Vol. 5 No. 4 (2026) - November, pp 3414-3421 https://doi.org/10.59025/y5mszz66

Jurnal Masyarakat Madani Indonesia
e-ISSN: 2829-6702
https://syadani.onlinelibrary.id/

Implementasi Teknologi Tepat Guna dan Pelatihan Berbasis Produksi Untuk Peningkatan Kualitas dan Keselamatan Proses Laser Engraving pada UMKM

Anindya Dwi Risdhayanti[1], Arief Rahman Hidayat[1], Muchlis Fajar Hidayat[1], Hari Kurnia Safitri[1], Denda Dewatama[1], Mohammad Luqman[1], Hery Budiyanto[2]

[1]*Jurusan Teknik Elektro, Politeknik Negeri Malang, Malang, Indonesia*
[2]*Program Magister Arsitektur, Universitas Merdeka Malang, Malang, Indonesia*

INFO ARTIKEL

Diserahkan: 21/08/2026
Direvisi: 20/09/2026
Diterima: 17/10/2026
Diterbitkan: 31/10/2026

***Kata Kunci*:**

Laser Engraving,
Teknologi Tepat Guna,
UMKM,
Keselamatan Kerja,
5S,
Pelatihan Berbasis Produksi

ABSTRAK

Pemanfaatan laser engraving pada UMKM kerajinan kayu dapat meningkatkan presisi dan variasi produk, tetapi memerlukan fasilitas kerja, pengendalian asap, dan kompetensi operator yang memadai. Kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat ini bertujuan meningkatkan kualitas proses dan keselamatan kerja pada GS4 Woodcraft melalui integrasi teknologi tepat guna dan pelatihan berbasis produksi. Intervensi meliputi adjustable table, dudukan mesin laser, honeycomb bed, exhaust fan dengan ducting, pelatihan fokus laser, keselamatan kerja, serta 5S. Evaluasi dirancang menggunakan perbandingan sebelum-sesudah pada indikator kesiapan stasiun kerja, implementasi teknologi, pengetahuan, keterampilan, kualitas produk, waktu setup, dan kepatuhan keselamatan kerja. Data menunjukkan indeks kesiapan stasiun kerja meningkat dari 33,33% menjadi 95,83%, seluruh empat perangkat teknologi terealisasi dan berfungsi, skor pengetahuan meningkat dari 60 menjadi 85 dengan N-Gain 0,63, dan indeks keterampilan meningkat dari 46,88% menjadi 90,63%. Produk sesuai standar meningkat dari 70% menjadi 95%, defect/rework menurun dari 30% menjadi 5%, waktu setup berkurang 33,33%, dan kepatuhan keselamatan kerja meningkat dari 50% menjadi 100%. Integrasi fasilitas produksi dan pelatihan menunjukkan potensi peningkatan keberdayaan mitra secara teknis dan operasional.

Corresponding author email: risdhayanti@polinema.ac.id

Copyright@ Author (2026). Published by Alesha Media Digital. This is an open access article under the CC BY SA license. All writings published in this journal are personal views of the author and do not represent the views of this journal and the author's affiliated institutions.

1. PENDAHULUAN

Usaha mikro, kecil, dan menengah pada sektor kerajinan kayu memerlukan kemampuan produksi yang presisi, fleksibel, dan konsisten agar dapat menghasilkan produk bernilai tambah. Teknologi laser engraving memberikan kemampuan pemrosesan detail yang tinggi, tetapi kualitas hasilnya sensitif terhadap daya laser, kecepatan pemindaian, karakter material, kondisi fokus, serta posisi permukaan benda kerja. Sejumlah penelitian pada kayu menunjukkan bahwa perubahan daya, kecepatan, dan kondisi fokus memengaruhi kedalaman, warna, ketajaman, dan mutu visual hasil engraving [1]–[7].

Selain aspek kualitas, pemanfaatan laser pada material kayu perlu memperhatikan lingkungan kerja. Proses pemotongan dan pengukiran laser menghasilkan partikulat dan kontaminan gas yang dapat terlepas ke area operator, sehingga pengendalian melalui ventilasi atau ekstraksi lokal menjadi bagian penting dari praktik kerja yang lebih aman [8]. Penataan stasiun kerja juga berpengaruh terhadap konsistensi operasi. Implementasi 5S pada industri skala kecil dilaporkan mendukung pengurangan pemborosan, penataan tempat kerja, produktivitas, serta keselamatan [9], [10].

