja	Membersihkan area kerja, menyimpan program, mendokumentasikan hasil, melaporkan ke supervisor

Analisis WPA juga mengungkap empat komponen dimensi kerja yang saling berkaitan dalam setiap tahapan, yaitu objects of skilled work (mesin CNC, workpiece, produk akhir), tools, methods, and organisation (cutting tools, software CAD/CAM, alur koordinasi tim produksi), requirements (toleransi ketat, K3, dokumentasi SOP), dan competences (teknis, proses, sosial, dan pengembangan diri). Struktur ini memperlihatkan bahwa pekerjaan operator CNC bukan sekadar menjalankan

mesin, melainkan integrasi pengetahuan, keterampilan, dan sikap yang terbentuk dalam alur kerja nyata (Deitmer & Heinemann, 2019).

Kebutuhan Kompetensi CNC CAD/CAM Industri

Berdasarkan hasil observasi dan analisis WPA, kebutuhan kompetensi industri dikelompokkan ke dalam empat dimensi. Validasi menggunakan instrumen kuesioner berbasis konversi skala 1–10 terhadap 22 responden menghasilkan nilai rata-rata urgensi di atas 9,70 dari skala 1–10 untuk seluruh kompetensi inti, sebagaimana dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 4. Kompetensi Inti CNC CAD/CAM Berdasarkan Validasi Industri

No	Kompetensi Inti	Dimensi	(1-10)	Kategori
1	Membaca dan menafsirkan gambar teknik	Teknis	>9,70	Sangat Tinggi
2	Penyetelan mesin NC/CNC (setting & tool offset)	Teknis	>9,70	Sangat Tinggi
3	Pembuatan dan penyuntingan program G-code	Teknis	>9,70	Sangat Tinggi
4	Pengoperasian mesin CNC secara aman	Teknis	>9,70	Sangat Tinggi
5	Pemodelan CAD dan pemrograman CAM (toolpath)	Digital	>9,70	Sangat Tinggi
6	Simulasi toolpath dan verifikasi program	Proses	>9,70	Sangat Tinggi
7	Pengukuran presisi dan pengendalian kualitas	Proses	>9,70	Sangat Tinggi
8	Troubleshooting selama proses pemesinan	Proses	>9,70	Sangat Tinggi
9	Komunikasi kerja, SOP, dan dokumentasi	Sosial	>9,70	Sangat Tinggi
10	Keselamatan dan kesehatan kerja (K3)	Sosial	>9,70	Sangat Tinggi

Hasil validasi kuesioner dengan 60 butir item menunjukkan persentase relevansi berkisar antara 68,18% hingga 95,45%, dengan 59 dari 60 butir dikategorikan "Sangat Relevan" dan satu butir dikategorikan "Relevan". Tingginya nilai relevansi ini mengonfirmasi bahwa kompetensi yang dipetakan melalui WPA benar-benar mencerminkan kebutuhan industri manufaktur CNC. Temuan lapangan juga mengidentifikasi tiga ketidaksesuaian antara praktik industri dan standar/teori yang berlaku. Pertama, industri lebih mengandalkan perangkat CAM untuk pembuatan program sehingga pemrograman manual G-code hanya digunakan untuk penyuntingan ringan, tidak seperti yang ditekankan dalam kurikulum formal. Kedua, uji akurasi formal berdasarkan ISO 10791-6:2014 tidak dilakukan oleh operator melainkan oleh teknisi maintenance dan vendor mesin. Ketiga, SKKNI 307/2020 belum merinci kompetensi digital CAD/CAM pada tingkat kedalaman yang dibutuhkan industri modern.

Kurikulum Pelatihan CNC CAD/CAM Berbasis Work Process

Berdasarkan hasil WPA dan pemetaan kompetensi, kurikulum pelatihan disusun dalam enam Learning Fields (LF) yang mengikuti alur proses kerja nyata di industri sebagaimana ditampilkan pada Tabel 5.

Tabel 5. Struktur Kurikulum Pelatihan CNC CAD/CAM Berbasis Learning Fields

Learning Field	Topik Utama	Kompetensi yang Dikembangkan	Basis WPA
LF 1: Persiapan Kerja dan Dasar Pemesinan	Gambar teknik, material, komponen mesin CNC, K3	Teknis dasar, keselamatan kerja	Tahap 1
LF 2: Pemodelan CAD dan Pemrograman CAM	CAD 2D/3D, strategi toolpath, simulasi pemotongan	Kompetensi digital CAD/CAM	Tahap 2

Learning Field	Topik Utama	Kompetensi yang Dikembangkan	Basis WPA
LF 3: Setting Mesin CNC	Work offset, tool offset, koordinat, dry run	Setting presisi dan prosedural	Tahap 3
LF 4: Pelaksanaan Proses Pemesinan	Facing, drilling, pocketing, contouring, troubleshooting	Operasional dan pemecahan masalah	Tahap 4
LF 5: Pemeriksaan dan Kontrol Kualitas	Alat ukur presisi, toleransi geometrik, evaluasi dimensi	Evaluatif dan pengendalian mutu	Tahap 5
LF 6: Penyelesaian dan Dokumentasi Kerja	SOP, laporan kerja, pemeliharaan area, penyimpanan program	Sosial, komunikasi, dokumentasi	Tahap 6

