Jurnal PROTEMAN
Professional Technology and Manufacturing
Vol. 3 No. 1 (2026) 21 – 26 | ISSN: 3063-2773 (Media Online)

Rancang Bangun Sistem Kontrol Mini CNC Laser untuk Pembuatan Souvenir Gantungan Kunci Kayu

Rifki Darmawan Abdullah[1*], Yuliarman[1], Mulyadi[1]
[1]Program Studi Sarjana Terapan Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Padang, Padang, Indonesia
*Corresponding author: rifkidarmawanabdullah@gmail.com

Abstract

Many souvenir craftsmen still make wooden keychains manually, which limits output and consistency. This study designed and built a three-axis mini CNC diode-laser engraver controlled by a Makerbase controller board and LaserGRBL software to produce wooden keychain souvenirs. The machine uses a 400 × 330 × 320 mm aluminium profile 2020 frame, 8 mm stainless-steel lead screws and stepper motors with a holding torque of 1.26 N·m. The drive components were sized with a design load factor of 1.2 and a safety factor of 2.5. Machine performance was tested on wood using three pattern sizes (50 × 48.3, 35 × 48.3 and 20 × 19.3 mm) and three engraving speeds (200, 150 and 100 mm/min), giving nine tests. The calculations gave a minimum lead-screw core diameter of 0.39–0.53 mm and a required torque of 0.040–0.075 N·m per axis, so the selected screws and motors provide a torque margin of at least 16 times. Engraving time ranged from 2 min 28 s to 23 min 17 s and was proportional to the pattern area divided by the engraving speed (R^2 = 0.99); halving the speed increased the time by a factor of 1.69–1.75. Visually, the 50 × 48.3 mm pattern engraved at 100 mm/min gave the sharpest result, whereas the smallest pattern lost fine details. The machine is suitable for small-scale production of wooden keychain souvenirs.

Keywords: mini CNC laser, control system, laser engraving, wooden souvenir, engraving speed

Abstrak

Banyak pengrajin souvenir masih membuat gantungan kunci kayu secara manual sehingga jumlah dan keseragaman produknya terbatas. Penelitian ini merancang dan membuat mesin mini CNC laser dioda tiga sumbu yang dikendalikan papan kendali Makerbase dan perangkat lunak LaserGRBL untuk pembuatan souvenir gantungan kunci kayu. Mesin menggunakan rangka aluminium profile 2020 berukuran 400 × 330 × 320 mm, poros ulir baja tahan karat Ø8 mm, dan motor stepper bertorsi 1,26 N·m. Komponen penggerak dihitung dengan faktor koreksi beban 1,2 dan faktor keamanan 2,5. Kinerja mesin diuji pada kayu dengan tiga ukuran pola (50 × 48,3; 35 × 48,3; dan 20 × 19,3 mm) dan tiga kecepatan pengukiran (200, 150, dan 100 mm/min), sehingga diperoleh sembilan pengujian. Hasil perhitungan menunjukkan diameter inti poros ulir minimum 0,39–0,53 mm dan torsi yang dibutuhkan 0,040–0,075 N·m per sumbu, sehingga poros ulir dan motor yang dipilih memiliki cadangan torsi sedikitnya 16 kali. Waktu pengukiran berkisar 2 menit 28 detik hingga 23 menit 17 detik dan sebanding dengan luas pola dibagi kecepatan pengukiran (R^2 = 0,99); menurunkan kecepatan menjadi setengahnya menambah waktu 1,69–1,75 kali. Secara visual, pola 50 × 48,3 mm dengan kecepatan 100 mm/min memberikan hasil paling tegas, sedangkan pola terkecil kehilangan detail halus. Mesin ini layak digunakan untuk produksi souvenir gantungan kunci kayu skala kecil.

