

Rancang Bangun CNC Router 3 Axis Ukir Kayu Untuk Kerajinan Kaligrafi

Sugeng Dwi Riyanto¹, Muhamad Yusuf², Riyani Prima Dewi^{3*}, Robbihim Nurdiansyah⁴,

^{1,2,3,4}Program Studi Teknik Elektronika, Politeknik Negeri Cilacap

^{1,2,3,4}Jln. Dr. Soetomo No.1 Sidakaya, Cilacap, Jawa Tengah 53212, Indonesia

E-mail: sugengdr@pnc.ac.id¹, yusuf@pnc.ac.id², ryanipdewi@gmail.com³, robbihim220602@email.com⁴

Abstrak

Industri kayu Indonesia beragam, dengan ukiran kayu menjadi salah satu produk paling populer. Namun, proses ukiran kayu manual tidak cocok untuk produksi skala besar. Oleh karena itu, dikembangkan suatu alat untuk meningkatkan produksi kerajinan kayu khususnya ukiran kaligrafi. Alat ini adalah mesin router CNC ukiran kayu 3 sumbu yang dikendalikan oleh komputer dan *smartphone*. Mesin CNC router dirancang menggunakan CNC Shield V3 dan *driver* motor Arduino Uno R3, A4988 sebagai pengontrol motor *stepper*. Mekanisme yang diterapkan meliputi pembuatan gambar vektor yang diprogram dengan *gcode*, pengontrolan dan pengukiran kaligrafi melalui *software* pada komputer dan aplikasi pada *smartphone* dengan komunikasi Bluetooth HC – 05 dengan jarak maksimal kurang dari 10 meter. Berdasarkan data pengendalian oleh komputer pengujian geometri pengujian lingkaran dimensi 58 mm x 56 mm dan *feedrate* 5 mm/sec, 8 mm/sec dan 10 mm/sec dengan waktu ukir 01:12, 00:48 dan 00:42. Pengujian ukiran Muhammad dimensi 100 mm x 100 mm dan *feedrate* 5 mm/sec, 8 mm/sec dan 10 mm/sec dengan waktu ukir 05:22, 03:45 dan 03:24. Pengujian pemotongan kayu MDF tebal 12 mm dengan kedalaman 1.5 mm dan *feedrate* 5 mm/sec memotong 8x putaran selama 13:12 menit/detik. Sedangkan data pengendalian oleh *smartphone* pengujian geometri pengujian lingkaran dimensi 50 mm x 50 mm dan *feedrate* 500mm/min dengan waktu ukir 58:43 menit. Pengujian ukiran Muhammad dimensi 70mm x 60mm dan *feedrate* 500 mm/min, 800 mm/min, dan 1000 mm/min dengan waktu ukir 54:34, 39:25, dan 35:28. Pengujian pemotongan kayu MDF tebal 12 mm dengan kedalaman 1.5 mm dan *feedrate* 500 mm/min memotong 8x putaran selama 10:21 menit/detik.

Abstract

The Indonesian wood industry is diverse, with wood carving being one of its most popular products. However, the manual wood carving process is not suitable for large-scale production. To address this challenge, a new tool has been developed to increase the production of wood crafts, especially calligraphy carving. This tool is a 3-axis wood carving CNC router machine controlled by a computer and smartphone. The CNC router machine was designed using the CNC Shield V3 and the Arduino Uno R3 motor driver, A4988 as a stepper motor controller. The mechanism applied includes creating vector images programmed with *gcode*, controlling and engraving calligraphy through software on computers and applications on smartphones with Bluetooth HC – 05 communication with a maximum distance of smaller than 10 meters. Based on control data by computer testing geometry testing circle dimensions of 58 mm x 56 mm and feed rates of 5 mm/sec, 8 mm/sec and 10 mm/sec with engraving times of 01:12, 00:48 and 00:42. Testing Muhammad's carving with dimensions of 100 mm x 100 mm and feed rates of 5 mm/sec, 8 mm/sec and 10 mm/sec with engraving times of 05:22, 03:45 and 03:24. Tests for cutting 12 mm thick MDF wood with a depth 1.5 mm and a feed rate of 5 mm/sec cuts 8 rounds for 13:12 min/sec. The control data by smartphone testing the geometry of the circle with dimensions of 50 mm x 50 mm and a feed rate of 500mm/min with a carving time of 58:43 minutes. Testing Muhammad's engraving dimensions of 70mm x 60mm and feed rates of 500 mm/min, 800 mm/min, and 1000 mm/min with engraving times of 54:34, 39:25, and 35:28. The test for cutting 12 mm thick MDF wood with a depth of 1.5 mm and a feed rate of 500 mm/min-cut 8x rounds for 10:21 minutes/second.