GS4 Woodcraft merupakan UMKM kerajinan kayu pinus yang telah menggunakan mesin laser engraving

dalam pengembangan produknya. Berdasarkan kondisi awal pada dokumen kegiatan, terdapat tiga kelompok masalah. Pertama, variasi ketebalan material membutuhkan penyesuaian posisi benda kerja terhadap titik fokus, tetapi meja kerja belum mempunyai mekanisme penyesuaian ketinggian yang memadai. Kedua, area proses belum dilengkapi sistem exhaust khusus untuk mengalirkan asap keluar dari area operator. Ketiga, penggunaan fasilitas pendukung, keselamatan kerja, dan 5S belum distandardisasi secara terstruktur.

Intervensi dirancang bukan sebagai pengadaan mesin laser baru, melainkan optimalisasi ekosistem penggunaan mesin yang telah dimiliki mitra. Teknologi tepat guna yang diterapkan terdiri atas adjustable table, dudukan mesin laser, tatakan honeycomb, serta exhaust fan dan ducting. Perangkat tersebut digunakan sebagai media pelatihan berbasis produksi yang mencakup pengaturan posisi material, fokus laser, pemeriksaan fasilitas, keselamatan kerja, dan 5S. Pendekatan serupa pada pemberdayaan pengrajin menunjukkan bahwa teknologi laser perlu disertai peningkatan keterampilan pengguna agar berdampak pada efisiensi dan kualitas produksi [11].

Kegiatan ini bertujuan meningkatkan kesiapan stasiun kerja, kompetensi operator, konsistensi hasil proses, efisiensi waktu setup, dan kepatuhan keselamatan kerja di GS4 Woodcraft. Evaluasi sebelum-sesudah digunakan untuk mengubah capaian yang sebelumnya bersifat deskriptif menjadi indikator kuantitatif yang dapat dipertanggungjawabkan. Selain mendukung kebutuhan mitra, pendekatan ini relevan dengan ruang lingkup pengabdian berbasis teknologi tepat guna dan penguatan kapasitas masyarakat [12], [13].

2. METODE PELAKSANAAN

Kegiatan dilaksanakan pada GS4 Woodcraft dengan melibatkan pemilik dan operator sebagai mitra. Metode yang digunakan adalah penerapan teknologi tepat guna yang dipadukan dengan pelatihan berbasis produksi. Tahapan program terdiri atas identifikasi kondisi eksisting, perancangan solusi, instalasi perangkat, pelatihan teknis, pendampingan penerapan prosedur kerja, serta monitoring dan evaluasi. Teknologi yang diterapkan meliputi satu unit adjustable table, satu unit dudukan mesin laser, satu unit honeycomb bed, dan satu sistem exhaust fan yang dilengkapi ducting.

Pelatihan dilaksanakan pada lingkungan produksi mitra agar materi dapat langsung dipraktikkan. Materi meliputi pengaturan posisi material dan fokus laser, penggunaan *adjustable table* dan *honeycomb bed*, pengoperasian *exhaust fan*, pemeriksaan *ducting*, prosedur keselamatan sebelum–selama–setelah proses, serta 5S. Pendekatan praktik dipilih karena penguatan kemampuan teknis pada program pemberdayaan lebih efektif ketika teknologi digunakan langsung dalam konteks pekerjaan mitra [11], [13].

2.1 Desain Evaluasi

Evaluasi dirancang sebagai *one-group before-after evaluation* (O1 → X → O2). O1 merupakan kondisi sebelum penerapan fasilitas dan pelatihan, X merupakan implementasi empat teknologi tepat guna beserta pendampingan, sedangkan O2 merupakan kondisi setelah intervensi. Penilaian tidak hanya menggunakan indikator keberadaan aset, tetapi juga indikator pengetahuan, keterampilan, kualitas hasil, efisiensi setup, dan kepatuhan K3.

