

## Pengembangan Desain Mesin CNC Router Skala Laboratorium Menggunakan Software Mach3

Syahrudin Rasyid<sup>1</sup>, Abdul Salam<sup>2\*</sup>, Muh. Ainul Yaqin<sup>3</sup>, Linda Hidayanti<sup>4</sup>, Efrat Prederick<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia

\* E-mail korespondensi: abdsalam@poliupg.ac.id

**Abstract:** This study aims to develop the design of a laboratory-scale CNC router machine using Mach3 software to improve the control system, workpiece clamping mechanism, and machine productivity. The research method includes literature study, machine design using Autodesk Fusion 360, fabrication and assembly of mechanical and control systems, and performance testing. The developed system uses NEMA 23 stepper motors as actuators and Mach3 as the CNC control software to regulate the movement of the X, Y, and Z axes. Performance testing was conducted by evaluating axis movement calibration and machining tests using acrylic and MDF materials. The calibration results show that the average deviation of axis movement is within 0.01–0.02 mm, indicating good motion accuracy. Product machining tests on acrylic material with a dimension of 30 × 30 mm produced a deviation of only 0.03–0.04 mm with a success rate of 99.8%. In addition, the implementation of a clamping system and workpiece stopper improves workpiece positioning accuracy and allows faster workpiece replacement, thereby increasing machining productivity.

**Keywords:** CNC Router, Mach3 software, motion control, machining accuracy, laboratory-scale machine.

**Abstrak:** Penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan desain mesin CNC router skala laboratorium menggunakan perangkat lunak Mach3 guna meningkatkan sistem kontrol, sistem pencekaman benda kerja, serta produktivitas mesin. Metode penelitian meliputi studi literatur, perancangan mesin menggunakan Autodesk Fusion 360, pembuatan dan perakitan sistem mekanik serta kontrol, dan pengujian kinerja mesin. Sistem kontrol yang dikembangkan menggunakan motor stepper NEMA 23 sebagai aktuator dan perangkat lunak Mach3 untuk mengendalikan pergerakan sumbu X, Y, dan Z. Pengujian dilakukan melalui kalibrasi pergerakan sumbu serta uji pemotongan menggunakan material akrilik dan MDF. Hasil pengujian menunjukkan bahwa penyimpangan pergerakan sumbu berada pada kisaran 0,01–0,02 mm sehingga menunjukkan tingkat akurasi gerak yang baik. Pengujian pemotongan akrilik dengan dimensi desain 30 × 30 mm menghasilkan penyimpangan sebesar 0,03–0,04 mm dengan tingkat keberhasilan sebesar 99,8%. Selain itu, penggunaan sistem *clamp* dan *stopper* pada meja mesin mampu meningkatkan ketelitian posisi benda kerja serta mempermudah proses pemasangan dan penggantian benda kerja, sehingga meningkatkan produktivitas proses pemotongan.

**Kata kunci:** CNC router, software Mach3, kontrol gerak, akurasi pemotongan, mesin skala laboratorium.

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi Computer Numerical Control (CNC) di Indonesia terus mengalami peningkatan seiring dengan kebutuhan industri manufaktur yang menuntut proses produksi yang presisi, efisien, dan terotomatisasi. Meskipun demikian, harga mesin CNC *training unit* yang tersedia di pasaran masih relatif tinggi sehingga sulit dijangkau oleh sebagian institusi pendidikan, khususnya sekolah kejuruan dan perguruan tinggi yang memiliki keterbatasan anggaran [1–3]. Kondisi ini mendorong perlunya pengembangan mesin CNC skala laboratorium yang lebih ekonomis namun tetap mampu mendukung kegiatan praktikum dan pembelajaran teknologi manufaktur.

Mesin CNC merupakan mesin perkakas yang pengoperasiannya dikendalikan oleh program komputer untuk mengatur pergerakan alat potong atau benda kerja secara otomatis sesuai dengan kode pemrograman yang telah ditentukan. Teknologi CNC memungkinkan proses permesinan dilakukan dengan tingkat presisi yang tinggi, konsistensi produk yang baik, serta efisiensi waktu produksi dibandingkan dengan mesin perkakas konvensional [6–9]. Salah satu jenis mesin CNC yang banyak digunakan dalam proses pemotongan material adalah mesin CNC router, yang mampu memproses

berbagai jenis bahan seperti kayu, komposit, aluminium, baja lunak, plastik, akrilik, dan busa dengan tingkat akurasi yang baik [10–12].

Pada umumnya, program CNC untuk mesin router dibuat menggunakan perangkat lunak CAD/CAM yang kemudian diterjemahkan menjadi kode pemrograman (*G-code*). Program tersebut selanjutnya dijalankan menggunakan perangkat lunak pengendali seperti Mach3, yang berfungsi mengubah perintah program menjadi sinyal kontrol untuk menggerakkan motor stepper pada setiap sumbu mesin sehingga menghasilkan gerakan sesuai dengan jalur pemotongan yang telah dirancang [13–15].