Kata kunci: mini CNC laser, sistem kontrol, pengukiran laser, souvenir kayu, kecepatan pengukiran

Diterima Redaksi : 07-10-2025 | Selesai Revisi : 08-11-2026 | Diterima : 08-11-2026

1. Pendahuluan

Kekayaan alam, keragaman budaya, dan keramahan masyarakat menjadikan Indonesia tujuan wisata yang diminati. Pertumbuhan pariwisata meningkatkan permintaan souvenir khas daerah, dan peluang ini banyak dimanfaatkan oleh usaha mikro, kecil, dan menengah (UMKM) [1]. Namun, sebagian besar pengrajin souvenir masih bekerja secara manual sehingga jumlah produksi terbatas dan keseragaman produk sulit dijaga.

Mesin *Computer Numerical Control* (CNC) bekerja berdasarkan program G-code yang menggerakkan sumbu-sumbu mesin secara terkendali [2], sehingga dapat menghasilkan pola yang sama berulang kali. Pada skala kecil, mesin CNC laser telah dikembangkan dengan biaya rendah. Muchlis dkk. [3] membuat mesin CNC laser dua sumbu berbasis GRBL yang mampu mengukir berbagai pola pada kayu lapis. Munadi dkk. [4] membuat prototipe mesin *laser engraving* dua sumbu dengan rangka aluminium ekstrusi, motor stepper, dan laser dioda. Putra dkk. [5] mengembangkan mesin pengukir laser dua dimensi berbasis Arduino Uno yang menerjemahkan G-code dari LaserGRBL, sedangkan Lesmana dan Heryana [6] merancang sistem kendali mesin CNC *laser cutting* CO_2 dua sumbu berbasis Arduino Uno. Pendekatan rancang bangun berbasis mikrokontroler dengan penggerak motor stepper juga diterapkan pada printer 3D [7], [8].

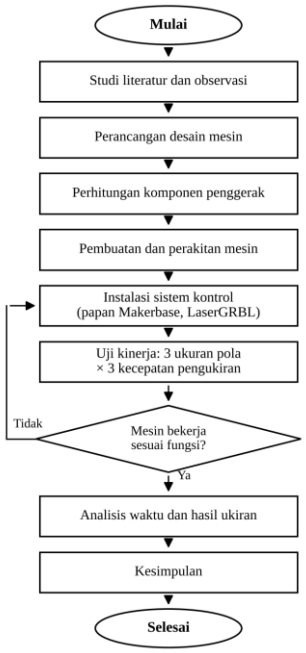
Kualitas ukiran laser pada kayu dipengaruhi oleh parameter proses. Pada kayu beech, kenaikan kecepatan pemindaian menurunkan perubahan warna dan kekasaran permukaan hasil laser [9], sedangkan pada kayu Kapur, daya dan kecepatan laser menentukan kontras dan ketegasan ukiran [10]. Bagi pengrajin souvenir, informasi yang dibutuhkan bukan hanya kualitas ukiran, tetapi juga waktu pengerjaan untuk setiap ukuran produk, karena keduanya menentukan kapasitas produksi. Data seperti ini pada mesin mini CNC laser berbiaya rendah untuk produk souvenir masih jarang dilaporkan.

Penelitian ini bertujuan merancang dan membuat mesin mini CNC laser tiga sumbu dengan papan kendali Makerbase untuk pembuatan souvenir gantungan kunci kayu, menghitung kebutuhan komponen penggeraknya, serta menguji pengaruh ukuran pola dan kecepatan pengukiran terhadap waktu dan hasil pengukiran.

2. Metode Penelitian

2.1 Tahapan Penelitian

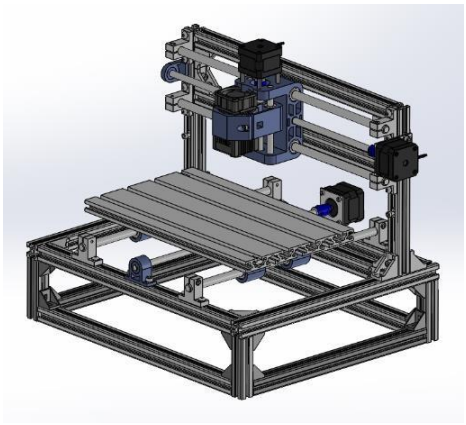
Tahapan penelitian ditunjukkan pada Gambar 1. Penelitian diawali dengan studi literatur dan observasi, dilanjutkan dengan perancangan desain, perhitungan komponen penggerak, pembuatan dan perakitan, instalasi sistem kontrol, serta uji kinerja. Pembuatan mesin dilakukan di rumah penulis dan di kampus Politeknik Negeri Padang.



