

Pelatihan Teknik Pengoperasian Mesin *Milling Vertical* untuk Masyarakat

¹Nota Effiandi, ²Nasirwan, ³Nusyirwan, ⁴Eko Priyanda, ⁵Syafira Salsabila, ⁶Alif Rifqi Fadilah, ⁷Riki Rahman*

^{1,2,3,4,5,6,7}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia

Email Corresponding: rikirahman@pnp.ac.id*

INFORMASI ARTIKEL

ABSTRAK

Kata Kunci:

Pelatihan Berbasis Pengabdian Kepada Masyarakat
Mesin *Milling vertical*
Skill Praktis
Baja ST-37
Industri Kecil dan Menengah (IKM)

Pengembangan kompetensi permesinan pada sektor industri kecil dan menengah (IKM) merupakan langkah strategis dalam meningkatkan produktivitas dan daya saing industri nasional, khususnya bagi peserta didik tingkat menengah dan vokasi. Namun, keterbatasan fasilitas praktik dan metode pelatihan yang masih bersifat demonstratif menyebabkan rendahnya penguasaan keterampilan praktis. Kegiatan pengabdian kepada masyarakat ini bertujuan untuk meningkatkan keterampilan dasar pengoperasian mesin *milling vertical* melalui pelatihan berbasis praktik langsung (*hands-on training*) serta mengevaluasi efektivitasnya secara kuantitatif. Kegiatan melibatkan 12 peserta yang terdiri atas 2 peserta MA, 6 peserta SMA, dan 4 peserta SMK. Metode pelatihan mengacu pada job sheet industri dan SOP keselamatan kerja. Evaluasi dilakukan melalui penilaian kualitas benda kerja hasil *milling* meliputi akurasi dimensi, ketepatan proses, kepatuhan K3, dan kerapian hasil. Hasil menunjukkan bahwa 83,3% peserta mampu menghasilkan benda kerja dengan deviasi dimensi $\leq \pm 0,5$ mm dan tingkat kepatuhan K3 sebesar 91,7%. Temuan ini menunjukkan bahwa metode *hands-on training* efektif dalam meningkatkan keterampilan pengoperasian mesin *milling vertical*. Program ini diharapkan dapat menjadi model berkelanjutan untuk penguatan kapasitas pendidikan vokasi dan peningkatan kompetensi teknis, khususnya di sektor IKM.

ABSTRACT

Keywords:

Community Service-Based Training
Vertical Milling Machine
Practical Skills,
ST-37 Steel block
Small Medium Enterprises (SME's)

The development of machining competencies in small and medium Enterprises (SME's) represents a strategic effort to enhance national industrial productivity and competitiveness, particularly for high-school and vocational-level students. However, limited access to practical facilities and the predominance of demonstration-based training methods have resulted in insufficient mastery of hands-on machining skills. This community service program aimed to improve basic competencies in vertical milling machine operation through a hands-on training approach and to quantitatively evaluate its effectiveness. The program involved 12 participants, consisting of 2 students from Islamic senior high schools (MA), 6 students from general senior high schools (SMA), and 4 students from vocational high schools (SMK). The training methodology was based on industry-standard job sheets and occupational safety and health (OSH) standard operating procedures. Participant performance was evaluated through the quality assessment of milled workpieces, including dimensional accuracy, machining process correctness, OSH compliance, and surface finish quality. The results indicate that 83.3% of participants successfully produced workpieces with dimensional deviations within ± 0.5 mm, while OSH compliance reached 91.7%. These findings demonstrate that hands-on training is effective in enhancing vertical milling machine operation skills. This program is expected to serve as a sustainable model for strengthening vocational education capacity and improving technical competencies, particularly within the SME's sector.

This is an open access article under the [CC-BY-SA](https://creativecommons.org/licenses/by-sa/4.0/) license.



