

PENGARUH VARIASI *FEED RATE* TERHADAP AKURASI PEMOTONGAN MESIN CNC ROUTER PORTABEL 3 AXIS MENGGUNAKAN KONTROL MACH3 DAN MOTOR STEPPER NEMA 23

Nuril Anam

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

Email: nuril.21051@mhs.unesa.ac.id

Firman Yasa Utama

D4 Teknik Mesin, Fakultas Vokasi, Universitas Negeri Surabaya

Email: firmanutama@unesa.ac.id

Abstrak

Kemajuan teknologi di era modern mendorong efisiensi dan inovasi dalam industri manufaktur. Salah satunya adalah teknologi *Computer Numerical Control* (CNC). Salah satu parameter penting dalam proses pemotongan menggunakan CNC adalah kecepatan pemakanan (*feed rate*). Penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh variasi *feed rate* terhadap akurasi pemotongan pada mesin CNC Router portabel 3 axis yang dikendalikan menggunakan perangkat lunak Mach3 dan motor *stepper* Nema 23. Penelitian dilakukan menggunakan metode eksperimental di laboratorium mesin K7 vokasi UNESA dengan menggunakan material akrilik jenis cast dan alat potong endmill berdiameter 6 mm. Pengujian dilakukan dengan tiga variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*): 50, 100, dan 150 mm/menit. Setiap perlakuan diulang tiga kali dan hasil pemotongan diukur menggunakan jangka sorong digital. Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada *feed rate* 50 mm/menit, diperoleh akurasi rata-rata 99,69% dengan waktu proses 5 menit 49 detik; *feed rate* 100 mm/menit menghasilkan akurasi 99,55% dalam 2 menit 58 detik; sedangkan *feed rate* 150 mm/menit mencapai akurasi 99,51% dalam waktu 2 menit. Simpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa semakin tinggi *feed rate*, akurasi cenderung menurun namun waktu pengerjaan menjadi lebih cepat.

Kata Kunci: CNC Router, Kecepatan Pemakanan, Mach3, Portabel, Stepper Nema 23

Abstract

Technological advancement in the modern era encourages efficiency and innovation in the manufacturing industry. One such advancement is Computer Numerical Control (CNC) technology. A key parameter in CNC machining processes is the feed rate. This study aims to determine the effect of feed rate variation on cutting accuracy using a 3-axis portable CNC Router controlled by Mach3 software and Nema 23 stepper motors. The research was conducted using an experimental method at the K7 mechanical laboratory of UNESA Vocational School, utilizing cast acrylic as the workpiece material and a 6 mm diameter endmill as the cutting tool. The testing was carried out with three feed rate variations: 50, 100, and 150 mm/min. Each treatment was repeated three times, and the resulting cuts were measured using a digital caliper. The test results showed that at a feed rate of 50 mm/min, an average accuracy of 99.69% was achieved with a machining time of 5 minutes 49 seconds; at 100 mm/min, an accuracy of 99.55% was achieved in 2 minutes 58 seconds; and at 150 mm/min, an accuracy of 99.51% was recorded in 2 minutes. The conclusion of this study indicates that as the feed rate increases, cutting accuracy tends to decrease, although the machining time becomes shorter.

Keywords: CNC Router, Feed Rate, Mach3, Portable, Nema 23 Stepper Motor

PENDAHULUAN

Kemajuan dan perkembangan teknologi di era modern ini semakin pesat seiring berkembangnya zaman, sehingga berdampak di segala bidang, terutama pada bidang industri. Pada zaman sekarang ini, persaingan di bidang industri semakin tinggi, baik sektor jasa maupun produksi (Kurniawan & Jekky, 2020). Perkembangan teknologi yang pesat di era revolusi industri 4.0 telah menjadi pendorong utama transformasi dalam berbagai sektor kehidupan, termasuk sektor industri manufaktur yang sangat berkaitan erat dengan disiplin teknik mesin. Inovasi dalam bidang otomasi, sistem mekanikal, mekatronika, hingga pemanfaatan yang lebih maksimal untuk mengubah paradigma perancangan, produksi, dan pemeliharaan mesin. Seiring dengan meningkatnya kompleksitas kebutuhan pasar dan

tuntutan efisiensi yang semakin tinggi, persaingan industri, baik pada sektor jasa teknik maupun manufaktur produksi, mengalami eskalasi yang signifikan.