Keywords:

cnc;
router;
3 axis;
computer;
smartphone.

*Penulis korespondensi:

Riyani Prima Dewi

E-mail: ryanipdewi@gmail.com

1. Pendahuluan

Di era globalisasi, teknologi berkembang pesat. Indonesia memiliki berbagai macam industri, antara lain industri perkebunan yang menghasilkan kayu dari hutan dan perkebunan. Ukiran kayu adalah bentuk seni asli Indonesia [1]. Sebuah survei menemukan bahwa proses produksi manual hanya cocok untuk produksi skala kecil. Ketika pengrajin menerima pesanan dalam jumlah besar, mereka mungkin mengalami masalah seperti hasil yang tidak konsisten dan kecepatan produksi yang terbatas karena kelelahan. Salah satu cara untuk meningkatkan produksi kerajinan kayu khususnya kerajinan kaligrafi adalah dengan menggunakan mesin CNC (*Computer Numerical Control*). Dari penelitian – penelitian terdahulu, diketahui mesin CNC digunakan untuk memotong logam plasma [2], pembuatan PCB [3], membuat pola gambar pada media kertas [4], mesin pemotong akrilik [5], dan sebagainya. Seiring berkembangnya teknologi mesin CNC dapat dikendalikan oleh komputer dan *smartphone*. Mikrokontroler yang digunakan untuk mengontrol CNC umumnya adalah arduino uno [6], [7], [8].

Mesin CNC juga dapat digunakan untuk mengukir dan memotong kayu dengan presisi tinggi. Hal ini membuatnya ideal untuk ukiran kayu, karena dapat digunakan untuk membuat desain rumit yang sulit [9]. Pada penelitian sebelumnya [10], *personal computer* (PC) digunakan untuk mengendalikan mesin CNC *router*. PC mengirimkan instruksi *G-Code* ke mesin melalui kabel USB. Instruksi *G-Code* dihasilkan oleh perangkat lunak pengontrol GRBL 3.6.1, yang merupakan perangkat lunak untuk mengendalikan mesin CNC [11] [12]. Peneliti lain menggunakan *personal computer* (PC) untuk mengirim instruksi kode-G ke mesin CNC menggunakan perangkat lunak Mach 3 memakai kabel USB. Perangkat lunak Mach 3 adalah aplikasi perangkat lunak populer untuk mengendalikan mesin CNC [13]. Peneliti lain menggunakan *smartphone* untuk mengontrol mesin CNC dengan mengirimkan instruksi *G-code* ke mesin melalui perangkat lunak Mach3, yang diinstal di komputer [14]. Peneliti lain menggunakan *smartphone* untuk mengontrol mesin CNC dengan mengirimkan instruksi *G-code* ke mesin melalui perangkat lunak GRBL 3.6.1 dan Easel yang dipasang di komputer [15].