Gambar 1. Diagram alir penelitian

2.2 Desain dan Spesifikasi Mesin

Desain mesin ditunjukkan pada Gambar 2 dan spesifikasi utamanya pada Tabel 1. Ketiga sumbu digerakkan motor stepper melalui poros ulir. Papan kendali Makerbase berfungsi sebagai pengendali utama yang menerima program dari komputer, sedangkan *offline controller board* memungkinkan mesin digerakkan tanpa komputer. Universal Gcode Sender digunakan untuk mengatur pergerakan setiap sumbu, dan LaserGRBL digunakan untuk mengolah gambar menjadi program pengukiran yang dieksekusi oleh laser dioda.



Gambar 2. Desain mini CNC laser

Tabel 1. Spesifikasi utama mini CNC laser

Bagian	Spesifikasi
Rangka	Aluminium profile 2020; 400 × 330 × 320 mm (p × l × t)
Motor penggerak	Motor stepper OUKEDA 42; torsi 1,26 N·m; sudut langkah 1,8°
Transmisi	Poros ulir Ø8 mm, baja tahan karat (σ_y = 215 N/mm²)
Pemandu gerak	Linear shaft guide, bearing slide block, flexible coupling
Pengendali	Papan kendali Makerbase dan offline controller board
Catu daya	Power supply 12 V
Alat ukir	Laser dioda
Perangkat lunak	LaserGRBL dan Universal Gcode Sender

2.3 Perhitungan Komponen Penggerak

Beban yang digerakkan setiap sumbu adalah massa komponen yang ditumpu sumbu tersebut. Beban rencana dan gaya berat dihitung dengan persamaan (1) dan (2), menggunakan faktor koreksi f_c = 1,2 dan percepatan gravitasi g = 10 m/s² [11], [12].

$$W_d = W \cdot f_c \quad (1)$$

$$F = W_d \cdot g \quad (2)$$

dengan W massa beban (kg), W_d beban rencana (kg), dan F gaya berat yang digerakkan (N).

Diameter inti poros ulir minimum ditentukan dari syarat tegangan tarik/tekan izin dengan faktor keamanan S_f = 2,5, yang dipilih untuk beban dinamis dengan besar beban yang diketahui [11]:

$$d \geq \sqrt{[(4 \cdot F \cdot S_f) / (\pi \cdot \sigma_y)]} \quad (3)$$

dengan d diameter inti poros ulir (mm) dan σ_y tegangan luluh bahan poros ulir, yaitu 215 N/mm² untuk baja tahan karat yang digunakan.

Torsi, kecepatan putar, dan daya motor stepper dihitung dengan persamaan (4)–(6) [12]:

$$T = F \cdot r \quad (4)$$

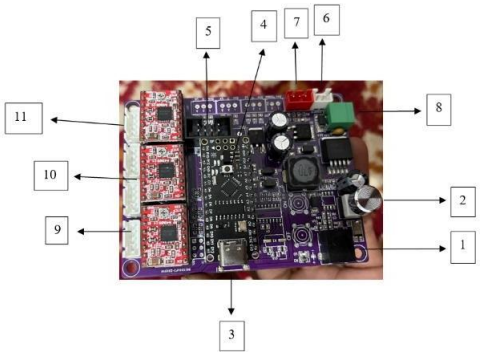
$$n = 60 \cdot f / N_p \quad (5)$$

$$P = T \cdot \omega = T \cdot 2\pi n / 60 \quad (6)$$

dengan T torsi (N·m), r jari-jari poros ulir (0,004 m untuk poros ulir Ø8 mm), n putaran motor (rpm), f frekuensi pulsa dari pengendali (1.600 pulsa/s), N_p jumlah langkah per putaran (200 langkah untuk sudut langkah 1,8°), ω kecepatan sudut (rad/s), dan P daya (W).

