

AKURASI MESIN CNC ROUTER LOW BUDGET BERBASIS MACH 3

Puguh Elmiawan^{1*}, Dharmanto¹, Adik. S.W¹, M. Fazalul M¹, Arief R¹

¹ Politeknik Gajah Tunggal, Jl. Gajah Tunggal No.16, RT.001/RW.002, Alam Jaya, Kec. Jatiuwung, Kota Tangerang, Banten 15133

* Email: elmiawan@gmail.com

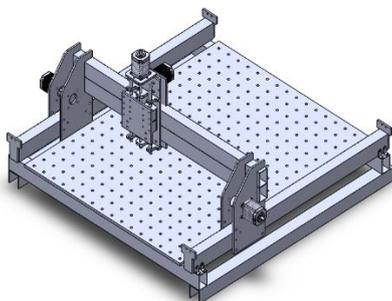
ABSTRACT

This paper discusses the building of a low-cost CNC router machine. In designing a CNC machine using an electrical actuator as the driving force, we use a nema 23 stepper motor combined with a pitch 2 mm timing belt to drive the machine on the x and y axes. On the z-axis, we use a stepper motor and a linear screw to drive the machine. This machine is often used to cut and engrave wood, acrylic, and PCB objects. The design drawing that has been made on the PC is sent to the microcontroller using serial communication, then the CNC performs work on the thing according to the coordinates. The spindle will create a pattern on the thing automatically according to the design drawing. Measurement was made using a caliper with an accuracy of 0.05 mm. This CNC machine is performing duly as ordered by the mach3 micro controller. The machine test results show an accuracy value of 99.85% on the x-axis, 99.74% on the y-axis, and 99.12% on the z-axis.

Keywords: Accuracy, CNC Router, Mach 3, Motor Stepper

PENDAHULUAN

Era ilmu pengetahuan dan teknologi yang semakin berkembang dari ditemukannya mesin sampai sekarang, mengakibatkan adanya tuntutan untuk menciptakan suatu mesin perkakas yang memiliki kemampuan dalam melakukan pekerjaan yang kompleks dengan waktu pengerjaan yang singkat [1]. Pada era industri 4.0 segala jenis produk dituntut untuk memiliki kualitas tinggi [2]. Pengaplikasian sistem numerik sebagai pengontrol dinilai mampu menghasilkan produk dengan kualitas ketelitian yang tinggi. Mesin *CNC* (*Computer Numerical Control*) menggabungkan sistem numerik dengan kontrol komputer untuk menggerakkan mesin perkakas sepenuhnya [3], [4].



Gambar 1. Desain *CNC Router*

Gambar 1 menunjukkan desain mesin *CNC Router* yang dibuat menggunakan besi *hollow* sebagai lintasan, dan mesin ini digerakkan oleh *motor stepper* yang dikombinasikan dengan *timing belt*. *CNC Router* dirancang untuk dapat melakukan berbagai pengerjaan proses pemesinan secara umum seperti *drill*, *mill*, *engrave* dan sebagainya menyesuaikan dengan

material berbahan dasar kayu. Mesin *CNC* pada penelitian ini dapat berjalan dan berpotensi untuk dikembangkan dimodifikasi menjadi mesin *additive manufacturing*. Mesin *additive manufacturing* dengan pencetakan dari bahan baku berbentuk kawat atau serbuk logam yang dihasilkan dari proses atomisasi [5], [6]. Tindakan ini dilakukan untuk menggantikan proses manual yang membutuhkan keahlian dalam pekerjaan, dan dinilai berisiko benda tidak sesuai dengan desain yang dibuat [7]. Aspek *engineering* membutuhkan mesin *CNC* dengan tingkat pekerjaan yang presisi, tetapi harga mesin *CNC* unit pembinaan di pasaran berada di angka yang cukup tinggi, hal ini tentunya menjadi suatu permasalahan yang serius [8].