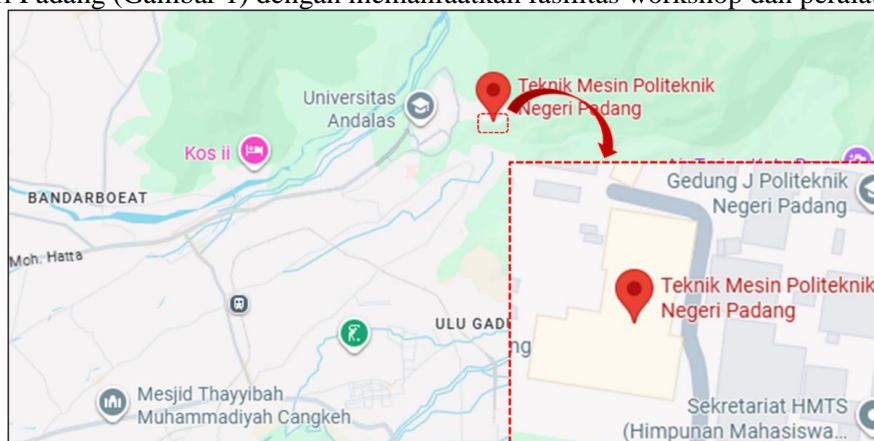
I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur dan permesinan pada era industri modern telah mendorong meningkatnya kebutuhan akan tenaga kerja terampil yang mampu mengoperasikan peralatan produksi, khususnya mesin *milling vertical* pada sektor industri kecil dan menengah (IKM). Mesin *milling vertical* merupakan salah satu peralatan utama dalam proses pemesinan yang berperan penting dalam pembentukan komponen logam dengan tingkat ketelitian tinggi (Firmansyah & Pranoto, 2024). Namun, pada tingkat

pendidikan menengah dan vokasi, pengoperasian mesin *milling vertical* masih menjadi tantangan utama bagi capaian keterampilan lulusan. Hal ini disebabkan oleh keterbatasan fasilitas praktik di sekolah yang mengakibatkan siswa harus menunggu giliran dalam menggunakan mesin (Sudiyono & Alip, 2016; Nursanti & Purwanto, 2024) dan minimnya pelatihan berbasis kebutuhan industri yang terukur dalam kurikulum pembelajaran teknik mesin. Di sisi lain, pelatihan berbasis CNC cenderung fokus pada mesin berteknologi tinggi dengan investasi mahal yang belum terjangkau oleh sebagian besar bengkel IKM tradisional, sementara mesin konvensional masih menjadi kebutuhan utama industri. Sejumlah kegiatan pengabdian kepada masyarakat (PkM) di bidang permesinan telah dilaporkan sebelumnya, seperti pelatihan proses milling dan drilling (Jufriзал et al., 2023; Siregar et al., 2023) maupun pelatihan CNC dasar (Burhanudin et al., 2023). Meskipun telah dilaporkan berbagai program pengabdian kepada masyarakat terkait pelatihan pemesinan seperti pelatihan mesin CNC bagi guru SMK (Suryono & Burhanudin, 2022; Abizar et al., 2020), namun program-program tersebut masih memiliki keterbatasan. Pelatihan yang ada cenderung menggunakan pendekatan berbasis simulator atau CAD/CAM yang tidak semua sekolah memiliki aksesnya, sementara keterampilan dasar pengoperasian mesin konvensional dengan *hands-on training* yang terstruktur masih belum banyak dikembangkan. Sebagian besar pelatihan masih menekankan pembelajaran demonstratif dengan indikator keberhasilan terbatas pada keikutsertaan peserta, bukan capaian keterampilan yang terukur secara kuantitatif berbasis kualitas produk hasil *machining* seperti akurasi dimensi atau kepatuhan terhadap *Standard Operating Procedure* (SOP). Kesenjangan utama yang diidentifikasi adalah tidak adanya modul pelatihan *hands-on* mesin *milling vertical* konvensional yang komprehensif, yang dilengkapi dengan: (1) SOP keselamatan dan pengoperasian yang terdokumentasi, dan (2) sistem evaluasi holistik yang menggabungkan aspek kuantitatif (akurasi dimensi) dan kualitatif (kualitas permukaan) benda kerja. Evaluasi berbasis akurasi dimensi sangat penting dalam pemesinan karena dapat mengukur tingkat kesalahan terhadap standar desain secara objektif (Putra et al., 2015). Selain itu, variasi latar belakang pendidikan peserta baik dari sekolah umum maupun kejuruan belum banyak dijadikan basis dalam desain dan evaluasi pelatihan pemesinan, yang berpotensi mempengaruhi kemampuan peserta dalam menerapkan keterampilan sesuai kebutuhan industri, khususnya sektor industri kecil dan menengah (IKM).

II. MASALAH

Berdasarkan latar belakang tersebut, kegiatan pengabdian ini dirancang dalam bentuk pelatihan pengoperasian mesin *milling vertical* berbasis praktik langsung (*hands-on training*) dengan evaluasi kuantitatif berbasis hasil output benda kerja. Kegiatan ini diselenggarakan di Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang (Gambar 1) dengan memanfaatkan fasilitas workshop dan peralatan yang tersedia.