Dalam menghadapi intensifikasi persaingan di pasar internasional yang ditandai oleh dinamika permintaan yang semakin kompleks, variatif, dan berorientasi pada efisiensi waktu serta kualitas tinggi, industri manufaktur dituntut untuk melakukan reformulasi strategi produksinya secara menyeluruh. Salah satu langkah strategis yang mempercepat siklus produksi melalui penerapan metode manufaktur yang lebih inovatif dan adaptif terhadap perkembangan teknologi. Hal ini mencakup integrasi sistem otomasi yang memungkinkan fleksibilitas dan keakuratan yang tinggi, menggantikan peran mesin-mesin konvensional yang semakin tidak relevan dalam konteks kebutuhan

industri modern. Diperlukan perubahan strategi produksi dalam industri manufaktur untuk menghadapi persaingan di pasar internasional. Produk-produk baru harus diproduksi dengan lebih cepat menggunakan metode yang lebih inovatif (Istianatul Ulya et al., 2024). Pada akhirnya, mesin-mesin konvensional akan beralih dengan mesin otomatis.

Sistem otomatis merupakan teknologi yang berkaitan dengan penerapan sistem mekanik, elektronik, dan berbasis komputer untuk menjalankan proses secara otomatis (Khoirul Anaam et al., 2022). Teknologi tersebut menggabungkan prinsip-prinsip mekanika, elektronika, dan teknologi informasi berbasis komputer untuk menciptakan proses operasional yang mampu berjalan secara mandiri, minim intervensi manusia, dan berorientasi pada efisiensi, konsistensi, serta akurasi tinggi. Dengan menggunakan sistem ini, tugas-tugas yang dikerjakan manual dapat diselesaikan secara otomatis. *Computer Numerical Control (CNC)* adalah salah satu inovasi teknologi permesinan yang bekerja secara otomatis untuk memenuhi kebutuhan produksi, terutama dalam pembuatan produk dengan bentuk kompleks, tingkat presisi tinggi, dan pengerjaan benda yang tidak dapat dilakukan menggunakan mesin konvensional (Bangse et al., 2020).

Meskipun mesin CNC menawarkan keunggulan besar dalam hal efisiensi dan kualitas, penggunaannya di industri seringkali terhambat oleh faktor biaya dan dimensinya. Mesin CNC umumnya memiliki ukuran yang besar, membutuhkan ruang yang luas, dan harganya cukup tinggi, sehingga sulit dijangkau oleh banyak institusi pendidikan. (Eka Pramono et al., 2015).

Keterbatasan akses terhadap mesin CNC di lingkungan pendidikan, khususnya pada institusi vokasional dan politeknik, berdampak pada kurang optimalnya proses pembelajaran berbasis praktik. Padahal, praktik langsung sangat penting untuk membentuk pemahaman dan keterampilan mahasiswa dalam mengoperasikan teknologi permesinan modern secara menyeluruh. Hal ini menyebabkan lulusan seringkali belum sepenuhnya siap untuk memenuhi kebutuhan industri, terutama dalam hal penguasaan teknologi CNC yang saat ini menjadi standar utama dalam proses manufaktur.

Kondisi tersebut menjadi salah satu tantangan utama dalam upaya pengembangan kompetensi sumber daya manusia yang berorientasi pada kebutuhan industri manufaktur modern. Dalam konteks ini, penguasaan keterampilan teknis konvensional saja tidak lagi memadai, mengingat industri saat ini telah mengalami pergeseran menuju sistem produksi yang semakin kompleks, terotomatisasi, dan berbasis digital. Oleh karena itu, diperlukan strategi pembelajaran dan pelatihan yang tidak hanya menekankan pada aspek praktik teknis, tetapi juga pada kemampuan adaptasi terhadap teknologi terkini, pemahaman sistem kontrol berbasis komputer, serta literasi digital yang memadai agar lulusan mampu bersaing dan berkontribusi secara optimal dalam ekosistem industri yang terus berkembang.