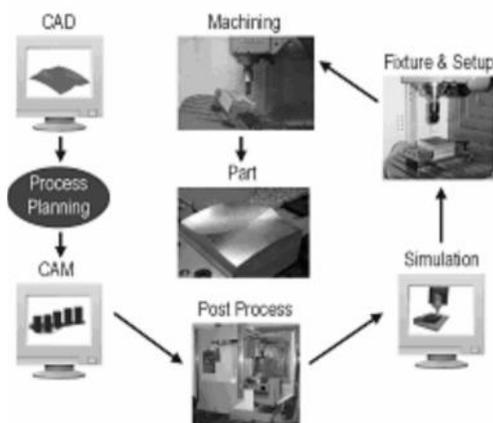
Hasil dari perkembangan mesin-mesin konvensional yang diciptakan untuk mengerjakan suatu material adalah mesin dengan teknologi *Computer Numerical Control* atau biasa disebut mesin *CNC*. Henry Maudslay seorang dari Inggris menciptakan mesin bubut logam yang pertama pada tahun 1974. Mesin tipe konvensional masih membutuhkan operator seseorang untuk mengerjakan pekerjaan secara manual.

Mikroprosesor mengalami perkembangan, hal ini juga membuat mesin *CNC* berkembang. *CNC* membuat perubahan besar dalam proses pengerjaan logam pada industri manufaktur. Komputer ditemukan untuk memudahkan pengguna mengerjakan desain melalui *software* (*CAD*) dan proses manufaktur (*CAM*). *GUI* (*Graphical User Interface*) mempermudah perubahan bahasa pemrograman yang berkaitan dengan mesin. Sebuah sistem kontrol *CNC*, yang merupakan sistem *loop* tertutup, menggunakan *variabel* yang sebanding dengan perbedaan *respons* antara *respons* yang diinginkan. Sistem seperti ini juga dikenal sebagai sistem kontrol umpan balik.

Mesin *CNC* yang sudah ada memang dirancang untuk keperluan industri sehingga banyak pengguna tidak mampu memberikan hasil maksimal dari produk yang dibuat akibat dari tidak tersedianya sarana memadai untuk melakukan praktik pembelajaran [9]. Bagi institusi yang memiliki fasilitas baik, sangat penting untuk menghindari kemungkinan kerusakan mesin yang mahal tersebut dengan menghilangkan bahaya yang dapat muncul selama pengoperasian peralatan mesin *CNC* [10]. Dalam keadaan kondisi mesin yang baik tentu saja efisiensi mesin yang dihasilkan menjadi terjaga [11]. Fitur-fitur baru yang terintegrasi dikembangkan dalam sebuah mesin *CNC*, hal tersebut menjadi sebuah tantangan untuk institusi pendidikan dan pemerintahan agar mampu menyiapkan kompetensi pengguna yang sesuai dengan kebutuhan industri serta sarana dan prasarana yang memadai [12], [13].

METODOLOGI PENELITIAN

Penggunaan dan kebutuhan mesin *CNC mini Router 3* sumbu saat ini sedang berkembang di Indonesia. Digunakan untuk kegiatan manufaktur dan praktek di sekolah kejuruan serta perguruan tinggi teknik di Indonesia. Proses permesinan *CNC* terdapat langkah-langkah yang harus dilakukan mulai dari proses perancangan benda kerja menggunakan *software CAD* hingga proses akhir yaitu menjalankan program yang sesuai dengan rancangan. Menjalankan program yang dibuat pada *software MasterCam* menggunakan aplikasi Mach3. Alur proses permesinan *CNC* secara lengkap seperti Gambar 2.