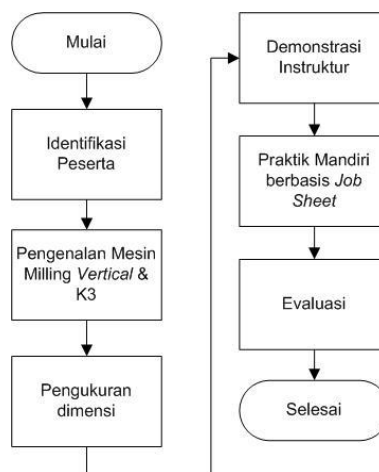
Gambar 1. Peta Pelaksanaan Training di Bengkel Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang

Adapun peserta pelatihan terdiri dari siswa dan lulusan SMA/MA/SMK di sekitar kota Padang dan dari berbagai daerah sekitarnya yang memiliki keterbatasan keterampilan praktis di bidang permesinan, jumlah peserta yang mengikuti dalam pelatihan ini adalah 12 siswa yang terdiri atas 2 siswa dari MA, 6 siswa dari SMA, dan 4 siswa dari SMK, sehingga memungkinkan analisis efektivitas pelatihan pada peserta dengan latar belakang pendidikan yang beragam. Dengan demikian, tujuan kegiatan pengabdian ini adalah untuk meningkatkan kompetensi praktis dan pemahaman teoretis peserta dalam mengoperasikan mesin *milling*

vertical secara aman dan benar serta mengevaluasi efektivitas pelatihan melalui analisis objektif berbasis hasil benda kerja berbentuk balok bertingkat, meliputi aspek kuantitatif (tingkat kesalahan terhadap dimensi desain) dan kualitatif (kekasaran permukaan dan cacat geometri).

III. METODE

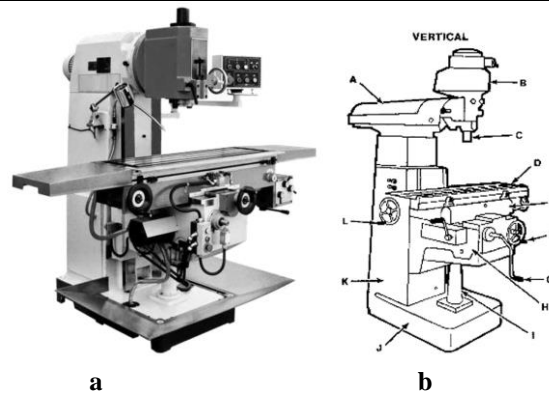
Kegiatan ini merupakan salah satu bentuk implementasi dari Tri Dharma Perguruan Tinggi, khususnya pada aspek pengabdian kepada masyarakat, dimana dosen berperan aktif dalam mentransfer ilmu pengetahuan dan keterampilan kepada masyarakat luas. Melalui pelatihan ini, perguruan tinggi berupaya untuk meningkatkan pengetahuan, keterampilan teknis, serta kondisi ekonomi masyarakat, terutama bagi peserta yang berasal dari berbagai kalangan siswa dan lulusan sekolah menengah dan kejuruan yang berminat di bidang teknik manufaktur. Adapun *flowchart* pelaksanaan pelatihan pengoperasian mesin *milling vertical* ditunjukkan pada Gambar 2. Diagram ini menggambarkan hubungan sistematis antara tahapan persiapan, pelaksanaan, dan evaluasi hasil pelatihan.



Gambar 2. Flowchart Pelaksanaan Pelatihan Pengoperasian Mesin *Milling Vertical*

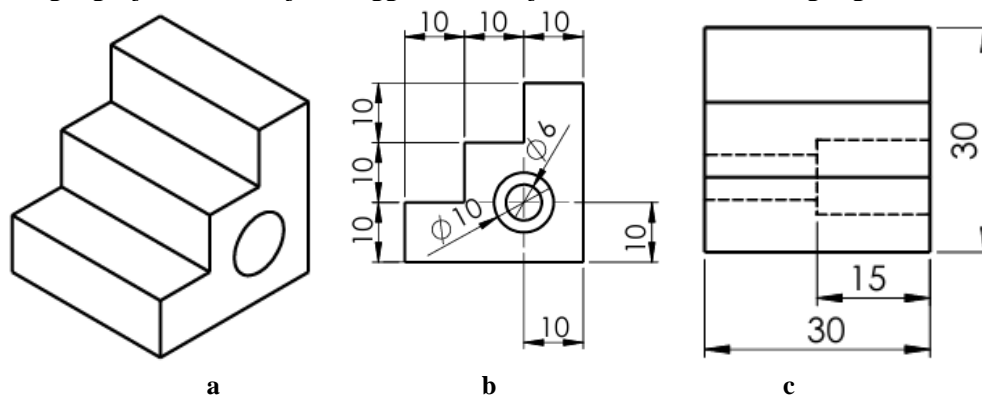
Metode pelatihan yang digunakan adalah *hands-on training* dengan pendampingan instruktur yang mengacu pada *job sheet* industri dan SOP pengoperasian mesin *milling vertical*. Metode ini dipilih karena keterampilan pengoperasian mesin *milling* merupakan kompetensi psikomotorik yang menuntut keterlibatan langsung peserta. Dibandingkan metode ceramah atau demonstrasi, praktik langsung terbukti lebih efektif dalam meningkatkan retensi keterampilan dan ketelitian kerja peserta. Sebelum kegiatan pelatihan dimulai, **tahap pertama**; pelaksanaan difokuskan pada pengenalan mesin *milling vertical* kepada seluruh peserta. Tujuan tahap ini adalah untuk memastikan peserta memahami fungsi, prinsip kerja, serta bagian-bagian utama mesin *milling vertical* (A. Ram, B. Vertical Head, C. Vertical Spindel, D. Table, E. Saddle, F. Cross Feed Handle, G. Vertical Feed Crank, H. Knee, I. Vertical Positioning Screw, J. Base, K. Column, dan L. Table Handwheel) yang akan digunakan selama proses pelatihan, sebagaimana ditunjukkan pada Gambar 3.