Mesin CNC router yang dikembangkan oleh Ependi dkk. [4] telah digunakan dalam kegiatan praktikum di Laboratorium Produksi dan CNC Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang selama dua tahun terakhir. Namun, dalam pengoperasiannya masih ditemukan beberapa permasalahan teknis. Sistem kontrol pada mesin tersebut sering mengalami kesalahan sehingga menyebabkan pergerakan motor stepper pada sumbu Y1 dan Y2 tidak sinkron. Kondisi ini menyebabkan pergerakan gantri menjadi tidak stabil dan berdampak pada penurunan kualitas hasil pemesinan. Selain itu, konstruksi gantri yang digunakan belum sepenuhnya sesuai dengan beban *head* yang harus ditopang sehingga berpotensi menimbulkan deformasi pada struktur mesin. Permasalahan lain yang ditemukan adalah perangkat lunak pengendali yang sering mengalami gangguan kompatibilitas dengan beberapa laptop, serta tidak tersedianya sistem *stopper* pada meja mesin sehingga menyulitkan operator dalam memposisikan benda kerja secara presisi terhadap sumbu X dan Y.

Berdasarkan permasalahan tersebut, penelitian ini bertujuan untuk melakukan pengembangan desain mesin CNC router skala laboratorium, khususnya pada sistem pencekaman benda kerja, desain meja mesin, serta struktur rangka pada sumbu Y. Pengembangan desain ini diharapkan dapat meningkatkan stabilitas struktur mesin, memperbaiki sistem kontrol pergerakan gantri, serta memudahkan proses penempatan benda kerja. Dengan demikian, mesin CNC router yang dikembangkan dapat mendukung kegiatan praktikum CNC secara lebih optimal pada Program Studi D4 Teknik Manufaktur Politeknik Negeri Ujung Pandang.

## II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Laboratorium CNC dan Bengkel Mekanik Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang. Bahan utama yang digunakan dalam pengembangan mesin CNC router meliputi aluminium profile, nylon sheet, motor stepper NEMA 23, spindle, serta power supply. Selain itu digunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360 untuk proses perancangan dan simulasi, serta perangkat lunak Mach3 sebagai sistem kontrol mesin CNC.

Metode penelitian yang digunakan meliputi beberapa tahapan, yaitu perancangan desain, pembuatan dan perakitan komponen, serta pengujian kinerja mesin.

Tahap pertama adalah perancangan konsep desain. Pada tahap ini dilakukan pemodelan komponen dan sistem mekanik mesin CNC router menggunakan perangkat lunak Autodesk Fusion 360. Proses perancangan meliputi pembuatan desain rangka mesin, gantri, meja kerja, serta sistem pencekaman benda kerja. Selain itu dilakukan simulasi untuk memastikan kesesuaian dimensi, posisi komponen, serta kemungkinan interferensi antar komponen sebelum proses fabrikasi dilakukan.

Tahap kedua adalah pembuatan dan perakitan komponen. Komponen-komponen yang telah dirancang kemudian diproduksi dan dirakit menjadi satu kesatuan sistem mesin CNC router. Proses perakitan meliputi pemasangan rangka utama, sistem gantri, motor stepper pada setiap sumbu, spindle, serta sistem kelistrikan seperti power supply, driver motor, dan sistem kontrol mesin.

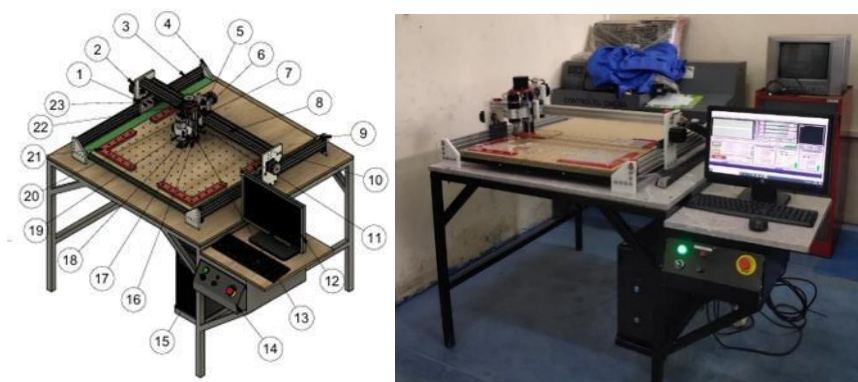
Tahap ketiga adalah pengujian dan kalibrasi mesin. Pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa seluruh komponen mekanik dan elektronik berfungsi dengan baik. Pengujian meliputi pemeriksaan fungsi motor stepper, spindle, serta tombol atau switch kontrol. Selanjutnya dilakukan proses kalibrasi pergerakan sumbu X, Y, dan Z dengan membandingkan jarak pergerakan yang diprogram pada perangkat lunak dengan gerakan aktual mesin. Pengujian ini bertujuan untuk

mengetahui tingkat akurasi gerakan mesin sehingga hasil pemesian yang dihasilkan sesuai dengan dimensi yang telah dirancang pada program CAD/CAM.