Tabel 1. Indikator dan Metode Evaluasi Program

No.	Aspek	Indikator	Metode ukur
1	Stasiun kerja	6 indikator kesiapan	Skala observasi 1–4; indeks = skor/skor maksimum × 100%
2	Teknologi	4 perangkat TTG	Target vs realisasi, fungsi, dan penggunaan operator
3	Pengetahuan	Pemahaman operasi/K3/5S	Skor pre-test dan post-test; N-Gain
4	Keterampilan	8 keterampilan praktik	Rubrik skala 1–4; indeks keterampilan (%)
5	Kualitas proses	Produk sesuai standar dan defect/rework	20 sampel sebelum dan 20 sampel sesudah

6	Efisiensi	Waktu setup	5 pengulangan sebelum dan sesudah
7	K3	8 tindakan keselamatan	Checklist biner Ya=1, Tidak=0

2.2 Kriteria dan Rumus Pengolahan

Skala kesiapan stasiun kerja menggunakan kategori 1 = belum diterapkan, 2 = mulai diterapkan, 3 = diterapkan tetapi belum konsisten, dan 4 = diterapkan dengan baik dan konsisten. Indeks dihitung sebagai total skor dibagi skor maksimum dikalikan 100%. Peningkatan dinyatakan sebagai selisih poin persentase. Pengetahuan dianalisis menggunakan selisih skor, peningkatan relatif, dan$\mathrm{N-Gain\ g} = \frac{\mathrm{post-pre}}{100-\mathrm{pre}}$, dengan kategori rendah ($g < 0{,}30$), sedang ($0{,}30 \le g < 0{,}70$), dan tinggi ($g \ge 0{,}70$).

Kualitas proses dievaluasi melalui persentase produk yang memenuhi kriteria visual dan persentase defect/rework. Waktu setup dihitung sebagai rata-rata waktu sejak penempatan material sampai mesin siap memulai pekerjaan . Kepatuhan K3 dihitung dari jumlah tindakan yang dipenuhi dibagi seluruh indikator checklist dikalikan 100%.

$$\text{Efisiensi waktu} = \frac{\text{Tsebelum} - \text{Tsesudah}}{\text{Tsebelum}} \times 100\%.$$

3. HASIL & PEMBAHASAN

3.1 Kondisi Awal dan Implementasi Teknologi

Kondisi awal menunjukkan bahwa pengaturan ketinggian material belum didukung meja adjustable, honeycomb belum menjadi media kerja utama, belum tersedia exhaust khusus, penataan area kerja masih bergantung pada kebiasaan operator, dan penerapan K3 serta 5S belum konsisten. Setelah program, empat perangkat utama tersedia dan dapat digunakan sebagai satu stasiun kerja laser engraving: adjustable table, dudukan mesin, honeycomb bed, serta exhaust fan dengan ducting. Perubahan ini sesuai dengan tujuan intervensi, yaitu mengoptimalkan fasilitas pendukung mesin yang telah dimiliki mitra.

Tabel 2. Skor Kesiapan Stasiun Kerja Sebelum dan Sesudah Program

Indikator	Sebelum	Sesudah
Pengaturan ketinggian material	1	4
Penggunaan honeycomb bed	1	4
Sistem pembuangan asap	1	4
Penataan area kerja	2	4
Penerapan K3	2	4
Penerapan 5S	1	3
Total skor	8	23
Indeks capaian	33.33%	95.83%

Indeks kesiapan stasiun kerja meningkat dari 33.33% menjadi 95.83%, atau bertambah 62.50 poin persentase. Perubahan terbesar terjadi pada pengaturan ketinggian material, penggunaan honeycomb, dan sistem pembuangan asap karena ketiga fasilitas tersebut sebelumnya belum tersedia sebagai sarana standar. Dari sisi teknologi, empat dari empat komponen yang ditargetkan terealisasi, terpasang, berfungsi, dan dapat digunakan operator sehingga ketercapaian implementasi perangkat adalah 100%.