Mesin CNC Router adalah alat yang dilengkapi dengan teknologi DSP (*digital signal processing*) untuk memotong atau mengukir berbagai bahan. Mesin ini dapat dioperasikan secara otomatis melalui komputer atau secara manual menggunakan monitor portabel. Fungsi utama mesin ini meliputi pemotongan (*cutting*), pengukiran (*engraving*), dan pemberian tanda atau marka (*marking*) (Salam et al., 2019). Kehadiran mesin CNC router portabel menjadi solusi untuk menjawab tantangan tersebut, karena lebih fleksibel, hemat biaya, dan mudah dioperasikan. Terlebih lagi, penggunaan perangkat lunak Mach3 sebagai sistem kontrol serta motor stepper Nema 23 memungkinkan kontrol gerakan sumbu yang lebih stabil dan akurat. Kombinasi ini dinilai mampu memberikan performa yang layak untuk kebutuhan pelatihan maupun produksi ringan (Elmiawan & Fazalul, 2022).

Penggunaan kontrol Mach3 sebagai sistem pengendali dan motor stepper sebagai aktuator pada mesin CNC Router memberikan kemudahan dalam pengaturan gerakan sumbu serta kompatibilitas yang luas dengan perangkat keras lainnya. Namun, karakteristik motor stepper yang bergerak dalam langkah diskret dapat menyebabkan deviasi posisi terutama pada kecepatan tinggi, yang berdampak pada akurasi pemotongan.

Salah satu parameter penting dalam proses pemotongan menggunakan CNC router adalah kecepatan pemakanan (*feed rate*). Variasi *feed rate* dapat memengaruhi kualitas hasil pemotongan, termasuk akurasi dimensi, waktu pengerjaan, serta kondisi alat potong. Oleh karena itu, pengujian terhadap parameter ini sangat penting untuk memastikan bahwa mesin CNC router portabel yang dikembangkan mampu bekerja secara optimal dalam berbagai kondisi operasi (Nur aidi Ariyanto & mukhamad khumaidi usman, 2018).

Dalam konteks pemesinan, akurasi dan presisi merupakan dua indikator penting dalam menilai kualitas kinerja mesin. Akurasi mengacu pada seberapa dekat hasil pemotongan terhadap nilai yang diinginkan atau yang telah diprogram dalam sistem (nilai target), sedangkan presisi berkaitan dengan seberapa konsisten hasil pemotongan saat dilakukan berulang kali dalam kondisi yang sama. Mesin yang memiliki akurasi tinggi dapat menghasilkan dimensi yang sangat mendekati spesifikasi, sedangkan mesin yang presisi tinggi akan memberikan hasil yang seragam dari satu pemotongan ke pemotongan berikutnya.

Berdasarkan hal tersebut, penting dilakukan kajian mengenai pengaruh variasi *feed rate* terhadap akurasi pemotongan pada mesin CNC Router portabel 3 axis dengan kontrol Mach3 dan motor stepper Nema 23, guna mendukung efektivitas penggunaan mesin ini dalam praktik industri maupun pendidikan.

METODE

Penelitian ini menggunakan metode penelitian eksperimen. Penelitian eksperimental merupakan suatu metode ilmiah yang menguji hubungan sebab akibat (kausalitas) antara variabel bebas dan variabel terikat (Yulianti et al., 2024). Pendekatan eksperimen dipilih

karena penelitian ini bertujuan untuk mengetahui pengaruh atau efektivitas suatu perlakuan atau variabel tertentu terhadap hasil yang terukur secara objektif. Dalam konteks ini, eksperimen dilakukan untuk mengevaluasi kinerja dan efektivitas penggunaan sistem CNC, seperti akurasi hasil pemesian. Metode ini digunakan karena penelitian melibatkan perlakuan langsung terhadap variabel bebas, yaitu *feed rate*, dan mengamati pengaruhnya terhadap variabel terikat, yaitu akurasi dimensi hasil pemotongan.