2.4 Sistem Kontrol

Papan kendali Makerbase yang digunakan ditunjukkan pada Gambar 3, dan fungsi setiap bagiannya dirangkum pada Tabel 2.



Gambar 3. Papan kendali Makerbase pada mini CNC laser

Tabel 2. Bagian papan kendali dan fungsinya

No	Bagian	Fungsi
1	Power	Masukan catu daya 12 V
2	Saklar on/off	Menghidupkan dan mematikan papan kendali
3	Port USB	Menghubungkan papan kendali ke komputer
4	Reset	Mengembalikan papan kendali ke pengaturan awal
5	Offline	Port offline controller board untuk mengoperasikan mesin tanpa komputer
6	Laser A	Port laser A
7	Laser B	Port laser B
8	Spindle	Port spindel untuk penggunaan sebagai mini CNC router
9	Motor sumbu X	Menggerakkan sumbu X
10	Motor sumbu Y	Menggerakkan sumbu Y
11	Motor sumbu Z	Menggerakkan sumbu Z

Mesin dihubungkan ke komputer melalui kabel USB. Pada LaserGRBL dipilih port COM yang sesuai dengan *baud rate* 115200, lalu koneksi diuji dengan tombol *Connect*; koneksi berhasil ditandai dengan pesan Grbl 1.1 pada jendela konsol. Proses pengukiran dilakukan dengan membuka berkas gambar, mengatur kecepatan pengukiran (*engraving speed*), mode laser, dan ukuran pola (Gambar 4), lalu membuat program dan menjalankannya.



Gambar 4. Pengaturan kecepatan pengukiran, mode laser, dan ukuran pola pada LaserGRBL

2.5 Prosedur Uji Kinerja

Uji kinerja dilakukan untuk mengetahui kemampuan dan kekurangan mesin [7]. Pola logo diukir pada bahan kayu dengan tiga ukuran pola, yaitu 50 × 48,3 mm, 35 × 48,3 mm, dan 20 × 19,3 mm, masing-masing pada kecepatan pengukiran 200, 150, dan 100 mm/min, sehingga diperoleh sembilan pengujian. Waktu pengukiran setiap pengujian dicatat, dan hasil ukiran dinilai secara visual berdasarkan ketegasan dan kerapian pola. Sebelum pengujian, posisi awal laser diperiksa agar kepala laser tidak menabrak ujung sumbu X dan Y, dan operator menggunakan kacamata pelindung.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Perhitungan Komponen Penggerak

Massa beban setiap sumbu ditunjukkan pada Tabel 3, dan hasil perhitungan dengan persamaan (1)–(6) dirangkum pada Tabel 4.

Tabel 3. Massa komponen yang digerakkan setiap sumbu

Komponen	Jumlah	Massa satuan (g)	Massa total (g)
Sumbu X			
Motor stepper OUKEDA 42	1	224	224
Shaft	2	240	480
Dudukan motor spindle	1	436	436
Laser dioda	1	166	166
Flexible coupling	1	8	8
Linear shaft guide	4	21	84
Lead screw	1	127	127
Baut dan mur	8	4	32
Bracket mount	1	13	13
Jumlah sumbu X			**1.570**
Sumbu Y			
Lead screw	1	105	105
Meja CNC	1	436	436
Flexible coupling	1	8	8
Linear shaft guide	4	21	84
Bearing screw	1	19	19
Baut dan mur	10	4	40
Bearing slide block	4	41	164
Bearing ujung	1	12	12
Jumlah sumbu Y			**868**
Sumbu Z			

Komponen	Jumlah	Massa satuan (g)	Massa total (g)
Flexible coupling	1	8	8
Dudukan motor spindle	1	660	660
Laser dioda	1	166	166
Jumlah sumbu Z			**834**

Tabel 4. Hasil perhitungan komponen penggerak

Besaran	Sumbu X	Sumbu Y	Sumbu Z
Massa beban W (kg)	1,570	0,868	0,834
Beban rencana W_d (kg)	1,884	1,042	1,001
Gaya F (N)	18,84	10,42	10,01
d minimum (mm)	0,528	0,393	0,385
d terpasang (mm)	8	8	8
Torsi perlu T (N·m)	0,075	0,042	0,040
Putaran n (rpm)	480	480	480
Daya perlu P (W)	3,79	2,09	2,01
Rasio torsi motor/perlu	16,7	30,2	31,5