Struktur Learning Fields ini memastikan bahwa setiap materi tidak berdiri sendiri, melainkan saling terhubung mengikuti urutan kerja nyata. Kompetensi pada LF 2 (CAD/CAM) sangat bergantung pada pemahaman gambar dan toleransi yang dibangun di LF 1; demikian pula kompetensi pengukuran di LF 5 hanya dapat dimaknai setelah peserta memahami proses pemesinan di LF 4. Pendekatan ini selaras dengan kerangka Spöttl dan Tutlys (2017) bahwa work-process based curricula mengorganisir pembelajaran dari "regulation-guided know-that" menuju "experience-based know-how".

Pembahasan

Hasil penelitian menunjukkan bahwa pendekatan WPA terbukti efektif dalam memetakan kompetensi CNC CAD/CAM secara granular hingga level mikro, jauh melampaui kemampuan pendekatan konvensional berbasis dokumen. Berbeda dengan DACUM yang menghasilkan daftar tugas tanpa menekankan urutan proses, WPA mampu menjelaskan konteks proses kerja dari awal hingga akhir, termasuk interaksi manusia-mesin dan dimensi kompetensi sosial yang sering diabaikan (Norton, 2008). Hal ini konsisten dengan temuan Lee et al. (2021) di Korea Selatan bahwa pelatihan CNC berbasis proses kerja meningkatkan kesesuaian kompetensi lulusan dengan kebutuhan industri secara signifikan.

Temuan kritis penelitian ini adalah besarnya porsi CAD/CAM dalam proses kerja aktual, yang kontras dengan kurikulum pendidikan vokasi yang masih terfokus pada pemrograman manual G-code. Industri telah menggeser paradigma: hampir seluruh program CNC kini dihasilkan melalui software CAM, dan pemrograman manual hanya berfungsi sebagai foundational knowledge untuk keperluan penyuntingan ringan. Kesenjangan ini sejalan dengan temuan Susilo et al. (2020) bahwa 85% institusi vokasi masih menggunakan pendekatan analisis dokumen tanpa keterlibatan industri langsung.

Kurikulum yang dihasilkan memiliki link and match yang kuat dengan kebutuhan industri karena seluruh komponennya disusun dari data lapangan nyata, mengacu pada SKKNI 307/2020, dan diperkuat oleh kerangka ISO 10791-6:2014 sebagai wawasan standar global. Validasi ahli mengkonfirmasi bahwa materi, urutan pembelajaran, dan kompetensi yang dirumuskan sesuai dengan kondisi kerja industri saat ini, khususnya dalam hal dominasi CAM sebagai sumber utama pemrograman dan kebutuhan kemampuan pengendalian mutu yang intensif. Ini mendukung argumen Firdaus (2020) bahwa pelatihan CNC berbasis pendekatan sistematis mampu meningkatkan kompetensi peserta secara signifikan.

KESIMPULAN DAN SARAN

Berdasarkan hasil observasi proses kerja operator CNC di industri manufaktur logam, analisis Work Process Analysis (WPA), validasi kebutuhan kompetensi, serta penyusunan kurikulum berbasis alur kerja, penelitian ini menghasilkan dua simpulan utama. Pertama, kompetensi yang dibutuhkan industri pada bidang CNC CAD/CAM mencakup sepuluh kompetensi inti yang terbagi dalam empat dimensi: teknis (membaca gambar, penyetelan mesin, pembuatan program G-code, pengoperasian mesin), digital (pemodelan CAD dan pemrograman CAM), proses (simulasi toolpath, pengendalian kualitas, troubleshooting), serta sosial (komunikasi kerja, SOP, dokumentasi, dan K3). Seluruh kompetensi tersebut memiliki nilai rata-rata urgensi sangat tinggi di atas 9,70 dari skala 1–10, dengan 59 dari 60 butir instrumen validasi dikategorikan "Sangat Relevan". Analisis WPA menghasilkan peta enam tahapan proses kerja yang sistematis dan konsisten ditemukan di kedua perusahaan, yaitu: persiapan kerja, pemrograman, setting mesin, pelaksanaan pemesinan, pemeriksaan kualitas, dan penyelesaian kerja.

Kedua, kurikulum pelatihan CNC CAD/CAM yang dirumuskan tersusun dalam enam Learning Fields berbasis alur kerja nyata: LF 1 (persiapan kerja dan dasar pemesinan), LF 2 (pemodelan CAD dan pemrograman CAM), LF 3 (setting mesin CNC), LF 4 (pelaksanaan proses pemesinan), LF 5 (pemeriksaan dan kontrol kualitas), dan LF 6 (penyelesaian dan dokumentasi kerja). Kurikulum ini memiliki link and match yang kuat dengan kebutuhan industri dan telah mendapat penilaian layak dari ahli akademisi maupun praktisi CNC. Dengan demikian, kurikulum yang dikembangkan tidak hanya menjembatani teori dan praktik, tetapi juga mengakomodasi dinamika teknologi manufaktur modern yang menuntut integrasi kemampuan teknis dan digital secara bersamaan.