Waktu dan Tempat Penelitian

- **Waktu Penelitian**

Penelitian ini tentang pengambilan data pengaruh variasi *feed rate* terhadap akurasi pemotongan mesin CNC router portabel menggunakan kontrol mach3 dan motor stepper nema 23 yang dilakukan pada bulan Juni 2025

- **Tempat Penelitian**

Tempat penelitian ini dilakukan di laboratorium mesin K7 Fakultas Vokasi Universitas Negeri Surabaya

Variabel Penelitian

- **Variabel Bebas**

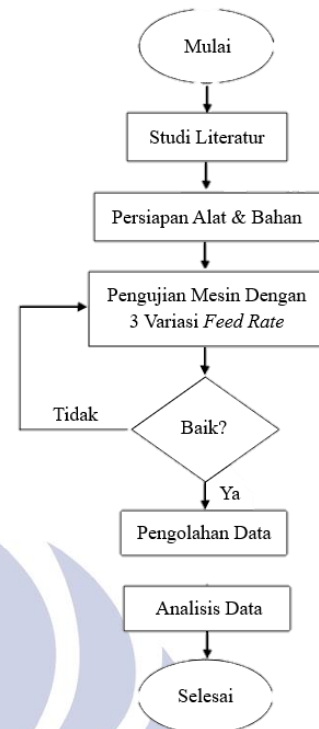
Penelitian ini menggunakan variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*) sebesar 50, 100 dan 150 mm/menit sebagai variabel bebas

- **Variabel Terikat**

Variabel terikat pada penelitian ini adalah penyimpangan dimensi hasil dan waktu pengerjaan.

- **Variabel Kontrol**

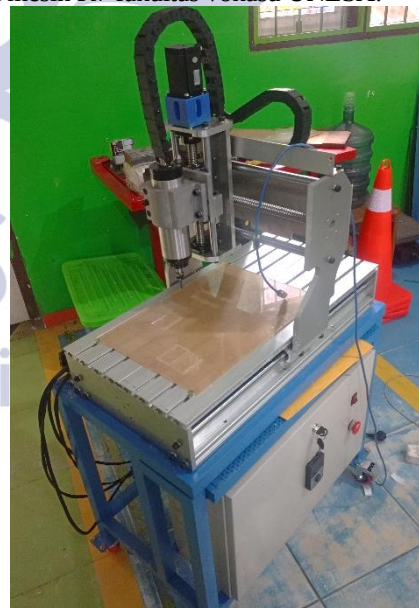
- Mikrokontroler Mach-3 sebagai kontrol otomatis
- Motor *stepper* nema 23 sebagai penggerak sumbu
- Spindel 800W dengan kecepatan maksimal
- *Cutter/end mill* HSS dengan diameter 6mm
- Spesimen yang digunakan berupa akrilik tipe cast dengan ukuran persegi panjang 40mm dan kedalaman 2mm



Gambar 1. Diagram Alir Penelitian

Alat

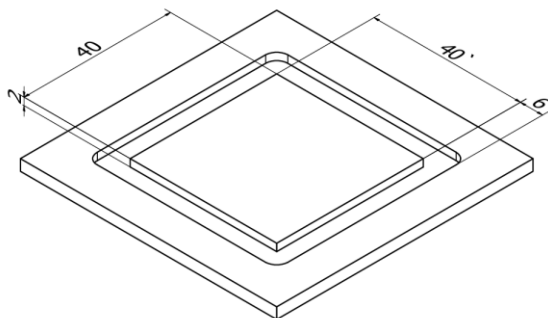
Mesin yang digunakan dalam penelitian ini adalah mesin CNC router portabel 3 axis. Hasil tugas akhir dari mahasiswa D4 Teknik mesin yang berjudul rancang bangun mesin CNC router portabel 3 axis menggunakan perangkat lunak mach3. Pengambilan data dilakukan di bengkel mesin K7 fakultas vokasu UNESA.