Diameter inti poros ulir minimum hanya 0,39–0,53 mm, jauh di bawah diameter poros ulir terpasang 8 mm. Ukuran 8 mm dipilih karena merupakan ukuran poros ulir standar yang tersedia dan memberikan kekakuan yang cukup, sehingga dari sisi kekuatan poros ulir sangat aman. Torsi yang dibutuhkan paling besar terjadi pada sumbu X, yaitu 0,075 N·m, karena sumbu ini menumpu massa terbesar (1,570 kg). Nilai ini 16,7 kali lebih kecil daripada torsi motor stepper 1,26 N·m. Total daya yang dibutuhkan ketiga sumbu sekitar 7,9 W.

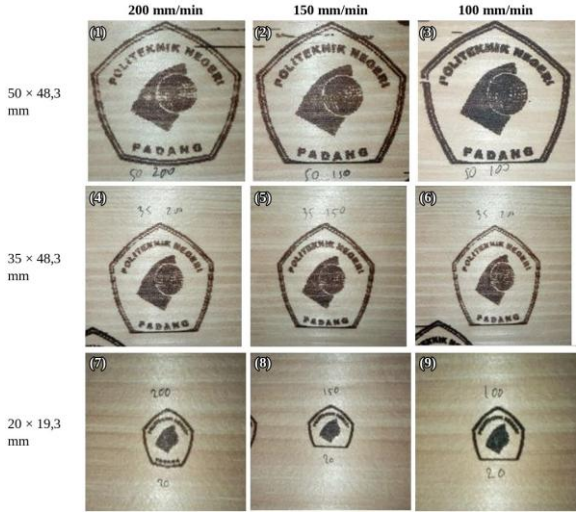
Perhitungan torsi dengan persamaan (4) merupakan pendekatan sederhana yang belum memperhitungkan efisiensi ulir, gesekan pemandu, dan percepatan. Meskipun demikian, cadangan torsi yang besar (sedikitnya 16 kali) menunjukkan bahwa motor yang dipilih tetap memadai setelah faktor-faktor tersebut diperhitungkan. Pendekatan perhitungan serupa digunakan pada perencanaan komponen bergerak mesin penyayat otomatis [12].

3.2 Waktu Pengukiran

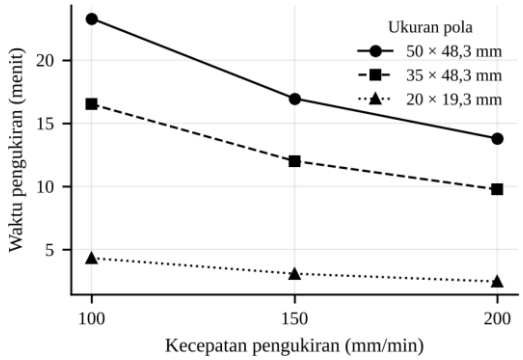
Hasil sembilan pengujian ditunjukkan pada Tabel 5 dan Gambar 5, sedangkan hubungan waktu pengukiran dengan kecepatan ditunjukkan pada Gambar 6. Mesin mampu mengukir pola logo pada seluruh kombinasi ukuran dan kecepatan.

Tabel 5. Hasil uji kinerja mini CNC laser

No	Ukuran pola (mm)	Luas pola (mm²)	Kecepatan (mm/min)	Waktu (menit:detik)	Waktu per luas (s/mm²)
1	50 × 48,3	2.415	200	13:47	0,342
2	50 × 48,3	2.415	150	16:57	0,421
3	50 × 48,3	2.415	100	23:17	0,578
4	35 × 48,3	1.690,5	200	09:45	0,346
5	35 × 48,3	1.690,5	150	12:00	0,426
6	35 × 48,3	1.690,5	100	16:30	0,586
7	20 × 19,3	386	200	02:28	0,383
8	20 × 19,3	386	150	03:05	0,479
9	20 × 19,3	386	100	04:19	0,671