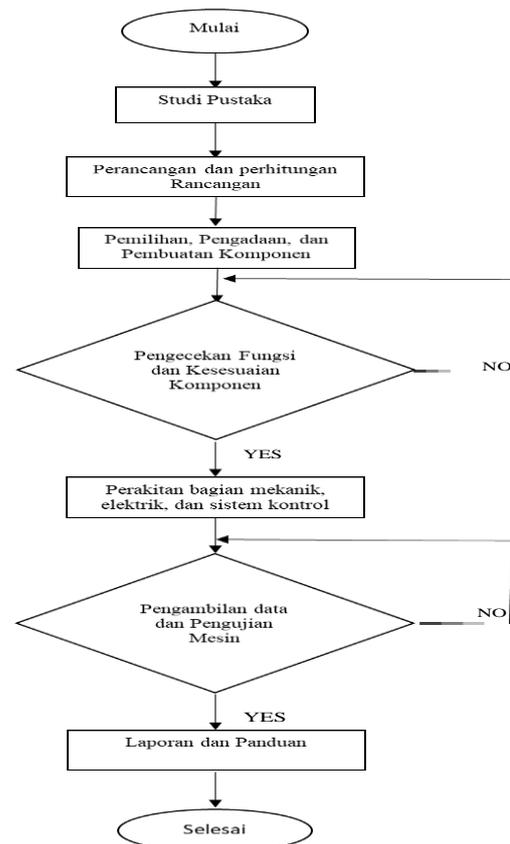


Gambar 2. Alur proses pemessinan *CNC* [14]

Gambar 2 menjelaskan bagaimana alur proses pemessinan pada mesin *CNC Router*. Program *G-code* biasa digunakan pada mesin *CNC* konvensional untuk mengatur pergerakan aktuator. Secara umum banyak berbagai macam jenis controller software yang dipakai pada mesin *CNC*, namun yang sering dipakai untuk media pembelajaran atau penelitian adalah Mach 3. Controller software Mach3 merupakan pengontrol *CNC* perangkat lunak sumber terbuka yang mengontrol mesin *CNC* tanpa bergantung pada merek dan model mesin *CNC* itu sendiri [15]. Mesin *CNC* dijalankan dengan menggunakan perangkat lunak Mach 3 dan dikendalikan oleh pengontrol Mach 3, yang membantu

mengubah kode *G* menjadi sinyal digital proses fabrikasi untuk operasi *CNC* [16]. Controller software Mach3 digunakan untuk memungkinkan fungsi *CNC*. Gerakan tiga sumbu dikendalikan dengan bantuan pengontrol Mach 3 dan terintegrasi dengan perangkat lunak Mach 3 kemudian terhubung ke driver untuk menggerakkan motor *stepper* untuk mengontrol gerakan tiga sumbu [17].

Mesin *CNC* bergerak dengan menggunakan mekanisme penggerak. Aksi atau gerakan yang dihasilkan dari suatu alat disebut *actuator*. Mesin *CNC* dirancang menggunakan *electric actuator* sebagai penggerakannya. Motor *Stepper* Nema 23 adalah jenis *actuator DC* yang diterapkan pada mesin *CNC Router*. Pembahasan tentang motor listrik fokus pada motor *stepper*. Jika satu derajat langkah (*step*) per motor *stepper*, maka motor *stepper* membutuhkan arus yang besar untuk bergerak satu putaran penuh (360°). Efisiensi motor *stepper* biasanya dinyatakan sebagai jumlah langkah dalam putaran per detik. Proses pembuatan mesin *CNC* yang akan dilakukan dalam penelitian ini ditunjukkan dalam diagram alir pada Gambar 3.



Gambar 3. Flowchart

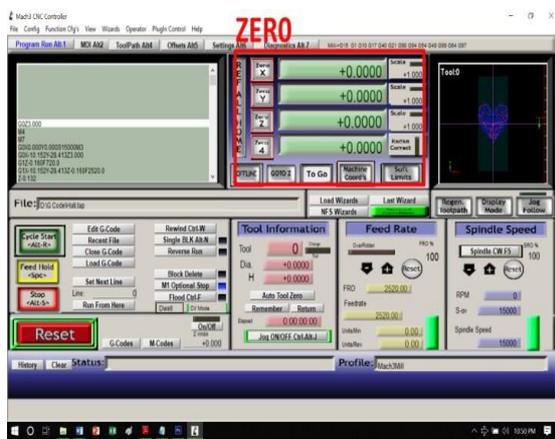
Dalam proses pengambilan data digunakan jangka sorong sebagai alat ukur dengan ketelitian 0,05 mm. Pengecekan fungsi alat dilakukan dengan menyambungkan mikrokontroler dengan program yang terdapat dalam aplikasi mach3. Pada Gambar 3 menjelaskan tahapan proses pembuatan mesin *CNC Router*. Tahapan-tahapan tersebut meliputi:

- Perancangan dan menghitung rancangan
- Memilih, mengadakan, dan membuat komponen
- Mengecek fungsi dan kesesuaian komponen
- Merakit bagian mekanis dan elektrik
- Pengambilan Data dan Pengujian Mesin
- Pembuatan Standar Kerja Pemakaian

HASIL DAN PEMBAHASAN

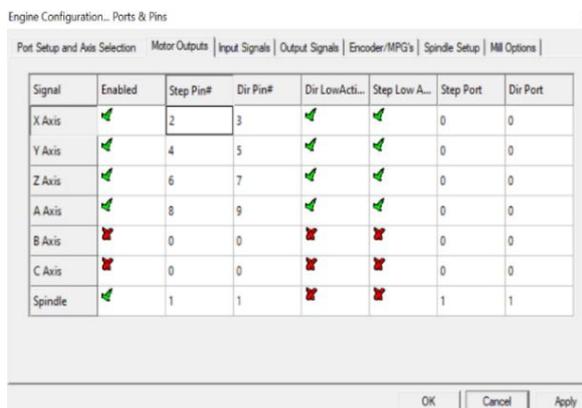
Hasil Penelitian

Berdasarkan desain rancangan, dibangun mesin ukir kayu ukuran sedang. Dimensi luas area kerja adalah 80 cm x 80 cm, sehingga mesin tersebut dapat digunakan untuk membuat kerajinan kayu ukuran sedang. *G-Code* sebagai pengontrol dari pergerakan *CNC* dibuat dengan menggunakan *software* Mach3. Beberapa pengaturan dapat diatur seperti pada Gambar 4.



Gambar 4. Pengaturan sumbu

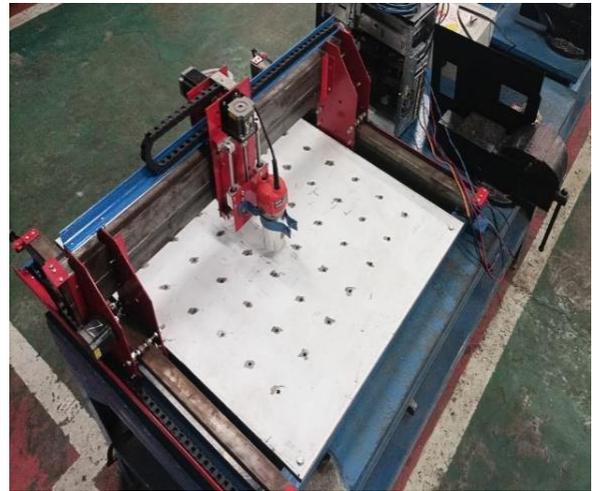
Gambar 4 menjelaskan mengenai *tool program run*, dalam *tool program run* digunakan untuk mengatur titik 0 mesin *CNC Router* dan untuk menjalankan program yang telah dibuat pada aplikasi *Mastercam*. *Tool program run* juga dapat digunakan untuk mengatur *feed rate* dan *spindle speed*. Menu *reset* yang memiliki fungsi sebagai sistem *emergency* terdapat pada *tool program run*.



Gambar 5. Konfigurasi port and pins

Gambar 5 menjelaskan mengenai konfigurasi *port and pins*. Sinyal *motor outputs* dalam konfigurasi *port and pins* dilakukan penyesuaian dengan *pins* yang

terdapat dalam *micro controller* Mach3 untuk dapat menggerakkan *motor stepper*. Pengujian pada proses ini dilakukan dengan mengamati dan menganalisis kemampuan mesin *CNC router* yang telah dibuat. Pengujian dilakukan pada material dasar berbahan kayu dengan dimensi material yang bervariasi untuk mengetahui keakuratan mesin.