Gambar 2. Mesin CNC Router Portabel 3 Axis

Tabel 1. Spesifikasi CNC router portabel 3 axis

Kontroler	Bob Mach3
Modul CNC	Mach3 Mill
Ball Screw	Stainless steel 20mm
Kerangka Body	Stainless steel
Spindel	ER 11, 800 W
Motor Stepper	Nema 23
Power supply	24 V
Inverter	1,5 KW

Bahan

Gambar 3. Desain Spesimen

Pengujian dilakukan dengan membentuk objek persegi seperti yang ditunjukkan pada Gambar 3. Diujikan pada bahan akrilik jenis cast setebal 3 mm, menggunakan *endmill* HSS diameter 6 mm. Pengujian dilakukan sebanyak 3 kali untuk setiap variasi *feed rate* (50, 100, dan 150 mm/menit), dilakukan jeda waktu selama 2 menit untuk menormalkan kondisi mesin sebelum pengambilan data berikutnya. Setelah proses pemotongan, hasil di ukur menggunakan jangka sorong digital. Hasil pengujian dirata-rata untuk memperoleh nilai akurasi dan waktu proses pada masing-masing *feed rate*.

HASIL DAN PEMBAHASAN**Hasil Pengujian Akurasi Mesin CNC Router Portabel**

Pengujian bentuk persegi dilakukan untuk mengevaluasi akurasi dan efisiensi mesin CNC dalam memotong objek dua dimensi dengan gerakan sumbu X, Y, dan Z. Dimensi yang diinputkan melalui *G-code* adalah 40 mm untuk sumbu X, dan Y, sedangkan sumbu Z adalah 2 mm. Uji coba dilakukan dengan tiga variasi kecepatan *feedrate*, yaitu 50, 100 dan 150 mm/menit, pengujian dilakukan sebanyak tiga kali pada setiap *feed rate* untuk mengetahui pengaruh kecepatan terhadap akurasi hasil dan waktu pemrosesan.

Tabel 1. Hasil Pengujian Bentuk Persegi Feed rate 50

Feed rate 50										
No.	Nilai Input (mm)			Nilai Hasil (mm)			Akurasi (%)			Waktu proses (menit)
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	40	40	2	40,05	39,98	2,01	99,87%	99,95%	99,5%	5 menit 49 detik
2	40	40	2	40,06	39,93	2,01	99,85%	99,82%	99,5%	5 menit 49 detik
3	40	40	2	40,08	39,96	2,02	99,80%	99,90%	99%	5 menit 49 detik
Total Rata-rata akurasi							99,69%			5 menit 49 detik

Pada *feedrate* 50 mm/menit, mesin mampu mencapai rata-rata akurasi sebesar 99,69%. Akurasi sumbu X bervariasi dari 99,80% hingga 99,87%, sedangkan sumbu Y berkisar antara 99,82% hingga 99,95%. Dan sumbu Z berkisar 99,50% dan 99% Waktu proses pada setiap uji memakan waktu rata-rata 5 menit 49 detik.

Tabel 2. Hasil Pengujian Bentuk Persegi Feed rate 100

Feed rate 100										
No.	Nilai Input (mm)			Nilai Hasil (mm)			Akurasi (%)			Waktu proses (menit)
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	40	40	2	40,14	39,87	2,02	99,65%	99,95%	99%	2 menit 58 detik
2	40	40	2	40,15	39,96	2,02	99,62%	99,90%	99%	2 menit 58 detik
3	40	40	2	40,04	30,97	2,02	99,90%	99,92%	99%	2 menit 58 detik
Total Rata-rata akurasi							99,55			2 menit

Saat *feedrate* dinaikkan ke 100 mm/menit, akurasi rata-rata sedikit menurun menjadi 99,55%. Akurasi tertinggi masih berada pada sumbu Y sebesar 99,95%, namun terdapat penurunan kecil pada akurasi sumbu X 99,60%. Serta untuk sumbu Z stabil di 99% Proses pemotongan lebih cepat, dengan rata-rata waktu proses 2 menit 58 detik.