Tabel 3. Ketercapaian Implementasi Teknologi Tepat Guna

Perangkat	Target	Realisasi	Terpasang	Berfungsi	Digunakan operator
Adjustable table	1	1	Ya	Ya	Ya
Dudukan mesin laser	1	1	Ya	Ya	Ya
Honeycomb bed	1	1	Ya	Ya	Ya
Exhaust fan + ducting	1	1	Ya	Ya	Ya

3.2 Peningkatan Pengetahuan dan Keterampilan Operator

Evaluasi pengetahuan diarahkan pada pemahaman fokus laser, fungsi adjustable table dan honeycomb, penggunaan exhaust, pemeriksaan sebelum operasi, risiko asap, K3, serta 5S. Dataset menunjukkan rata-rata skor pengetahuan meningkat dari 60 menjadi 85. Peningkatan relatif terhadap nilai awal adalah 41,67%, sedangkan rata-rata N-Gain sebesar 0,63 dan berada pada kategori sedang. Hasil ini sejalan dengan konsep pelatihan berbasis produksi karena materi langsung dikaitkan dengan penggunaan fasilitas pada stasiun kerja.

Tabel 4. Data Uji Pre-Test, Post-Test, dan N-Gain Pengetahuan

Peserta	Pre-test	Post-test	N-Gain
P1	50	80	0.600
P2	60	90	0.750
P3	60	80	0.500
P4	70	90	0.667
P5	60	85	0.625
Rata-rata	60.0	85.0	0.628

Tabel 5. Rubrik Keterampilan Praktik Operator

Keterampilan operator	Sebelum	Sesudah
Menentukan posisi material	2	4
Mengatur adjustable table	2	4
Menentukan fokus laser	2	4
Menempatkan material pada honeycomb	2	4
Mengoperasikan exhaust fan	2	4
Memeriksa ducting	2	3
Menjalankan prosedur K3	1	3
Melakukan 5S setelah produksi	2	3
Total skor	15	29
Indeks keterampilan	46.88%	90.62%

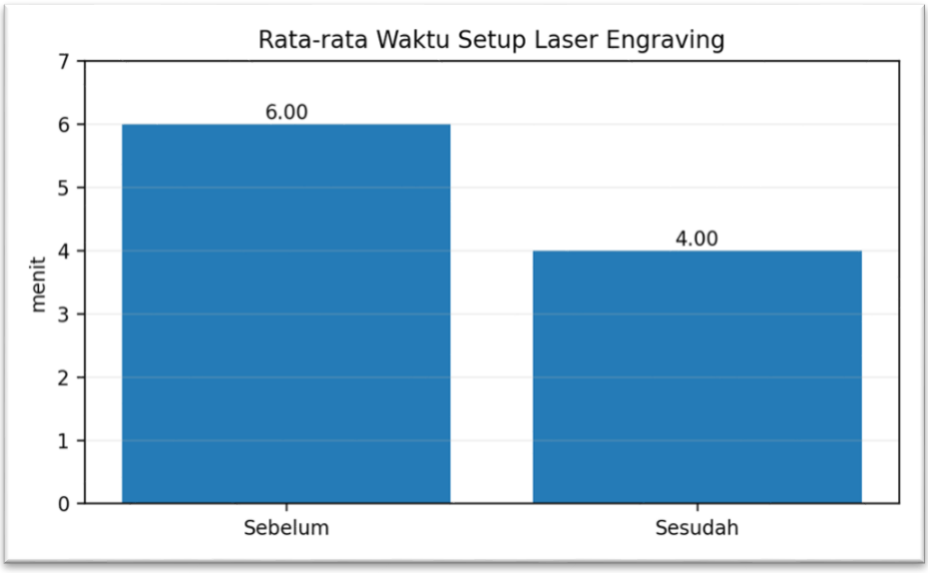
Indeks keterampilan meningkat dari 46.88% menjadi 90.62%, atau bertambah 43.75 poin persentase. Capaian ini menunjukkan pergeseran dari kemampuan yang masih memerlukan bantuan menuju penggunaan perangkat yang lebih mandiri. Keterampilan yang paling penting adalah mengatur bidang kerja, menyesuaikan fokus, menjalankan exhaust, dan melakukan pemeriksaan keselamatan karena aspek tersebut langsung memengaruhi konsistensi proses dan risiko kerja.