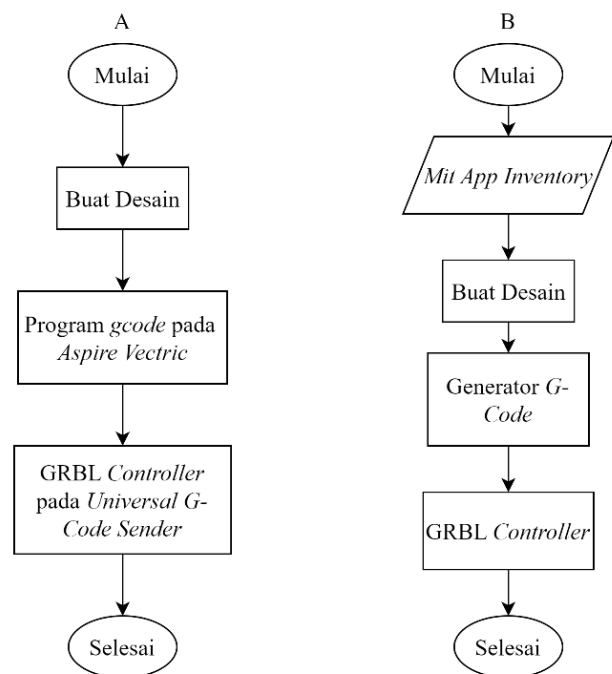
Berdasarkan penelitian – penelitian tersebut salah satu tantangan dalam pembuatan kerajinan kaligrafi ukir kayu adalah bagaimana mengontrol mesin CNC dengan mudah dan fleksibel serta tanpa menggunakan perangkat kabel USB. Selain dapat dioperasikan menggunakan PC, keterbaruan dari penelitian ini menggunakan komunikasi *Bluetooth* hc – 05 yang menggunakan *software Aspire Vectric* dan *Universal G-Code Sender*, dan perangkat *smartphone* yang menggabungkan beberapa aplikasi pada platform *MIT App Inventory*. Proses ukiran kayu akan dilakukan dengan menggunakan mesin CNC *router* yaitu mesin yang dikendalikan oleh komputer yang dapat mengukir kayu menjadi bentuk dan ukuran yang telah ditentukan. Penggunaan mesin otomatisasi dengan sistem produksi yang menggunakan perangkat komputer juga penting untuk meningkatkan hasil produksi di industri kreatif.

2. Metode

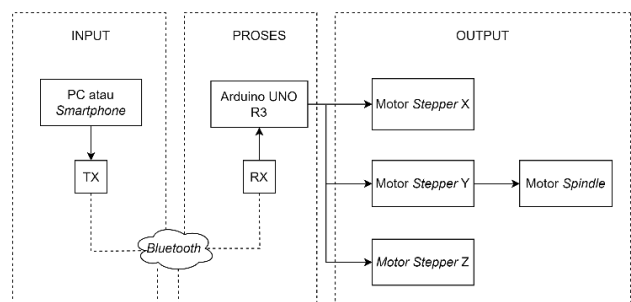
Tahapan penelitian ini dimulai dengan merancang blok diagram dan *flowchart* sistem terlebih dahulu, kemudian membuat perancangan elektrikal serta perancangan mekanik, perancangan software, dan dilanjutkan dengan melakukan uji coba. Berikut adalah penjelasan tahapan-tahapan tersebut.

2.1 Perancangan Sistem

Berdasarkan Gambar 1 *flowchart* tampilan A merupakan *flowchart* pembuatan *Gcode* menggunakan PC. Dimulai dari menentukan desain dengan file format jpg kemudian di ekspor pada *software Aspire Vectric* yang akan mengubah file jpg menjadi dxt (terprogram *gcode*) selanjutnya file tersebut di ekspor pada *software Universal Gcode Sender* yang juga akan mengoperasikan mesin CNC. Sedangkan pada tampilan B merupakan *flowchart* pembuatan *Gcode* menggunakan aplikasi *MIT App Inventory*. Dimulai dari pembuatan desain, kemudian desain diekspor ke file format jpg. Hasil ekspor dikonversi menjadi *Gcode* lalu file tersebut dimasukkan ke *GRBL controller* sebagai input *CNC*.