Gambar 6. CNC router

Gambar 6 menunjukkan mesin *CNC Router* yang telah dibuat. *CNC Router* ini menggunakan besi *hollow* sebagai lintasan, dan digerakkan oleh *motor stepper* yang dikombinasikan dengan *timing belt*.

Pembahasan

Pengujian yang dilakukan pada mesin *CNC Router* dengan langkah-langkah sebagai berikut:

- Hal yang harus dilakukan adalah membuat desain dalam *software CAM* seperti *Mastercam*.
- Dapatkan *G code* dan simpan desain dengan menggunakan format file *NC*.
- Persiapkan papan kayu dan pasang papan kayu pada alas mesin *CNC* kencangkan menggunakan baut sehingga pada saat proses pengerjaan tidak bergerak.
- Unggah desain *G code* pada aplikasi *Mach3* kemudian pilih *cycle start* pada aplikasi *Mach 3*.

Setelah melakukan pengujian maka didapatkan beberapa data seperti:

A. Perhitungan dan Perancangan Alat

Perhitungan yang dilakukan yaitu pada motor. Motor digunakan untuk menggerakkan *cutting tools*. Nilai torsi dan putaran poros *motor stepper* merupakan hal yang paling penting karena mempengaruhi pergerakan pemakanan diasumsikan gaya pemakanan adalah 22 N [18].

$$F_s = 0,8 . u . t . \sigma$$

$$F_s = 0,8.306,24.20.3,5$$

$$F_s = 17149N$$

Diameter *cutting tool* adalah 4 mm ($r = 0.002$ m).

$$T = F_s . r$$

$$T = 17149,0,002$$

$$T = 34,298 Nm$$

Diasumsikan nilai *Cutting speed* = 300 m/min. Dengan diketahui *Cs* maka nilai putaran dapat dihitung dengan menggunakan rumus :

$$Cs = (\pi \cdot d \cdot n) / 1000$$

$$n = (Cs \cdot 1000) / (\pi \cdot d)$$

$$n = 300 \cdot 1000 / 3,14 \cdot 4$$

$$n = 23885 \text{ rpm}$$

Dengan diketahui nilai torsi dan putaran maka dapat menghitung daya maksimum *motor spindle* dengan menggunakan rumus :

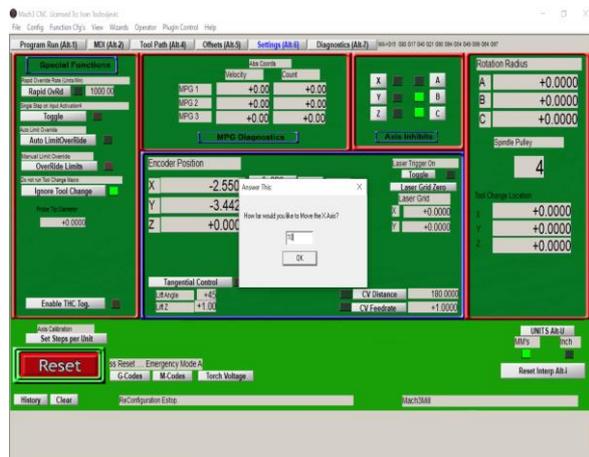
$$P = T (2\pi \cdot n) / 60$$

$$P = 0,034 \cdot (2\pi \cdot n) / 60$$

$$P = 84,998 \text{ W}$$

B. Kalibrasi Motor Stepper

Mengetahui tingkat kepresisian mesin maka perlu dilakukan kalibrasi pada motor stepper, dalam hal ini akan dilakukan kalibrasi gerakan dari motor stepper dengan cara pilih menu bar settings (Alt-6) kemudian pilih *set step per units* dan pilih *axis* yang akan dikalibrasi, setelah itu masukkan nilai dan ukur aktual nilai yang dihasilkan oleh mesin *CNC Router* ini, kemudian langkah terakhir adalah sesuaikan nilai pada sistem dengan nilai hasil pengukuran aktual gerakan yang dihasilkan oleh motor *stepper* dengan cara *input* nilai hasil pengukuran aktual kepada sistem Mach 3.