3.3 Efisiensi Setup dan Kualitas Hasil Engraving

Tabel 6. Data Uji Waktu Setup Proses Laser Engraving

Pengulangan	Setup sebelum (menit)	Setup sesudah (menit)
1	6.2	4.1
2	6.0	3.9
3	5.8	4.0
4	6.1	4.2
5	5.9	3.8
Rata-rata	6.00	4.00

Rata-rata waktu setup berkurang dari 6.00 menit menjadi 4.00 menit. Efisiensi waktu sebesar 33.33% menunjukkan manfaat operasional adjustable table dan stasiun kerja yang lebih tertata. Secara teknis, hasil engraving pada kayu dipengaruhi oleh daya, kecepatan, fokus, dan karakter material [1]–[7]; karena itu, fasilitas mekanis yang membantu mempertahankan posisi benda kerja tidak menggantikan penentuan parameter laser, tetapi memperkuat konsistensi persiapan proses.

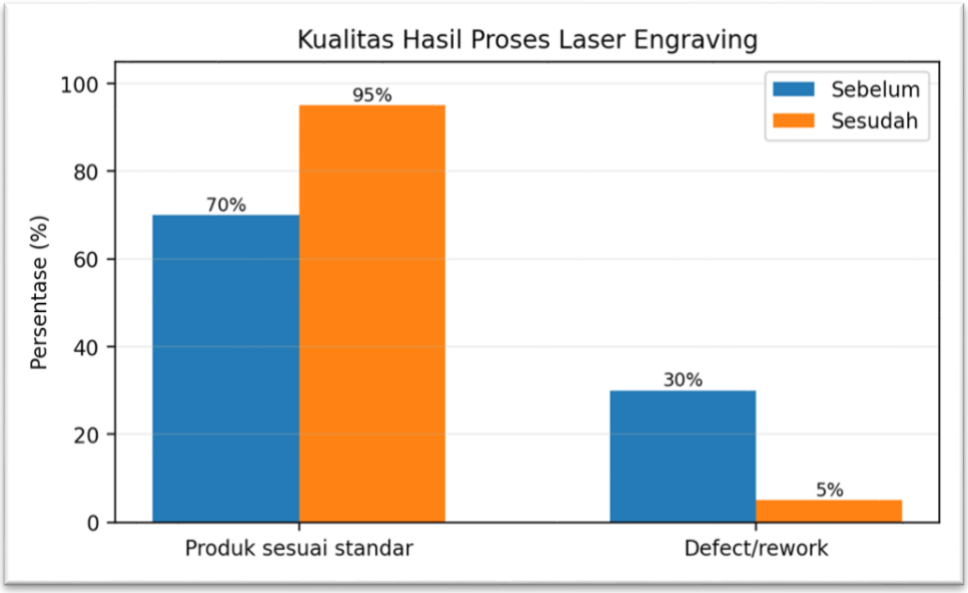


Gambar 1. Perbandingan rata-rata waktu setup sebelum dan sesudah program

Tabel 7. Data Uji Kualitas Hasil Laser Engraving

Kondisi	Jumlah sampel	Produk sesuai standar	Defect/rework	Persentase sesuai	Defect rate
Sebelum	20	14	6	70%	30%
Sesudah	20	19	1	95%	5%

Proporsi produk yang memenuhi kriteria meningkat dari 70% menjadi 95%, sedangkan defect/rework turun dari 30% menjadi 5%. Penurunan relatif defect adalah 83.33%. Kriteria visual yang dapat digunakan pada verifikasi lapangan meliputi ketajaman pola, tingkat gosong, keseragaman warna, kesesuaian dimensi, dan tidak adanya bagian yang memerlukan pengerjaan ulang. Klaim kualitas ini sebaiknya tetap dibatasi pada kriteria observasi apabila belum tersedia pengukuran kedalaman engraving secara instrumental.