Gambar 1. Flowchart pembuatan *Gcode*

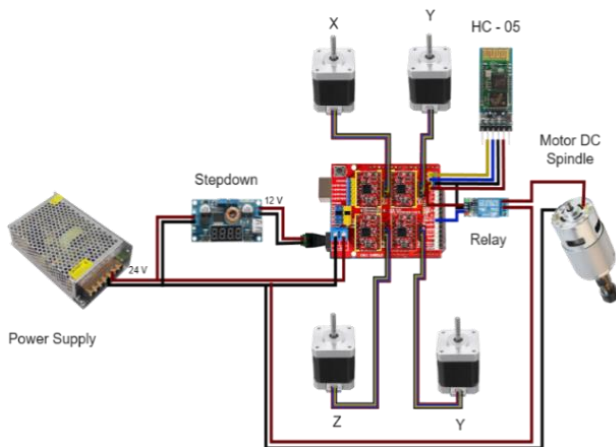


Gambar 2. Diagram Blok Mesin CNC Router 3 Axis

Gambar 2 memperlihatkan bagaimana Arduino UNO memproses input dari PC/*smartphone* berupa gambar yang sudah berformat *G-code*. Gambar dikirim melalui *Bluetooth HC-05* menggunakan *software/aplikasi* yang telah terinstal di PC/*smartphone*. Perangkat lunak / aplikasi pengontrol kemudian menginstruksikan motor *stepper* untuk bergerak sesuai dengan perintah dalam file *G-code*. Motor *stepper* sumbu x bergerak kanan-kiri, motor *stepper* sumbu y bergerak maju-mundur, dan motor *stepper* sumbu z bergerak naik turun. Motor *stepper* sumbu z juga dilengkapi dengan *spindel* motor DC, yang digunakan sebagai aktuator untuk mengukir kaligrafi pada kayu.

2.2 Perancangan Elektrikal

Komponen - komponen yang digunakan dalam penelitian ini ditunjukkan oleh Gambar 3. Komponen tersebut yaitu *power supply*, motor *stepper* NEMA 17, Arduino UNO R3, CNC *Shield V3*, motor driver A4988, modul *stepdown*, modul *Bluetooth HC - 05*, motor *spindle*, dan modul *relay*. Arduino UNO R3 merupakan kontroler dalam rancangan ini yang akan memproses input dan memerintahkan motor *stepper* untuk bergerak sesuai pola yang ditentukan.



Gambar 3. Wiring Mesin CNC Router 3-Axis

2.3 Perancangan Software dan Aplikasi

Pada pengendali komputer menggunakan *software Aspire Vectric* yang berfungsi perangkat lunak (*software*) CAD/CAM yang dirancang khusus untuk menghasilkan desain 3D dan membuat pemrograman mesin untuk mesin CNC. Selain itu perancangan menggunakan PC pada *software Universal Gcode Sender* yang berfungsi untuk mengirim kode *Gcode* dari perangkat komputer ke mesin CNC. *Software* ini juga dapat mengendalikan mesin CNC melalui komputer.

Pada perancangan menggunakan *smartphone* dimana sudah digabungkan beberapa aplikasi pada *platform* yaitu *MIT App Inventory*. Aplikasi diatas terdapat "Buat Desain" untuk menggambar manual dan file gambar tersebut di ekspor dengan format jpg/png. Selanjutnya "GCode Generator" untuk membuat *Gcode* dengan memasukkan desain yang sudah dibuat melalui aplikasi *Infinite Desain* yang nantinya akan dikonversikan ke dalam format *Gcode*. Kemudian terdapat "GRBL Controller" untuk mengirimkan

file *Gcode* serta mengoperasikan mesin CNC dari *smartphone*.

3. Hasil dan Pembahasan

3.1 Hasil Pembuatan dan Pengujian

Pada Gambar 4 adalah hasil pembuatan desain *hardware* dan *software* yang telah dilakukan.



Gambar 4. Mesin CNC Router 3 Axis

Sebelum melakukan pengujian kalibrasi dilakukan pengaturan resolusi motor *stepper*, Tabel 1 lebih lengkapnya memeplihatkan hasil pengujian yang dilakukan.