Gambar 5. Hasil pengukiran pada kayu; nomor sesuai Tabel 5



Gambar 6. Hubungan kecepatan pengukiran dan waktu pengukiran

Waktu pengukiran berkisar dari 2 menit 28 detik (pola 20 × 19,3 mm, 200 mm/min) hingga 23 menit 17 detik (pola 50 × 48,3 mm, 100 mm/min). Waktu per satuan luas pola pada ukuran 50 × 48,3 mm dan 35 × 48,3 mm hampir sama pada setiap kecepatan (0,342 dan 0,346 s/mm² pada 200 mm/min; 0,578 dan 0,586 s/mm² pada 100 mm/min). Hal ini menunjukkan bahwa waktu pengukiran sebanding dengan luas pola, sesuai dengan

cara kerja pengukiran raster yang menyapu pola baris demi baris. Pada pola terkecil, waktu per luas sedikit lebih besar karena porsi waktu yang tidak bergantung pada luas, seperti perpindahan awal dan percepatan motor, menjadi lebih dominan.

Menurunkan kecepatan dari 200 menjadi 100 mm/min menambah waktu 1,69 kali pada kedua pola besar dan 1,75 kali pada pola terkecil, bukan 2 kali seperti perbandingan kecepatannya. Regresi linear terhadap kesembilan data menghasilkan persamaan (7) dengan koefisien determinasi $R^2 = 0{,}99$:

$$t = 64{,}5 + 57{,}0 \cdot A / v \quad (7)$$

dengan t waktu pengukiran (s), A luas pola (mm²), dan v kecepatan pengukiran (mm/min). Konstanta 64,5 s mewakili waktu yang tidak bergantung pada luas dan kecepatan. Persamaan ini dapat digunakan untuk memperkirakan waktu produksi souvenir dengan ukuran pola lain dalam rentang yang diuji.

3.3 Kualitas Hasil Pengukiran

Secara visual, pola 50 × 48,3 mm dengan kecepatan 100 mm/min (pengujian 3) memberikan hasil paling tegas dan rapi: garis tepi, huruf, dan bidang gelap logo terbentuk jelas. Kecepatan yang lebih rendah memberikan energi laser per satuan panjang lintasan yang lebih besar, sehingga bekas bakar pada kayu lebih gelap dan tegas. Kecenderungan ini sejalan dengan Gurau dkk. [9], yang menunjukkan bahwa perubahan warna kayu akibat laser berkurang ketika kecepatan pemindaian dinaikkan, serta Kasim dkk. [10], yang menunjukkan bahwa kecepatan dan daya laser menentukan kontras ukiran pada kayu.

Pada pola terkecil 20 × 19,3 mm (pengujian 7–9), bentuk luar logo masih terbentuk, tetapi tulisan di dalamnya tidak lagi terbaca (Gambar 5). Detail yang sangat kecil diduga mendekati batas ukuran titik laser dan resolusi mesin. Oleh karena itu, untuk souvenir gantungan kunci dengan logo bertulisan, ukuran pola sebaiknya tidak lebih kecil dari 35 × 48,3 mm. Kecepatan 100 mm/min menghasilkan ukiran terbaik, tetapi menambah waktu sekitar 69% dibandingkan 200 mm/min; pemilihan kecepatan merupakan kompromi antara kualitas dan kapasitas produksi.

3.4 Keterbatasan Penelitian

Penilaian kualitas ukiran dilakukan secara visual, setiap kombinasi diuji satu kali, dan daya laser serta jenis kayu belum dicatat secara rinci. Penelitian lanjutan disarankan mengukur kontras atau kedalaman ukiran secara kuantitatif, mengulang setiap pengujian, dan mencatat daya laser serta jenis kayu yang digunakan.

4. Kesimpulan

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian, diperoleh kesimpulan sebagai berikut.