Setelah peserta memahami fungsi dan bagian-bagian utama mesin *milling vertical*, kegiatan dilanjutkan dengan tahapan praktik langsung. Tujuan utama dari sesi ini adalah agar peserta mampu mengoperasikan mesin *milling* secara mandiri, dengan tetap memperhatikan aspek keselamatan kerja (K3), ketelitian, serta prosedur pemesinan yang benar. Sebagai persiapan pelaksanaan pelatihan, tim pelaksana telah mempersiapkan beberapa peralatan yang dibutuhkan selama proses pelaksanaan pelatihan seperti: Mesin *milling*, Ragum mesin, *Adaptor collet*, *Chuck bor*, *Cutter*, *Center drill*, Mata bor $\phi 6$ dan $\phi 10$, Jangka sorong, *Plat parallel*, dan benda kerja berupa balok. Pada **tahap kedua**; peserta diperkenalkan dengan material benda kerja yang digunakan, yaitu baja ST-37 dengan dimensi awal $32 \times 32 \times 32$ mm yang akan dibentuk menjadi balok bertingkat sesuai Gambar 4. Setiap peserta bertanggung jawab menyiapkan benda kerja masing-masing dengan memastikan permukaan rata dan posisi penjepitan stabil.



Gambar 3. Mesin *Milling vertical*: a. Visualisasi Mesin *Milling vertical*; b. Keterangan bagian-bagian dari Mesin *Milling vertical*

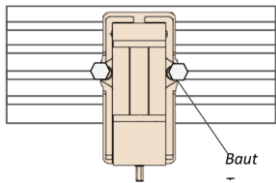
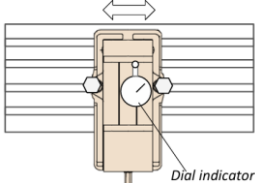

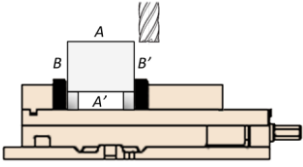
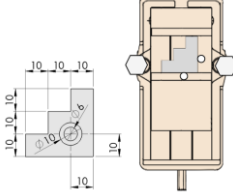
Pada tahap berikutnya adalah, **tahap ketiga**; pelaksanaan praktik pengoperasian mesin *milling vertical* dilakukan melalui tahapan sistematis sebagaimana dijelaskan dalam Tabel 1, yang memperlihatkan urutan kegiatan dengan penandaan huruf (a–l) pada setiap langkah. Mula-mulanya (a), instruktur menunjukkan cara memasang ragum di atas meja mesin *milling* menggunakan baut-T agar posisi dan kestabilan ragum terjamin selama proses pemotongan. Selanjutnya (b), dilakukan penyetelan kesejajaran rahang tetap ragum terhadap arah pergerakan meja mesin (sumbu X) untuk memastikan hasil pemotongan sejajar dan presisi. Tahap berikutnya (c–d) adalah pemasangan alat potong (*cutter*) pada adaptor dengan menggunakan *collet* yang sesuai dengan diameter batang *cutter*, kemudian adaptor tersebut dipasang pada kepala vertikal mesin. Setelah itu (e), benda kerja dari baja ST-37 berukuran $32 \times 32 \times 32$ mm dijepit pada ragum dengan bantuan pelat paralel sebagai ganjal, terutama jika tinggi benda kerja lebih kecil dari rahang ragum.