Tabel 1. Pengaturan Resolusi Motor *Stepper*

MS1	MS2	MS3	Microstep Resolution	Step Per-Resolution
Low	Low	Low	Full Step	200
High	Low	Low	Half Step	400
Low	High	Low	Quarter Step	800
High	High	Low	Eighth Step	1600
High	High	High	Sixteenth Step	3200

Leadscrew yang digunakan pada Axis Sumbu Y, X, Z adalah sebagai berikut:

- Axis sumbu Y jarak antar *pitch* 2 mm dengan 4 *start*, jadi jarak dalam 1 putaran *leadscrew* adalah 2 mm x 4 mm = 8 mm.
- Axis sumbu X menggunakan jarak antar *pitch* 2 mm dengan 2 *start* jadi jarak dalam 1 putaran *leadscrew* adalah 2 mm x 2 mm = 4 mm.
- Axis sumbu Z menggunakan jarak antar *pitch* 2 mm dengan 2 *start* jadi jarak dalam 1 putaran adalah 2 mm x 2 mm = 4 mm.

Sumbu X, Y, dan Z kemudian dikalibrasi. Proses kalibrasi melibatkan menggerakkan setiap sumbu dengan jarak yang diketahui dan menghitung jumlah langkah yang diperlukan. Jumlah langkah yang diperlukan untuk menggerakkan setiap putaran sumbu 1 didapatkan sebanyak 3200, hasil kalibrasi dapat dilihat pada Tabel 2.

Tabel 2. Kalibrasi Sumbu Axis

Sumbu Axis	Putaran Per - Step	Jarak Leadscrew	Kalibrasi
X	3200	4	800
Y	3200	8	400
Z	3200	4	800

Kalibrasi dihitung dengan membagi jumlah putaran per langkah dengan jarak *leadcrew*. Perangkat lunak UGS dan aplikasi *Gcode2GRBL*. Antarmuka perangkat lunak UGS untuk mengendalikan mesin CNC menggunakan PC. Antarmuka aplikasi *Gcode2GRBL* untuk mengendalikan mesin CNC menggunakan *smartphone*. Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui nilai pergerakan sumbu X, Y, dan Z motor *stepper*, apakah berfungsi normal sesuai input. Hasil pengujian kalibrasi diperlihatkan pada Tabel 3.

Tabel 3 Pengujian Kalibrasi Mesin CNC Router 3 Axis

Axis		Pengujian				
		1	2	3	4	5
X	Input	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Nilai pergerakan sumbu	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Penyimpangan	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Y	Input	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Nilai pergerakan sumbu	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Penyimpangan	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm
Z	Input	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Nilai pergerakan sumbu	5 mm	10 mm	20 mm	30 mm	40 mm
	Penyimpangan	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm	0 mm

Pengujian kalibrasi ini menunjukkan nilai penyimpangan *error* yaitu 0.

3.2 Pengujian Koneksi Bluetooth

Pengujian jarak koneksi digunakan untuk mengetahui apakah koneksi antara mesin CNC dengan komputer atau *smartphone* masih bekerja dengan baik pada jarak tertentu. Untuk mengetahui kemampuan jarak maksimum mesin CNC dilakukan uji sambungan jarak maksimum dalam satuan meter. Hasil pengujian koneksi *Bluetooth* dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Pengujian Jarak Koneksi

Jarak (Meter)	Status Koneksi
1	Terhubung
2	Terhubung
3	Terhubung
4	Terhubung
5	Terhubung
6	Terhubung
7	Terhubung
8	Terhubung
9	Terhubung
10	Tidak Terhubung






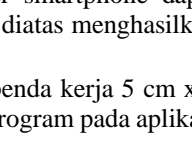
Hasil pengujian jarak koneksi, setidaknya alat dapat terkoneksi dengan komputer hingga jarak kurang lebih 10 meter. Jika mengacu pada spesifikasi, modul *Bluetooth HC-05* maka hasilnya sudah sesuai dengan spesifikasi yaitu 10 meter.