Gambar 2. Perbandingan produk sesuai standar dan defect/rework

3.4 Peningkatan Keselamatan Kerja dan 5S

Tabel 8. Checklist Kepatuhan Keselamatan Kerja

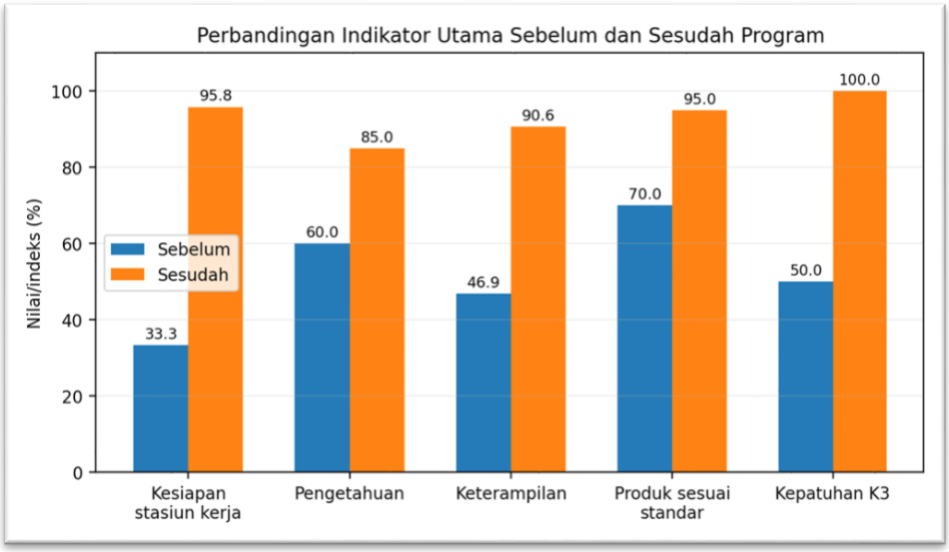
Indikator K3	Sebelum	Sesudah
Exhaust dinyalakan sebelum proses	Ya	Ya
Ducting diperiksa	Tidak	Ya
Area bebas material mudah terbakar	Ya	Ya
Material ditempatkan dengan benar	Tidak	Ya
Operator menjaga jarak aman	Ya	Ya
Area dibersihkan setelah proses	Tidak	Ya
Kondisi kabel diperiksa	Ya	Ya
5S dilakukan setelah pekerjaan	Tidak	Ya
Kepatuhan	50%	100%

Kepatuhan checklist keselamatan meningkat dari 50% menjadi 100% atau bertambah 50 poin persentase. Peningkatan ini terutama terkait kebiasaan mengoperasikan exhaust sebelum proses, memeriksa ducting dan kabel, menata material mudah terbakar, serta membersihkan area setelah pekerjaan. Literatur menunjukkan bahwa laser cutting/engraving dapat menghasilkan partikulat dan kontaminan gas, sehingga keberadaan ventilasi dan disiplin pengoperasiannya relevan terhadap pengendalian paparan [8]. Penerapan 5S juga mendukung area kerja yang lebih terorganisasi dan aman [9], [10]. Program pengabdian lain pada aspek K3 menunjukkan bahwa edukasi dan pendampingan diperlukan untuk membangun budaya keselamatan, bukan hanya menyediakan fasilitas [12].

3.5 Dampak terhadap Keberdayaan Mitra

Tabel 9. Ringkasan Ketercapaian Indikator Program

Indikator	Sebelum	Sesudah	Perubahan
Indeks kesiapan stasiun kerja	33.33%	95.83%	+62.50 poin
Implementasi teknologi	0/4 perangkat	4/4 perangkat	100% target
Pengetahuan	60	85	+25 poin; N-Gain 0.63
Indeks keterampilan	46.88%	90.62%	+43.75 poin
Produk sesuai standar	70%	95%	+25 poin
Defect/rework	30%	5%	turun 83.33% relatif
Waktu setup	6.00 menit	4.00 menit	turun 33.33%
Kepatuhan K3	50%	100%	+50 poin