Gambar 4. Desain benda kerja balok bertingkat: a. Visualisasi 3D; b. Tampak Samping; c. Tampak Atas

Setelah posisi benda kerja diatur, dilakukan penyetelan titik nol (*zero setting*) pada mesin (f), dilanjutkan dengan perataan permukaan pada sisi A, A', B, dan B' (g). Hasil perataan diperiksa menggunakan jangka sorong untuk memastikan dimensi sesuai target, hingga terbentuk kubus berukuran 30×30 mm. Tahapan berikutnya (h) adalah pembuatan tingkat pertama dan kedua (langkah I dan langkah II) melalui proses pemakanan bertahap dengan kedalaman maksimum 2 mm setiap kali pemotongan, tergantung pada kondisi mesin. Lebih lanjut, apabila permukaan bertingkat terbentuk, *cutter* dilepas bersama *adaptor*, kemudian diganti dengan adaptor yang dilengkapi *chuck* bor (i–j). Selanjutnya (k), dipasang touch point sensor pada *chuck* untuk menentukan titik referensi pusat lubang. Mesin dihidupkan dan meja digerakkan perlahan hingga sensor berputar sesumbu dengan benda kerja. Ketika putaran sensor sejajar, titik tersebut digunakan sebagai referensi titik nol untuk pengeboran. Tahap akhir (l) adalah pembuatan lubang (*drilling*) yang dimulai dengan *center drill* untuk menandai titik pusat, kemudian pengeboran bertahap dilakukan menggunakan mata bor berdiameter 6 mm hingga kedalaman 30 mm (tembus), dan dilanjutkan dengan mata bor 10 mm hingga kedalaman 15 mm.

Tabel 1. Visualisasi langkah-langkah kerja proses pengoperasian mesin *milling vertical* untuk membuat balok bertingkat.

a		b	
d		e	f
g		h	i
j		k	l

Terakhir, Evaluasi dilakukan secara kuantitatif menggunakan rubrik penilaian yang mencakup: (1) akurasi dimensi benda kerja (0-40), (2) ketepatan urutan proses (0-30), (3) kepatuhan terhadap prosedur K3 (0-20), dan (4) kerapian hasil pemesinan (visual) (0-10). Sehingga total skor adalah 100, yang mana peserta dinyatakan kompeten apabila memperoleh nilai minimalnya adalah 70.

IV. HASIL DAN PEMBAHASAN

Kegiatan *Pelatihan Teknik Pengoperasian Mesin Milling Vertical* telah dilaksanakan di Workshop Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang dengan melibatkan 12 peserta yang berasal dari berbagai latar belakang Pendidikan (Gambar 5), yaitu 2 siswa MA, 6 siswa SMA, dan 4 siswa SMK. Seluruh peserta mengikuti rangkaian pelatihan yang diawali dengan pengenalan mesin dan aspek keselamatan dan kesehatan kerja (K3), dilanjutkan dengan demonstrasi pengoperasian mesin *milling vertical* (Gambar 7), serta praktik langsung pembuatan benda kerja berbentuk balok bertingkat sesuai desain yang telah ditentukan sebagai target *output*, dan terakhir evaluasi individual. Setiap peserta mengerjakan satu benda kerja secara mandiri berupa balok bertingkat dari material baja ST-37 berukuran 32×32×32 mm sesuai desain yang telah ditetapkan, sehingga capaian kompetensi dapat dinilai secara objektif. Penilaian dilakukan berdasarkan rubrik terstruktur yang meliputi empat aspek utama: (1) akurasi dimensi benda kerja, (2) ketepatan proses pemesinan, (3) kepatuhan terhadap keselamatan dan kesehatan kerja (K3), dan (4) kerapian visual hasil pemesinan. Pada Tabel 2, hasil rekapitulasi evaluasi menunjukkan bahwa rata-rata skor setiap aspek penilaian dari 12 peserta berada di atas nilai standar 70 dari total nilai maksimal (Gambar 6a), dengan tingkat keberhasilan pelatihan mencapai 91,7% (Gambar 6c). Hanya satu peserta yang memperoleh nilai di bawah standar. Berdasarkan evaluasi kuantitatif (Gambar 6b), sebanyak 85% peserta mampu menghasilkan benda kerja dengan capaian deviasi dimensi $\leq \pm 0,5$ mm menunjukkan tingkat akurasi yang dapat diterima untuk pelatihan dasar pemesinan konvensional, sebagaimana dilaporkan dalam studi evaluasi kompetensi pemesinan di pendidikan vokasi (Putra et al., 2015). Selain itu, 90% peserta menunjukkan kepatuhan terhadap prosedur K3, termasuk penggunaan alat pelindung diri dan pengoperasian mesin sesuai instruksi.