3.3 Pengujian Geometri Mesin CNC Router 3 Axis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui presisi, akurasi, dan waktu yang digunakan untuk mengukir dengan menggunakan mesin 3 Axis CNC Router. Hasil pengujian dengan kontroler komputer dapat dilihat pada Tabel 5. Pengujian *geometri* dengan pengendali komputer menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain:

- Hasil pengujian dimensi benda kerja 5 cm x 5 cm sesuai dengan settingan awal program pada *software Aspire Vectric*.
- Hasil pengujian dilakukan 3 kali secara berturut – turut dengan hasil yang konstan atau tidak mengalami kegagalan.
- Waktu ukir yang ditempuh dilakukan 3 kali secara berturut – turut dengan hasil yang berbeda disebabkan oleh settingan program kecepatan pada *software Aspire Vectric*.

Tabel 5. Pengujian Geometri dengan Pengendali Komputer







Percobaan	Dimensi	Waktu (menit:detik)	Hasil Ukiran
Percobaan Garis lurus ke – 1	50mm x 6 mm	00:37	
Percobaan Garis lurus ke – 2	50mm x 6mm	00:26	
Percobaan Garis lurus ke – 3	50mm x 6mm	00:21	
Percobaan Lingkaran ke – 1	58mm x 56mm	01:12	
Percobaan Lingkaran ke – 2	58mm x 56mm	00:48	
Percobaan Lingkaran ke – 3	58mm x 56mm	00:42	

Hasil pengujian dengan kontroler *smartphone* dapat dilihat pada Tabel 6 Pengujian dimensi diatas menghasilkan beberapa kesimpulan antara lain:

- Hasil pengujian dimensi dengan benda kerja 5 cm x 5 cm sesuai dengan settingan awal program pada aplikasi *Image to Gcode*.

- Hasil pengujian dilakukan 3 kali secara berturut – turut dengan hasil yang konsisten atau tidak mengalami kegagalan.
- Waktu ukir yang ditempuh dilakukan 3 kali berturut – turut dengan waktu yang konstan/tetap dikarenakan pada aplikasi Image to Gcode belum terdapat fitur setting untuk kecepatan mata bor.

Tabel 6. Pengujian Geometri dengan Pengendali *Smartphone*




Percobaan	Dimensi	Waktu (menit:detik)	Hasil Ukiran
Percobaan ke – 1 Garis lurus	50 mm x 6 mm	06:01	
Percobaan ke – 2 Garis lurus	50 mm x 6 mm	06:01	
Percobaan ke – 3 Garis lurus	50 mm x 6 mm	06:01	
Percobaan ke - 1 Lingkaran	50 mm x 50 mm	58:43	
Percobaan ke – 2 Lingkaran	50 mm x 50 mm	58:43	
Percobaan ke - 3 Lingkaran	50 mm x 50 mm	58:43	

3.4 Pengujian *Feedrate* Mesin CNC Router 3 Axis

Pengujian ini dilakukan untuk mengetahui kecepatan yang digunakan dan waktu ukir yang dihasilkan dalam mengukir untuk menghasilkan pelafalan kaligrafi Muhammad dengan menggunakan benda kerja berukuran 100mm x 100mm (komputer) dan 70mm x 60mm (*smartphone*). Hasil pengujian dengan kontroler komputer dapat dilihat pada Tabel 7. Dari percobaan, dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Percobaan ke – 1 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 5 mm/sec dengan waktu ukir selama 05:22 menit.
- Percobaan ke – 2 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 8 mm/sec dengan waktu ukir selama 03:45 menit.
- Percobaan ke – 3 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 10 mm/sec dengan waktu ukir selama 03:24 menit.