Gambar 7. Kalibrasi motor stepper

Gambar 7 merupakan langkah-langkah kalibrasi yang dilakukan, dengan menggunakan tool setting yang terdapat pada software Mach3, dalam tool tersebut dapat mengatur setiap sumbu pada mesin CNC Router.

C. Sistem Akurasi

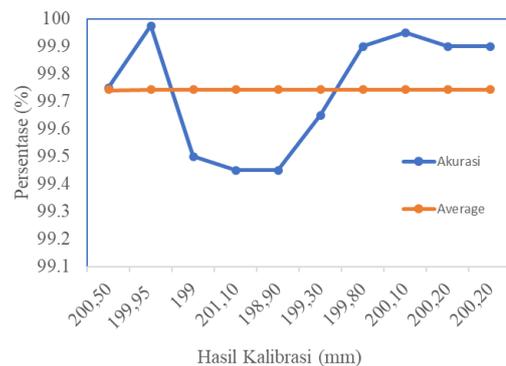
Melakukan pengujian akurasi menggunakan fitur yang ada pada software Mach3 dengan memasukan nilai yang akan diuji dan menggunakan *endmill tools* diameter 4 mm. Pengujian akurasi ini dilakukan pada sumbu X dan Y.

Hasil pengujian dari sumbu Y dapat dilihat pada Tabel 1.

Tabel 1. Hasil tes akurasi sumbu Y

No	Desain (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	Akurasi (%)
1	200	200,50	99,75
2	200	199,95	99,975
3	200	199	99,5
4	200	201,10	99,45
5	200	198,90	99,45
6	200	199,30	99,65
7	200	199,80	99,9
8	200	200,10	99,95
9	200	200,20	99,9
10	200	200,20	99,90

Tabel 1 menunjukkan jumlah pengujian yang dilakukan dengan ukuran yang diperintahkan 200 mm. Berdasarkan data yang diperoleh sehingga dapat dibuat grafik seperti Gambar 8 yang menunjukkan hubungan antara hasil pengujian dengan nilai rata-rata pengujian dan menunjukkan bahwa mesin CNC Router berbasis Mach 3 pada sumbu y dapat bekerja dengan nilai rata-rata akurasi 99,74 % setelah dilakukan 10 kali percobaan. Pengujian terhadap sumbu X menggunakan fitur yang ada pada *software* Mach3 dengan memasukan nilai yang akan diuji dan *endmill tools* diameter 4 mm.



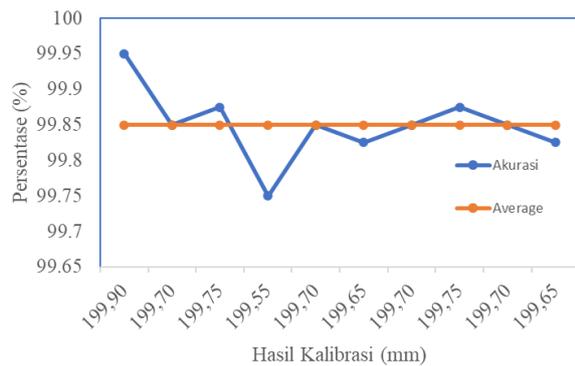
Gambar 8. Grafik akurasi sumbu Y

Hasil pengujian akurasi terhadap sumbu X dapat dilihat pada Tabel 2 yang menunjukkan jumlah pengujian yang dilakukan dengan ukuran yang diperintahkan 200 mm.

Tabel 2. Hasil tes akurasi sumbu X

No	Desain (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	Akurasi (%)
1	200	199,9	99,95
2	200	199,70	99,85
3	200	199,75	99,875
4	200	199,55	99,75
5	200	199,70	99,85
6	200	199,65	99,825
7	200	199,70	99,85
8	200	199,75	99,875
9	200	199,70	99,85
10	200	199,65	99,825

Berdasarkan data yang diperoleh sehingga dapat dibuat grafik seperti Gambar 9.