1. Mesin mini CNC laser tiga sumbu dengan rangka aluminium profile 2020 berukuran 400 × 330 × 320 mm, papan kendali Makerbase, dan perangkat lunak LaserGRBL berhasil dibuat dan mampu mengukir pola logo pada kayu pada seluruh kombinasi ukuran pola dan kecepatan yang diuji.
2. Diameter inti poros ulir minimum 0,39–0,53 mm, torsi yang dibutuhkan 0,040–0,075 N·m, dan daya 2,0–3,8 W per sumbu (total sekitar 7,9 W). Poros ulir Ø8 mm dan motor stepper 1,26 N·m memadai dengan cadangan torsi sedikitnya 16 kali.
3. Waktu pengukiran 2 menit 28 detik hingga 23 menit 17 detik dan sebanding dengan luas pola dibagi kecepatan, $t = 64{,}5 + 57{,}0 \cdot A/v$ ($R^2 = 0{,}99$). Menurunkan kecepatan dari 200 menjadi 100 mm/min menambah waktu 1,69–1,75 kali.
4. Hasil pengukiran terbaik diperoleh pada pola 50 × 48,3 mm dengan kecepatan 100 mm/min. Kecepatan yang lebih rendah menghasilkan ukiran yang lebih tegas, sedangkan pola 20 × 19,3 mm kehilangan detail tulisan.

Daftar Rujukan

[1] Lembaga Pengembangan Perbankan Indonesia (LPPI), *Profil Bisnis Usaha Mikro, Kecil dan Menengah (UMKM)*. Jakarta, Indonesia: LPPI dan Bank Indonesia, 2015.

[2] D. G. Subagio, *Teknik Pemrograman CNC Bubut dan Freis*. Jakarta, Indonesia: Yayasan Obor Indonesia, 2008.

[3] A. Muchlis, W. Ridwan, and I. Z. Nasibu, "Rancang bangun mesin CNC (computer numerical control) laser dengan metode design for assembly," *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, vol. 3, no. 1, pp. 23–27, 2021, doi: 10.37905/jjeee.v3i1.9228.

[4] M. Munadi, A. Syukri, J. D. Setiawan, and M. Ariyanto, "Rancang-bangun prototipe mesin CNC laser engraving dua sumbu menggunakan diode laser," *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, vol. 13, no. 1, 2018, doi: 10.36289/jtmi.v13i1.88.

[5] R. A. Putra, A. Rukmana, and A. F. Ikhsan, "Rancang bangun mesin laser engraving 2-D berbasis mikrokontroler Arduino Uno," *Jurnal FUSE – Teknik Elektro*, vol. 2, no. 1, pp. 21–30, 2022.

[6] B. Lesmana and G. Heryana, "Perancangan sistem kendali mesin CNC (computer numerical control) laser cutting CO2 2 axis berbasis Arduino Uno," *Journal of Applied Mechanical Technology*, vol. 2, no. 2, pp. 28–33, 2023.

[7] A. G. Wibisono, "3D printer chocolate cake berbasis Arduino," *Telekontran: Jurnal Ilmiah Telekomunikasi, Kendali dan Elektronika Terapan*, vol. 8, no. 1, pp. 86–92, 2020, doi: 10.34010/telekontran.v8i1.3080.

[8] D. Mardiyana, Z. Sulaiman, S. Ihsan, F. Ridha, and T. Rahman, "Rancang bangun 3D printer FDM model cartesian berbasis Arduino," *JMPM (Jurnal Material dan Proses Manufaktur)*, vol. 7, no. 1, pp. 63–72, 2023.

[9] L. Gurau, A. Petru, A. Varodi, and M. C. Timar, "The influence of CO2 laser beam power output and scanning speed on surface roughness and colour changes of beech (Fagus sylvatica)," *BioResources*, vol. 12, no. 4, pp. 7395–7412, 2017, doi: 10.15376/biores.12.4.7395-7412.

[10] 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, pp. 397–410, 2025, doi: 10.1007/s00170-025-16670-w.

[11] E. P. Popov, *Mekanika Teknik (Mechanics of Materials)*, vol. 2, 2014.

[12] R. Maiman, Yusri, and A. Zamri, "Perencanaan komponen bergerak mesin penyayat otomatis untuk meningkatkan produktivitas UMKM keripik tempe," *Jurnal PROTEMAN: Professional Technology and Manufacturing*, vol. 1, no. 1, pp. 16–29, 2024.