Gambar 3. Ringkasan indikator utama sebelum dan sesudah program

Secara substantif, program menghasilkan dua bentuk keberdayaan. Pertama, keberdayaan teknis melalui tersedianya fasilitas yang memungkinkan pengaturan material dan penanganan asap secara lebih terstruktur. Kedua, keberdayaan sumber daya manusia melalui peningkatan kemampuan operator menjalankan proses, mengevaluasi hasil, dan menerapkan prosedur keselamatan. Model ini konsisten dengan kegiatan pemberdayaan berbasis teknologi laser pada kelompok usaha kecil [11] dan penerapan teknologi tepat guna pada UMKM untuk meningkatkan produktivitas [13]. Kajian proses laser pada kayu juga menegaskan bahwa pemilihan metode, fokus, dan konfigurasi pemotongan atau pengukiran memengaruhi kualitas serta efisiensi proses [14]–[16]. Keterbatasan utama adalah belum adanya pengukuran kualitas udara, kedalaman engraving, dan data produksi jangka panjang; karena itu pengembangan berikutnya perlu mencakup pencatatan parameter daya, kecepatan, jarak fokus, jenis material, waktu proses, defect, serta pemeriksaan kinerja exhaust secara berkala.

4. KESIMPULAN

Integrasi teknologi tepat guna dan pelatihan berbasis produksi pada GS4 Woodcraft membentuk stasiun kerja laser engraving yang lebih terstruktur melalui penerapan adjustable table, dudukan mesin, honeycomb bed, serta exhaust fan dengan ducting. Berdasarkan dataset kerja, indeks kesiapan stasiun meningkat dari 33,33% menjadi 95,83%, seluruh empat perangkat yang ditargetkan terealisasi, skor pengetahuan meningkat dari 60 menjadi 85 dengan N-Gain 0,63, dan indeks keterampilan meningkat dari 46,88% menjadi 90,63%. Pada aspek produksi, proporsi produk sesuai standar meningkat dari 70% menjadi 95%, defect/rework menurun dari 30% menjadi 5%, dan waktu setup berkurang dari 6,00 menjadi 4,00 menit atau 33,33%. Kepatuhan checklist K3 meningkat dari 50% menjadi 100%. Keunggulan program terletak pada integrasi fasilitas, peningkatan kompetensi, dan standardisasi prosedur, sedangkan keterbatasannya adalah belum tersedianya pengukuran kualitas udara serta kualitas engraving secara instrumental. Pengembangan selanjutnya disarankan mencakup pencatatan parameter proses, evaluasi kualitas engraving, pemantauan defect, dan pemeriksaan sistem exhaust secara berkala.

UCAPAN TERIMA KASIH

Tim pelaksana menyampaikan terima kasih kepada Politeknik Negeri Malang atas dukungan pendanaan kegiatan Pengabdian kepada Masyarakat melalui skema PPM DIPA Reguler Politeknik Negeri Malang. Apresiasi disampaikan kepada GS4 Woodcraft atas partisipasi aktif, penyediaan fasilitas produksi, mesin laser engraving, material kayu, serta keterlibatan dalam implementasi teknologi, pelatihan, dan evaluasi kegiatan.

DAFTAR PUSTAKA

[1] A. Finali, “Pengaruh Daya dan Kecepatan Mesin Laser Engraving Portable terhadap Hasil Ukir Kayu,” Jurnal Crankshaft, vol. 7, no. 3, pp. 53–62, 2024, doi: 10.24176/cra.v7i3.13413.

[2] M. Güneş and Ç. Ersin, “Optimization of Wood-Based Birch Plywood CO2 Laser Engraving Process Parameters with Taguchi Method,” Black Sea Journal of Engineering and Science, vol. 7, no. 5, pp. 946–953, 2024, doi: 10.34248/bsengineering.1529803.

[3] J. Kúdela, I. Kubovský, and M. Andrejko, “Influence of Irradiation Parameters on Structure and Properties of Oak Wood Surface Engraved with a CO2 Laser,” Materials, vol. 15, no. 23, Art. no. 8384, 2022, doi: 10.3390/ma15238384.

[4] J. Kúdela, M. Andrejko, and I. Kubovský, “The Effect of CO2 Laser Engraving on the Surface Structure and Properties of Spruce Wood,” Coatings, vol. 13, no. 12, Art. no. 2006, 2023, doi: 10.3390/coatings13122006.