Tabel 3. Hasil Pengujian Bentuk Persegi Feed rate 150

Feed rate 150										
No.	Nilai Input (mm)			Nilai Hasil (mm)			Akurasi (%)			Waktu proses (menit)
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z	
1	40	40	2	40,18	39,96	2,02	99,55%	99,90%	99%	2 menit
2	40	40	2	40,17	39,91	2,02	99,57%	99,77%	99%	2 menit
3	40	40	2	40,04	40,04	2,02	99,90%	99,90%	99%	2 menit
Total Rata-rata akurasi							99,51%			2 menit

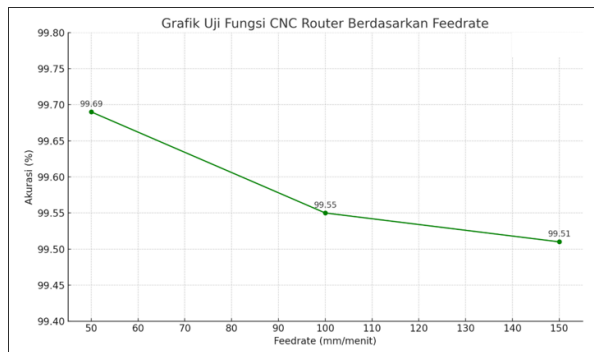
Pada *feedrate* tertinggi yaitu 150 mm/menit, akurasi rata-rata kembali mengalami sedikit penurunan menjadi 99,51%. Meski begitu, nilai ini masih tergolong tinggi. Akurasi sumbu Y tetap stabil dengan nilai maksimal 99,90%, sedangkan akurasi sumbu X turun ke kisaran 99,55%–99,00%. Dan sumbu Z tetap di 99% Waktu proses menjadi lebih efisien, yaitu 2 menit per pengujian.

Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin CNC router portabel mampu memotong bentuk persegi

dengan presisi yang ditunjukkan oleh hasil rata-rata akurasi pada feedrate 50 mm/menit sebesar 99,69% dengan waktu 5 menit 49 detik, pada 100 mm/menit sebesar 99,55% dengan waktu 2 menit 58 detik dan pada 150 mm/menit sebesar 99,51% dengan waktu 2 menit.

PEMBAHASAN

Berdasarkan hasil pengujian, terlihat adanya tren penurunan akurasi seiring dengan peningkatan nilai *feedrate*. Semakin tinggi *feedrate* yang digunakan, semakin singkat waktu pemrosesan, namun hal ini dibarengi dengan sedikit penurunan tingkat akurasi



Gambar 3. Grafik Uji Fungsi Mesin CNC Router

Grafik menunjukkan bahwa akurasi tertinggi tercapai pada *feedrate* 50 mm/menit, yaitu sebesar 99,69%, dan menurun secara bertahap menjadi 99,55% pada *feedrate* 100 mm/menit, serta 99,51% pada *feedrate* 150 mm/menit. Perubahan ini relatif kecil, namun menunjukkan bahwa kecepatan pemakanan berpengaruh langsung terhadap presisi mesin.

Penurunan akurasi pada *feedrate* yang lebih tinggi kemungkinan disebabkan oleh beberapa faktor teknis, seperti:

- gerak motor stepper yang meningkat saat kecepatan tinggi, mengakibatkan penurunan stabilitas posisi akhir.
- Peningkatan gaya potong dan getaran yang menyebabkan pergeseran kecil pada sumbu kerja.
- Respons kontrol Mach3, yang pada kecepatan tinggi mungkin mengalami kehilangan langkah (*step loss*) terhadap perubahan koordinat, terutama jika sistem kontrol tidak menggunakan encoder umpan balik (*closed loop*)

Mesin CNC Router portabel tetap menunjukkan performa akurasi yang sangat baik, bahkan pada *feedrate* tinggi. Hal ini mengindikasikan bahwa mesin masih layak digunakan untuk pekerjaan presisi ringan hingga sedang. Namun, untuk proses pemotongan yang menuntut ketelitian tinggi, disarankan menggunakan *feedrate* lebih rendah untuk menjaga akurasi dimensi hasil.