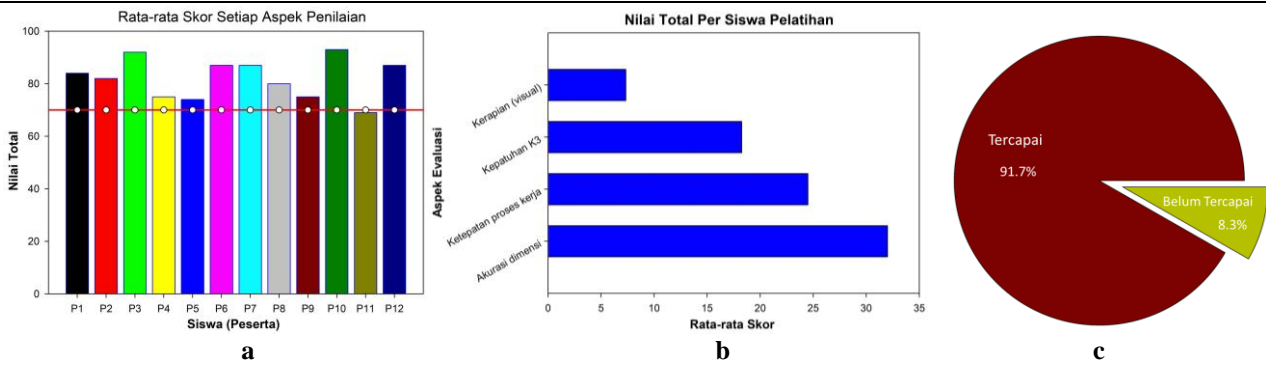
Gambar 5. Dokumentasi kegiatan: a. Penjelasan materi oleh Tim pelaksana dari Jurusan Teknik mesin Politeknik Negeri Padang; b. Peserta praktek langsung dengan mesin *milling vertical*; c. Foto bersama dengan Tim pelaksana dan peserta

Meskipun akurasi dimensi menunjukkan hasil yang memuaskan, seperti terlihat bahwa mesin *milling vertical* yang digunakan (Gambar 7a dan b) merupakan kondisi aktual di bengkel, ditampilkan dari tampak depan dan samping. Sementara itu, seperti terlihat pada Gambar 7c, kondisi awal benda kerja berupa balok dengan material baja ST-37 berukuran 32×32×32 mm sebelum diproses. Selanjutnya, hasil pelatihan menunjukkan bahwa proses pelatihan berjalan dengan baik dan mampu menghasilkan produk akhir berupa balok bertingkat (Gambar 5d) dengan dimensi yang sesuai dengan target.

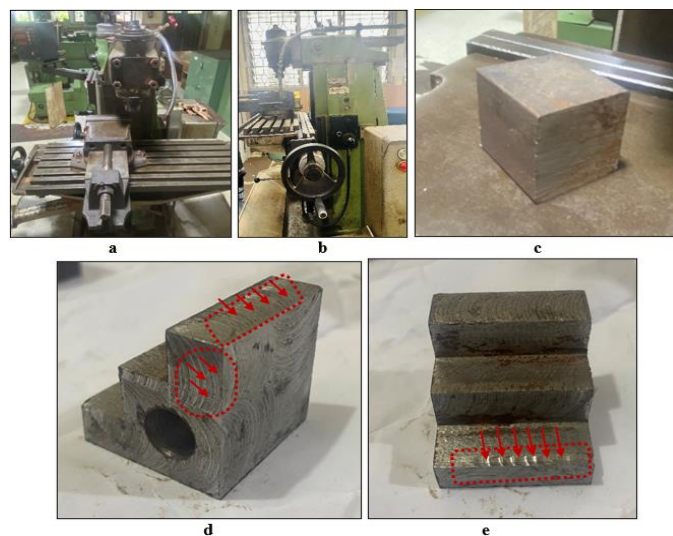
Tabel 2. Rekapitulasi hasil aspek evaluasi penilaian peserta pelatihan mesin *milling vertical* (n=12 siswa)

Peserta	Evaluasi Penilaian				Total
	Akurasi dimensi	Ketepatan proses kerja	Kepatuhan K3	Kerapian (Visual)	
P1	32	26	18	8	84
P2	32	24	19	7	82
P3	36	27	20	9	92
P4	30	23	15	7	75
P5	28	22	18	6	74
P6	35	25	19	8	87
P7	33	26	20	8	87
P8	31	24	18	7	80
P9	29	23	17	6	75
P10	37	28	20	8	93
P11	26	21	16	6	69
P12	36	25	19	8	88
Rata-Rata	32.084	24.5	18.25	7.34	