Tabel 7. Pengujian *Feedrate* dengan Pengendali Komputer

Kaligrafi Percobaan	<i>Feedrate</i> (mm/sec)	Waktu (menit:detik)	Hasil Ukiran
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 1	5	05:22	
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 2	8	03:45	
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 3	10	03:24	

Dari hasil pengujian data dapat disimpulkan bahwa percobaan ke – 1 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 5 mm/sec dengan waktu ukir selama 05:22 menit merupakan hasil ukir dengan serpihan yang paling halus dan percobaan ke – 3 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 10 mm/sec dengan waktu ukir selama 03:24 menit merupakan hasil ukiran dengan waktu yang paling cepat.

Hasil pengujian dengan kontroler komputer dapat dilihat pada Tabel 8.

Tabel 8. Pengujian *Feedrate* dengan Pengendali *Smartphone*

Kaligrafi Percobaan	<i>Feedrate</i> (mm/min)	Waktu (menit:detik)	Hasil Ukiran
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 1	500	54:34	
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 2	800	39:25	
Kaligrafi Muhammad Percobaan Ke – 3	1000	35:28	

Dari percobaan, dapat dijelaskan sebagai berikut:

- Percobaan ke – 1 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 500 mm/min dengan waktu ukir selama 54:34 menit.
- Percobaan ke – 2 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 800 mm/min dengan waktu ukir selama 39:25 menit.
- Percobaan ke – 3 kaligrafi Muhammad dengan *feedrate* 1000 mm/min dengan waktu ukir selama 35:28 menit.

- Dari hasil pengujian data diatas dapat disimpulkan bahwa percobaan ke – 1 kaligrafi Muhammad dengan feedrate 500 mm/min dengan waktu ukir selama 54:34 menit merupakan hasil ukir dengan serpihan yang paling halus dan percobaan ke – 3 kaligrafi Muhammad dengan feedrate 1000 mm/min dengan waktu ukir selama 35:28 menit merupakan hasil ukiran dengan waktu yang paling cepat.

4. Kesimpulan

Dari hasil perancangan dan pengujian dapat disimpulkan bahwa mesin *router* CNC ukiran kayu 3 Axis dapat dikontrol melalui komputer dan *smartphone* dalam memastikan bahwa mesin menggerakkan sumbu X, Y, dan Z secara akurat. Hasil pengujian menunjukkan bahwa tidak ada penyimpangan antara jarak input dan nilai pergerakan sumbu, artinya mesin terkalibrasi dengan baik. Berdasarkan data pengendalian oleh komputer pengujian geometri pengujian lingkaran dimensi 58 mm x 56 mm dan *feedrate* 5 mm/sec, 8 mm/sec dan 10 mm/sec dengan waktu ukir 01:12, 00:48 dan 00:42. Pengujian ukiran Muhammad dimensi 100 mm x 100 mm dan *feedrate* 5 mm/sec, 8 mm/sec dan 10 mm/sec dengan waktu ukir 05:22, 03:45 dan 03:24. Pengujian pemotongan kayu MDF tebal 12 mm dengan kedalaman 1.5 mm dan *feedrate* 5 mm/sec memotong 8x putaran selama 13:12 menit/detik. Sedangkan data pengendalian oleh *smartphone* pengujian geometri pengujian lingkaran dimensi 50 mm x 50 mm dan *feedrate* 500mm/min dengan waktu ukir 58:43 menit. Pengujian ukiran Muhammad dimensi 70mm x 60mm dan *feedrate* 500 mm/min, 800 mm/min, dan 1000 mm/min dengan waktu ukir 54:34, 39:25, dan 35:28. Pengujian memotong kayu MDF tebal 12 mm secara maksimal dengan kedalaman 1.5 mm dengan *feedrate* 5 mm/sec memotong 8x putaran selama 13:12 menit/detik menggunakan komputer dan *feedrate* 500 mm/min memotong 8x putaran selama 10:21 menit/detik menggunakan *smartphone*.