[5] M. Jurek and R. Wagnerová, "Laser beam calibration for wood surface colour treatment," European Journal of Wood and Wood Products, vol. 79, pp. 1097–1107, 2021, doi: 10.1007/s00107-021-01704-3.

[6] M. S. Kasim et al., "Determining optimal laser engraving conditions for high-contrast and well-defined engraving on Kapur wood (Dryobalanops) using ImageJ," The International Journal of Advanced Manufacturing Technology, vol. 141, no. 1–2, pp. 397–410, 2025, doi: 10.1007/s00170-025-16670-w.

[7] Z. Gochev and P. Vichev, "Influence of Focal Length Position of Focusing Lens on Plywood Discoloration Under Different Modes of CO2 Laser Engraving," Drvna industrija, vol. 76, no. 2, pp. 115–123, 2025, doi: 10.5552/drvind.2025.0168.

[8] K. O'Neill, X. Niu, J. Wang, and R. Fang, "Respirable Particles and Gas Contaminants Emissions from a Desktop Laser Cutter and Engraver," Aerosol and Air Quality Research, vol. 24, Art. no. 240032, 2024, doi: 10.4209/aaqr.240032.

[9] K. M. Senthil Kumar, K. Akila, K. K. Arun, S. Prabhu, and C. Selvakumar, "Implementation of 5S practices in a small scale manufacturing industries," Materials Today: Proceedings, vol. 62, pp. 1913–1916, 2022, doi: 10.1016/j.matpr.2022.01.402.

[10] E. J. Hernández Lamprea, Z. M. Camargo Carreño, and P. M. T. Martínez Sánchez, "Impact of 5S on productivity, quality, organizational climate and industrial safety in Caucho Metal Ltda," Ingeniare. Revista chilena de ingeniería, vol. 23, no. 1, pp. 107–117, 2015, doi: 10.4067/S0718-33052015000100013.

[11] A. Yusupa, Z. Zuldesmi, I. Trang, and M. F. Suharto, "Pemberdayaan Kelompok Asosiasi Pengusaha Industri Kecil (APIK) dalam Penerapan Teknologi Ukiran Laser pada Kerajinan Turunan Kelapa di Sulawesi," I-Com: Indonesian Community Journal, vol. 4, no. 4, pp. 3094–3103, 2024, doi: 10.70609/icom.v4i4.5834.

[12] A. Riyadi, E. Octavainto, S. Prastowo, and R. Prasetia, "Penguatan Budaya K3 Pada Sektor Industri melalui Pendampingan K3 PT. Dira Energi Utama di Lingkungan Proyek PT. Kaltim Nitrate Indonesia Bontang," Jurnal Masyarakat Madani Indonesia, vol. 5, no. 1, pp. 747–752, 2026, doi: 10.59025/j6mbrm39.

[13] D. R. Nurhayati, D. Harjunowibowo, K. Diharjo, L. U. Khasanah, S. Supeni, E. N. Solikhah, and A. D. Sawitri, "Peningkatan Produktivitas Melon dan UKM Jamu Melalui Penerapan Teknologi Screen House dan Mesin Pengering di Desa Kepatihan, Kecamatan Selogiri, Wonogiri," Jurnal Masyarakat Madani Indonesia, vol. 5, no. 1, pp. 321–328, 2026, doi: 10.59025/9qh92h22.

[14] C. Leone, V. Lopresto, and D. Iorio, "Wood engraving by Q-switched diode-pumped frequency-doubled Nd:YAG green laser," Optics and Lasers in Engineering, vol. 47, no. 1, pp. 161–168, 2009, doi: 10.1016/j.optlaseng.2008.06.019.

[15] A. Martinez-Conde, T. Krenke, S. Frybort, and U. Müller, "Comparative analysis of CO2 laser and conventional sawing for cutting of lumber and wood-based materials," Wood Science and Technology, vol. 51, pp. 943–966, 2017, doi: 10.1007/s00226-017-0914-9.

[16] S. Barcikowski, A. Ostendorf, and J. Bunte, "Laser cutting of wood and wood composites—evaluation of cut quality and comparison to conventional wood cutting techniques," in Proc. PICALO 2004, 2004, doi: 10.2351/1.5056078.