Gambar 9. Grafik akurasi sumbu X

Gambar 9 menunjukkan hubungan antara hasil pengujian dengan nilai rata-rata pengujian dan bahwa mesin CNC Router berbasis Mach 3 pada sumbu x dapat bekerja dengan nilai rata-rata akurasi 99,85 % setelah dilakukan 10 kali percobaan.

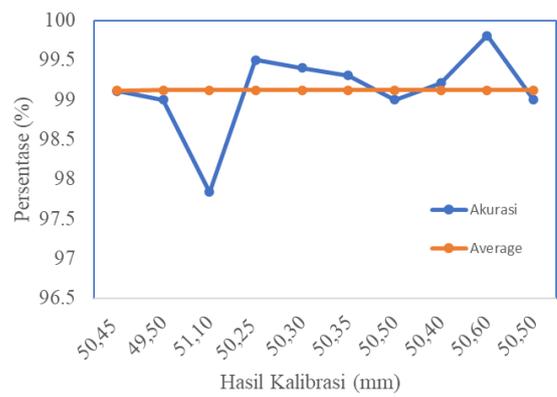
D. Pengukuran kedalaman

Pengukuran kedalaman dilakukan untuk mengetahui tingkat kepresisian pada sumbu Z mesin CNC saat bekerja, pengukuran dilakukan untuk menentukan tingkat kepresisian pada kedalaman mesin CNC saat bekerja. Pengujian dilakukan dengan memasukkan perintah pergerakan lurus sumbu Z dengan kedalaman 50 mm. Menggunakan *endmill* 4 mm.

Tabel 3. Hasil tes akurasi sumbu Z

No	Desain (mm)	Hasil Pengukuran (mm)	Akurasi (%)
1	50	50,45	99,108
2	50	49,50	99,00
3	50	51,10	97,84
4	50	50,25	99,502
5	50	50,3	99,403
6	50	50,35	99,304
7	50	50,50	99
8	50	50,40	99,206
9	50	50,60	99,814
10	50	50,50	99

Tabel 3 menunjukkan jumlah pengujian yang dilakukan dengan ukuran yang diperintahkan 50 mm. Berdasarkan data yang diperoleh sehingga dapat dibuat grafik seperti Gambar 10, dimana menunjukkan hubungan antara hasil pengujian dengan nilai rata-rata pengujian dan bahwa mesin CNC Router berbasis Mach 3 pada sumbu z dapat bekerja dengan nilai rata-rata akurasi 99,12 % setelah dilakukan 10 kali percobaan.



Gambar 10. Grafik akurasi sumbu Z

KESIMPULAN

1. Pada penelitian ini telah dibuat mesin CNC Router dengan ukuran panjang 80 cm dan lebar 80 cm. Mesin CNC Router dibuat dengan dikendalikan oleh program CNC menggunakan *software* Mach 3 sebagai perangkat lunak dan dapat berjalan sesuai dengan perintah program.
2. Nilai hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin ini dapat bekerja dengan akurasi pada sumbu X adalah 99,85%, pada sumbu Y adalah 99,74%, dan pada sumbu Z adalah 99,12%.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] Mashinton, A., Hasan, H., Aqilah, F. J., Wibowo, N. R., and Ishak, I., 2021. Rancang Bangun Mesin CNC Milling 3 Axis Dengan Menggunakan Sistem Kontrol Android. *Mechatronics Journal in Professional and Entrepreneur (MAPLE)*, Vol. 3 (1) pp. 1-8.
- [2] Rabani, H. A., Dirja, I., and Fauji, N., 2022. Analisis Kerusakan Mesin Gemini Ficep G25 SP CNC Menggunakan Metode Failure Mode Effect Analysis (FMEA). *ROTOR*, Vol. 15 (1) pp. 26-31.
- [3] Yusuf, M., and Carles, H., 2019. Analisa Kekasaran Permukaan terhadap Kekerasan Material pada Proses Milling dengan Variasi Kecepatan Feeding. *Jurnal Teknik Mesin Mercu Buana*, 8(2), 57-63.
- [4] Widiyaningsih, 2021. Proses Pengoperasian Mesin Running Saw Menggunakan Computer Numerical Control (CNC) (Studi Kasus di PT. Sejin Lestari Furniture). *Aisyah Journal of Informatics and Electrical Engineering*, Vol. 3 (1) pp. 75-87.
- [5] Baskoro, A. S., Supriadi, S., and Suharno, B., 2022. New Design of Conduit Plasma Atomization for Fabricating Spherical Metal Powder and its Optimization Using Design of Experiments Method. *Powder Metallurgy and Metal Ceramics*, Vol. 60 (9) pp. 531-545.
- [6] Supriadi, S., Susimah, T. I., Akbar, M. H. S., Suharno, B., and Baskoro, A. S., 2020. Designs and evaluations of a gas atomizer to fabricate stainless steel metal powder to be applied at a metal injection molding, In Key Engineering