Daftar Pustaka

- [1] A. Rohman, W. Kurniawan, D. Tia, H. Triadi, S. Al-Amar, and I. Subang, "Strategi Pengembangan Usaha Mikro, Kecil Dan Menengah Kerajinan Ukir Kayu," 2023.
- [2] K. Zain, R. S. Rachmat, and W. S. Widodo, "Rancang Bangun Electrical Mesin Potong Logam Plasma CNC 3 Axis," 2023.
- [3] T. Pramuji, I. Saputro, L. Retno Hidayati, and J. Teknik Elektro Politeknik Negeri Semarang Jl Sudarto, "Rancang BANGUN CNC (Computer Numerical Control) Untuk Pembuatan PCB Berbasis Arduino." [4] A. Rombekila and S. Aprian, "Prototype Mini CNC Menggunakan Arduino Uno Untuk Membuat Pola Gambar Pada Media Kertas," *Jurnal Teknik AMATA*, vol. 4, no. 2, 2023.
- [5] E. A. Elvaris manalu, A. Asmed, M. Mulyadi, Y. Yuliarman, and R. Sumiati, "Perancangan Mesin CNC Acrylic Cutting 3 Axis Dengan Menggunakan Laser Tube CO2," *Jurnal Teknik Mesin*, vol. 16, no. 1, Jun. 2023, doi: 10.30630/jtm.16.1.880.
- [6] B. Lesmana, G. Heryana, and Jatira, "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, Nov. 2023, doi: 10.31884/jamet.v2i2.43.
- [7] T. U. Syamsuri, R. Sucipto, and Epiwardi, "Perancangan dan Pembuatan Prototype Mesin CNC Laser Engraver Dengan Mikrokontroler sebagai Komunikasi Wireless," *Elposys: Jurnal Sistem Kelistrikan*, vol. 10, no. 1, pp. 60–65, Mar. 2023, doi: 10.33795/elposys.v10i1.1008.
- [8] S. Rahmat, R. P. Dewi, and N. Sartika, "The Development of a Low-Cost Two-Axis CNC Laser Engraver with a Bluetooth Connection," in *2023 17th International Conference on Telecommunication Systems, Services, and Applications (TSSA)*, IEEE, Oct. 2023, pp. 1–6. doi: 10.1109/TSSA59948.2023.10366983.
- [9] M. R. A. Hasibuan, Muhaimin, and S. Hardi, "Rancang Bangun Mesin Cnc Milling 3- Axis Untuk Anggrave PCB Berbasis Arduino Uno," *Jurnal Tektro*, vol. 3, no. 1, pp. 40–47, 2019.
- [10] L. A. Wibowo and H. Supriyati, "Perancangan Mesin CNC Router Kayu Mini," *Seminar Nasional Teknologi dan Riset Terapan*, pp. 242–247, 2021.
- [11] N. Hatem, Y. Yusof, A. Z. A. Kadir, K. Latif, and M. A. Mohammed, "Interpreting the G-code of drilling machining to use in open CNC controller machine," *J Phys Conf Ser*, vol. 1892, no. 1, p. 012014, Apr. 2021, doi: 10.1088/1742-6596/1892/1/012014.
- [12] A. Azmi, R. Nugraha, and C. Ekaputri, "Rancang dan Bangun Mesin CNC Berbasis GBRL Kontroler," *e-Proceeding of Engineering*, vol. 5, no. 3, pp. 4219–4226, 2018.
- [13] M. A. Riawan, B. W. K, and F. Hamzah, "Rancang Bangun CNC Router Kayu Dengan Menggunakan Control Mach 3," *Conference on Design and Manufacture and Its Application*, vol. 1 No.1, pp. 197–204, 2017.
- [14] M. Yusril, A. Sunding, and N. R. Wibowo, "Rancang bangun mesin cnc router," *Jurnal Tematis*, pp. 1–7, 2020.
- [15] R. Sk, Julsam, Kartika, A. Fendri, and Mulyadi, "Implementasi Mini CNC Router 3 Axis Untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6.1," *Proceeding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe*, vol. 3, no. 1, pp. A95–A102, 2019.