Berdasarkan simpulan penelitian, saran disampaikan kepada empat pihak. Bagi pengembang kurikulum, porsi CAD dan CAM perlu diperbesar karena keduanya menjadi inti pembuatan program CNC di industri; pemrograman manual G-code tetap diberikan namun hanya sebagai landasan pemahaman kode, bukan fokus utama; dan materi kontrol kualitas serta analisis toleransi perlu diperluas sesuai tuntutan industri. Bagi pelaksana pelatihan, porsi praktik harus diperbesar terutama pada simulasi CAM, setting CNC, dan pengukuran presisi; pembelajaran berbasis proyek (project-based learning) perlu diterapkan; dan kemampuan troubleshooting harus mendapat penekanan khusus. Bagi lembaga pendidikan dan industri, diperlukan pembaruan perangkat lunak CAD/CAM secara berkala, perluasan kerja sama industri, keterlibatan instruktur berpengalaman industri, serta dukungan industri berupa studi kasus, magang, dan validasi evaluasi pelatihan. Bagi penelitian selanjutnya, kajian dapat diperluas ke sektor lain seperti mould & dies, otomotif, atau precision tooling; perlu dikembangkan model evaluasi efektivitas kurikulum setelah diterapkan dalam pelatihan jangka panjang; dan analisis kompetensi digital dapat diteliti lebih mendalam untuk memperkuat peta kompetensi CAD/CAM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Penulis mengucapkan terima kasih yang sebesar-besarnya kepada Universitas Negeri Yogyakarta (UNY) atas segala dukungan yang diberikan selama pelaksanaan penelitian ini. Apresiasi dan terima kasih juga penulis sampaikan kepada UPT Logam dan PT Mitra Unggul Perkasa atas fasilitas, bantuan teknis, dan kerja sama luar biasa yang diberikan selama proses pengambilan data dan eksperimen. Dukungan dari seluruh pihak yang terlibat telah menjadi kontribusi penting bagi kelancaran dan penyelesaian jurnal ilmiah ini.

DAFTAR PUSTAKA

- Asosiasi Industri Mesin Indonesia. (2022). Laporan survei kebutuhan kompetensi tenaga kerja CNC di Jawa Timur. Jakarta: AIMI Press.
- Badan Pusat Statistik. (2025). Keadaan ketenagakerjaan Indonesia Februari 2025. Diakses tanggal 5 Februari 2025 dari <https://www.bps.go.id>
- Deitmer, T., & Heinemann, J. (2019). Work process knowledge as a basis for VET curriculum development. Frankfurt: Peter Lang Verlag.

- Firdaus, M. (2020). Pengaruh pelatihan berbasis proyek terhadap kompetensi operator CNC. *Jurnal Teknologi Pendidikan*, 12(2), 450–460.
- Hariyanto, E., Sutopo, Y., & Prasetyo, A. (2021). Analisis kesenjangan kompetensi lulusan teknik mesin di era industri 4.0. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 11(1), 78–90.
- Kementerian Perindustrian. (2023). *Direktori perusahaan industri manufaktur Indonesia 2023*. Jakarta: Kemenperin RI.
- Lee, S.-H., & Kim, J.-H. (2021). Developing a CNC machining curriculum using DACUM method for enhancing industrial competitiveness. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing*, 22(4), 701–712.
- Norton, R. E. (2008). *Comparison between the DACUM and Work Process Analysis for curriculum development in vocational education*. Yogyakarta: Universitas Negeri Yogyakarta.
- Presiden Republik Indonesia. (2022). *Peraturan Presiden Nomor 68 Tahun 2022 tentang Revitalisasi Pendidikan Vokasi dan Pelatihan Vokasi*. Jakarta: Sekretariat Negara RI.
- Rahman, A. (2019). Analisis kebutuhan pengembangan kurikulum CNC di Sekolah Menengah Kejuruan. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, 25(1), 45–55.
- Spöttl, G., Loose, G., & Becker, M. (2018). *Developing work-process based curriculum*. Frankfurt: Peter Lang Verlag.
- Spöttl, G., & Tutlys, V. (2017). From the analysis of work processes to designing competence-based occupational standards and vocational curricula. *European Journal of Training and Development*, 41(1), 50–66.
- Suharto, T. (2021). *Model dual system pendidikan vokasi CNC di Jerman dan Jepang: Studi komparatif*. Bandung: Penerbit Universitas Pendidikan Indonesia.
- Susilo, H., Wijaya, A., & Haryono, A. (2020). Evaluasi implementasi kurikulum berbasis industri di pendidikan vokasi Indonesia. *Jurnal Evaluasi Pendidikan*, 12(2), 112–125.