Simpulan

Hasil uji fungsi Pengujian dilakukan dengan tiga variasi kecepatan pemakanan (*feed rate*), yaitu 50, 100, dan 150 mm/menit. Pada *feed rate* 50 mm/menit, hasil pengukuran menunjukkan akurasi rata-rata sebesar 99,69% dengan waktu proses 5 menit 49 detik. Pada *feed*

rate 100 mm/menit, diperoleh rata-rata akurasi sebesar 99,55% dengan waktu 2 menit 58 detik. Sedangkan pada *feed rate* 150 mm/menit, didapatkan rata-rata akurasi sebesar 99,51% dengan waktu proses 2 menit. Jadi semakin tinggi *feed rate*, akan terjadi penurunan akurasi, akan tetapi waktu pengerjaan semakin meningkat atau lebih cepat pengerjaannya.

Saran

Berdasarkan penelitian yang telah di lakukan, berikut merupakan saran yang diberikan oleh penulis yang bisa digunakan untuk penelitian selanjutnya :

- Penelitian selanjutnya disarankan untuk menguji pengaruh parameter lain seperti kedalaman potong, kecepatan spindel, dan jenis alat potong terhadap kualitas hasil pemotongan.
- Diperlukan pengujian pada berbagai jenis material lain, seperti kayu, MDF, atau aluminium lunak untuk mengevaluasi kinerja mesin secara lebih menyeluruh.

DAFTAR PUSTAKA

- Bangse, K., Wibolo, A., & Wiryanta, I. K. E. H. (2020). Design and fabrication of a CNC router machine for wood engraving. *Journal of Physics: Conference Series*, 1450(1). <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1450/1/012094>
- Eka Pramono, G., Yuliaji, D., & Waluyo, R. (2015). *Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM*.
- Elmiawan, P., & Fazalul, M. M. (2022). Akurasi Mesin Cnc Router Low Budget Berbasis Mach 3. *Politeknik Gajah Tunggal*, 15(2).
- Istianatul Ulya, Kartika Marlina Sulistiara Pramesti, & Naerul Edwin Kiky Aprianto. (2024). Analisis Persaingan Dan Pengembangan Strategi Industri Manufaktur Untuk Meningkatkan Daya Saing. *Musyteri*, 11(5).
- Khoirul Anaam, I., Hidayat, T., Yuga Pranata, R., Abdillah, H., & Yhuto Wibisono Putra, A. (2022). Pengaruh trend otomasi dalam dunia manufaktur dan industri. *Vocational Education National Seminar (VENS)*, 1(1), 46–50. jurnal.untirta
- Kurniawan, E., & Jekky, B. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Lathe Mini 2 Axis. *Jurnal Engine: Energi, Manufaktur, Dan Material*, 4(2), 83–90.
- Nur aidi Ariyanto, & mukhamad khumaidi usman. (2018). Pengaruh Variasi Kecepatan Feeding Pada Cnc Router 3 Axis Dengan Material Aluminium Dan Acrylik. *Nozzle: Journal Mechanical Engineering*, 7(2), 17–20.
- Salam, A., Iswar, M., Rifaldi, M., Malik, S., Putra, K., Jurusan, D., Mesin, T., Negeri, P., Pandang, U., &

Jurusan, M. (2019). Rancang Bangun Mesin Cnc Router Mini Untuk Pembelajaran mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. In *Bidang Ilmu Teknik Mesin*.

Yulianti, R., Alfa Syukrilla, W., Liana Febriyanti, T., Santika Rahayu, D., Haryanto Agung, B., Luthfi Oktariantio, M., Khadijah Koto, S., Rahmawan, S., Asmara, A., Arasi Sidabutar, Y., Aldila Krisma, D., Romdlon Maslahul Adi, N., & Zulaeha, O. (2024). *Metode Penelitian Eksperimen Konsep, Implementasi, dan Studi Kasus* (M. Pd. T. Sarwandi, Ed.). PT. Mifandi Mandiri Digital.