Namun demikian, karena kegiatan ini merupakan pengalaman pertama bagi sebagian besar peserta dalam mengoperasikan mesin *milling vertical* kualitas permukaan benda kerja masih menunjukkan kekasaran yang relatif tinggi dengan ditemukan beberapa jenis cacat permukaan. Analisis visual terhadap benda kerja mengidentifikasi tiga jenis cacat utama: (1) *chatter marks* atau getaran bergelombang pada permukaan, (2) *tear marks* atau sobekan material, dan (3) alur yang tidak rata. Cacat-cacat ini terutama ditemukan pada permukaan atas dan samping benda kerja balok bertingkat. Fenomena ini konsisten dengan literatur yang menyatakan bahwa *chatter* dalam proses pemesinan merupakan getaran yang dapat menurunkan kualitas permukaan, mengurangi akurasi dimensional, dan mempercepat keausan pahat (Quintana & Ciurana, 2011; Munoa et al., 2016). Faktor-faktor penyebab cacat permukaan yang diidentifikasi meliputi: (1) kecepatan potong (*cutting speed*) yang tidak tepat, (2) pemakanan (*feed rate*) yang terlalu cepat, (3) *cutter* yang sudah tumpul, dan (4) penguncian benda kerja yang kurang baik. Selain itu, kecacatan juga terlihat pada permukaan tingkat balok sisi bawah atau akhir pengerjaan tingkatan, yang diasumsikan terjadi karena kurangnya ketelitian peserta saat menyelesaikan tahap akhir serta keterbatasan pengalaman dalam penggunaan mesin *milling vertical*.



Gambar 6. Hasil Evaluasi seluruh peserta pelatihan: a. Rata-rata skor setiap aspek penilaian; b. Nilai total per aspek pelatihan; c. ketercapaian pelatihan



Gambar 7. Mesin *milling vertical* yang ada di Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang: a. Tampak depan; b. Tampak samping; Benda kerja yang berupa: c. Balok yang belum diproses dengan *milling vertical*; d. Balok bertingkat yang sudah diproses dari tampak samping; e. Balok bertingkat dari tampak depan.

Temuan ini sejalan dengan penelitian yang menunjukkan bahwa parameter pemotongan yang tidak optimal dan kurangnya pengalaman operator merupakan faktor utama yang memengaruhi kualitas permukaan hasil pemesinan (Benardos & Vosniakos, 2003; Abellán et al., 2024). Dibandingkan dengan program pengabdian kepada masyarakat sejenis yang hanya melaporkan peningkatan pemahaman konseptual atau keikutsertaan peserta (Suryono & Burhanudin, 2022), kegiatan ini memberikan capaian yang lebih terukur melalui evaluasi berbasis produk hasil pemesinan. Pendekatan evaluasi kuantitatif berbasis akurasi dimensi dan kualitas permukaan benda kerja memungkinkan pengukuran objektif terhadap tingkat kompetensi peserta sesuai standar industri. Hal ini menunjukkan bahwa pendekatan *hands-on training* dengan evaluasi kuantitatif lebih efektif dalam meningkatkan kompetensi teknis peserta dibandingkan dengan pendekatan demonstratif semata, sejalan dengan *framework authentic assessment* dalam pendidikan vokasi yang menekankan pada evaluasi berbasis tugas nyata (*real-world tasks*) sebagai indikator pencapaian kompetensi (Gulikers et al., 2004).

V. KESIMPULAN

Pelatihan pengoperasian mesin *milling vertical* berbasis praktik langsung terbukti meningkatkan kompetensi dasar pemesinan peserta. Berdasarkan hasil evaluasi, sebanyak 85% peserta mampu menghasilkan benda kerja sesuai spesifikasi dimensi dan 90% memenuhi aspek keselamatan kerja. Meskipun kualitas permukaan masih perlu ditingkatkan, metode ini efektif sebagai model pelatihan vokasi bagi masyarakat dan sektor IKM.

UCAPAN TERIMA KASIH

Dengan terselenggaranya kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini, kami menyampaikan ucapan terima kasih dan penghargaan yang sebesar-besarnya kepada pihak-pihak yang telah memberikan dukungan, fasilitas, serta kontribusi dalam pelaksanaan kegiatan, yaitu kepada: Direktur Politeknik Negeri Padang melalui Pusat Penelitian dan Pengabdian kepada Masyarakat (P3M) yang telah memberikan dukungan dan pendanaan kegiatan ini. Kedua, Ketua Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Padang yang telah memfasilitasi penggunaan workshop dan peralatan laboratorium selama kegiatan berlangsung. Kami berharap kegiatan ini dapat menjadi langkah awal dalam memperkuat kolaborasi antara dunia pendidikan dan masyarakat industri, khususnya dalam pengembangan kompetensi di bidang manufaktur dan permesinan.