- Materials, Trans Tech Publications Ltd., Vol. 833 pp. 40-47.
- [7] Munadi, M., Syukri, A., Setiawan, J. D., and Ariyanto, M., 2018. Rancang-bangun prototipe mesin CNC laser engraving dua sumbu menggunakan diode laser. *Jurnal Teknik Mesin Indonesia*, Vol. 13 (1) pp. 32-37.
- [8] Salam, A., Mukhtar, M., and Trisbenheiser, T., 2020. Rancang Bangun Mesin CNC Laser Cutting Sebagai Media Pembelajaran. In *Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M)*, pp. 173-178.
- [9] Shilpa, V. J., & Mahmood, S. H., 2018. Design and implementation of three-axis cost efficient cnc pcb milling machine. *2018 International Conference on Recent Trends in Electrical, Control and Communication (RTECC)*, pp. 106-109.
- [10] Racz, S. G., Breaz, R. E., and Cioca, L. I., 2020. Hazards That Can Affect CNC Machine Tools during Operation—An AHP Approach. *Safety*, Vol 6 (1) pp. 10.
- [11] Putra, I. M., and Viola, R. O., 2022. Manufacturing System Design of a CNC Laser Engraver. *Jurnal Teknik Mesin*, Vol. 12 (1) pp. 32-38.
- [12] Wibisono, G., Wijanarka, B. S., and Theophile, H., 2020. The Link and Match between the Competency of Vocational High Schools Graduates and the Industry on CAD/CAM and CNC. *Jurnal Pendidikan Teknologi dan Kejuruan*, Vol. 26 (1) pp. 26-34.
- [13] Tung, T. T., Quynh, N. X., and Minh, T. V., 2021. Development and Implementation of a Mini CNC Milling Machine. *Acta Marisiensis. Seria Technologica*, Vol. 18 (2) pp. 24-28.
- [14] Poon, G., Gray, P. J., Bedi, S., and Miller, D., 2006. Architecture for direct model-to-part CNC manufacturing. Vol. 4 pp. 14-18.
- [15] Sulaiman, T. T., Mohamed, S. B., Minhat, M., Mohamed, A. S., and Mohamed, A. R., 2018. Integrated Interface Development Environment using STEP Universal Data Structure. *International Journal of Engineering & Technology*, Vol. 7 (2.15) pp. 27-29.
- [16] Soundrapandian, E., 2021. Experimental Investigation on Bead Geometry Parameter and Mechanical Property of Part Fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing. *Journal of Engineering Research*, (ICMMM Special Issue) pp. 1-15.
- [17] Kumar, V., 2021. Experimental Investigation on Mechanical Properties of Part Fabricated by Wire Arc Additive Manufacturing Process. *Journal of Engineering Research*, (ICMMM Special Issue) pp. 1-15.
- [18] Setiawan, B., Rasma, R., and Djunaedi, T. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portable Dengan Dimensi 1219× 609 mm untuk Skala Laboratorium. *INFOMATEK. Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, Vol. 22 (1) pp. 15-22.