DAFTAR PUSTAKA

- Abellán-Nebot, J. V., Vila Pastor, C., & Siller, H. R. (2024). A Review of the Factors Influencing Surface Roughness in Machining and Their Impact on Sustainability. *Sustainability (Switzerland)*. <https://doi.org/10.3390/su16051917>
- Abizar, H., Fawaid, M., & Nurhaji, S. (2020). Pelatihan Pengoperasian Mesin CNC Berbasis Swansoft Simulator Kepada Siswa Teknik Pemesinan di Kota Serang. *Pengabdian Pada Masyarakat*, 5(2).
- Bateman, A., & Coles, M. (2017). *Towards Quality Assurance of Technical and Vocational Education and Training. UNESCO Bangkok*.
- Benardos, P. G., & Vosniakos, G. C. (2003). Predicting surface roughness in machining: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*, 43(8). [https://doi.org/10.1016/S0890-6955\(03\)00059-2](https://doi.org/10.1016/S0890-6955(03)00059-2)
- Burhanudin, B., Suryono, E., Prasetyo, A., Margono, B., Zainuddin, Z., & Rahmatulloh, A. (2023). PENGEMBANGAN POLA PEMBELAJARAN PEMOGRAMAN CNC MELALUI INTEGRASI G CODE, SIMULATOR CNC DAN CAM. *Abdi Masya*, 4(2). <https://doi.org/10.52561/abma.v4i2.310>
- Firmansyah, M. A., & Pranoto, H. (2024). Multi Aspect Optimization of Milling Machines: Review. *JMPM (Jurnal Material Dan Proses Manufaktur)*, 8(1). <https://doi.org/10.18196/jmpm.v8i1.21088>
- Gulikers, J. T. M., Bostiaens, T. J., & Kirschner, P. A. (2004). A five-dimensional framework for authentic assessment. *Educational Technology Research and Development*. <https://doi.org/10.1007/BF02504676>
- Hamid, A., Fatirul, A. N., & Waluyo, D. A. (2025). PENGEMBANGAN E-MODUL TEKNIK PEMESINAN FRAIS SEBAGAI MEDIA PEMBELAJARAN UNTUK PESERTA DIDIK SMK. *EDUTECH*, 24(1). <https://doi.org/10.17509/e.v24i1.76757>
- Jufrizal, J., Hermanto, T., Riadi, S., & Marwan, M. (2023). Pelatihan Proses Milling Bagi Mahasiswa di Growth Centre LLDIKTI Wilayah - I. *IRA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (IRAJPKM)*, 1(1). <https://doi.org/10.56862/irajpkm.v1i1.49>
- Munoa, J., Beudaert, X., Dombovari, Z., Altintas, Y., Budak, E., Brecher, C., & Stepan, G. (2016). Chatter suppression techniques in metal cutting. *CIRP Annals - Manufacturing Technology*, 65(2). <https://doi.org/10.1016/j.cirp.2016.06.004>
- Nursanti, I., & Purwanto, F. (2024). Implementasi Pembelajaran Teaching Factory Di Program Keahlian Teknik Mesin Di Smk Negeri 1 Singosari. *Jurnal Pendidikan Profesional*, 13(3).
- Putra, R. C., Karo-Karo, U., & Purnawan, P. (2015). ANALISIS PENILAIAN KUALITAS DIMENSI PRODUK UJI KOMPETENSI KEAHLIAN TEKNIK PEMESINAN DI SMK. *Journal of Mechanical Engineering Education*, 2(1). <https://doi.org/10.17509/jmee.v2i1.1159>
- Quintana, G., & Ciurana, J. (2011). Chatter in machining processes: A review. *International Journal of Machine Tools and Manufacture*. <https://doi.org/10.1016/j.ijmactools.2011.01.001>
- Siregar, A., Dariantio, D., Aprilia, I., & Mahyunis, M. (2023). Pelatihan Proses Cutting dan Drilling Bagi Mahasiswa di Growth Centre LLDIKTI Wilayah - I. *IRA Jurnal Pengabdian Kepada Masyarakat (IRAJPKM)*, 1(1). <https://doi.org/10.56862/irajpkm.v1i1.52>
- Sudiyono, S., & Alip, M. (2016). EVALUASI SARANA DAN PRASARANA BENGKEL PRAKTIK SMK TEKNIK PEMESINAN DI KOTA SEMARANG BERDASARKAN KEBUTUHAN KURIKULUM. *Jurnal Pendidikan Vokasi*, 6(1). <https://doi.org/10.21831/jpv.v6i1.8117>
- Suryono, E., & Burhanudin, B. (2022). Pelatihan Pemograman CNC Berbasis Simulator Untuk Guru-Guru SMK Rumpun Teknik Pemesinan. *Jurnal Pengabdian Masyarakat Progresif Humanis Brainstorming*, 5(2). <https://doi.org/10.30591/japhb.v5i2.3116>