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pengembangan Mesin CNC Router

Adapun hasil pengembangan desain mesin CNC router adalah sebagai berikut:



Gambar1. Rancangan Desain dan Prototipe Mesin CNC Router

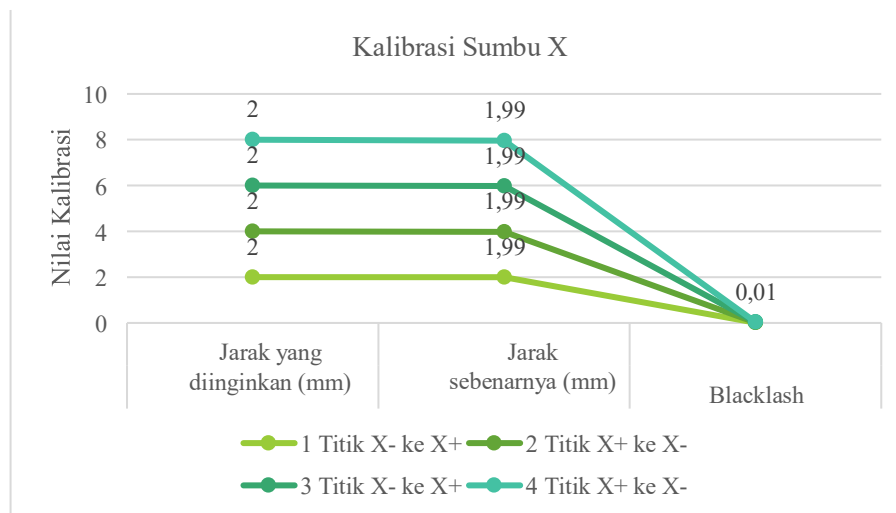
Berdasarkan gambar di atas mesin CNC 4 axis memiliki beberapa komponen utama sebagai berikut: 1) Box Controller; 2) Profil Aluminium Z; 3) Drag Chain; 4) Motor Stepper Nema 23; 5) Spindel; 6) Gantry Axis Z; 7) Profil Aluminium X; 8) Base Axis X; 9) Shaft Coupler; 10) Profil Aluminium Y; 11) Linear Shaft; 12) Limit Switch; 13) Bracket Axis Y; 14) Linear Block; 15) Base Axis Y; 16) Bed; 17) Leadscrew; 18) Bracket Spindel; 19) Pulley.

#### B. Hasil Pengujian Pergerakan Sumbu

Pengujian pergerakan sumbu perlu dilakukan untuk memastikan mesin bergerak sesuai dengan perintah yang diberikan, dengan memasukan perintah 2 mm pada axis X dan 5 mm pada axis Y dan Z. Data hasil pengujian kalibrasi pergerakan sumbu dapat dilihat pada Tabel 1 dan Gambar 1.

Tabel 1. Pengujian Sumbu X

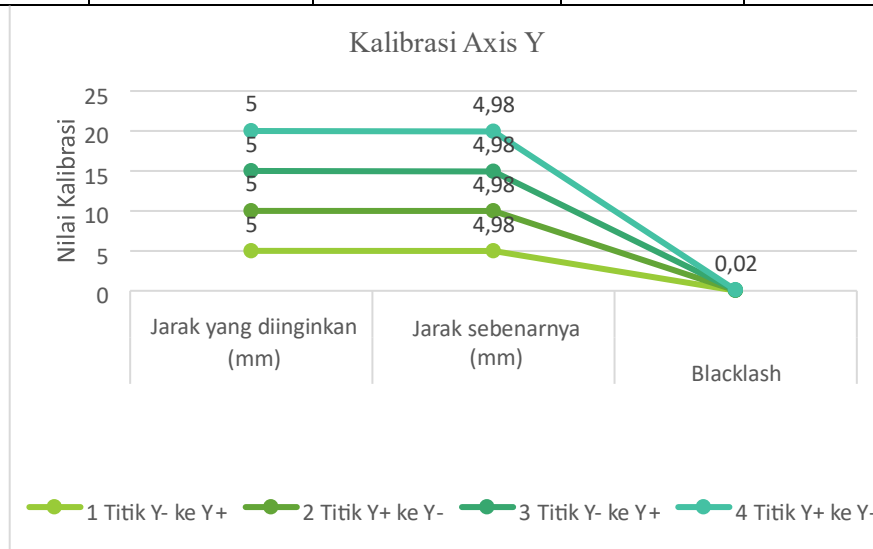
| No. | Eksperimen     | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | Penyimpangan (mm) |
|-----|----------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1.  | Titik X- ke X+ | 2.00                       | 1.99                  | 0.01              |
| 2.  | Titik X+ ke X- | 2.00                       | 1.99                  | 0.01              |
| 3.  | Titik X- ke X+ | 2.00                       | 1.99                  | 0.01              |
| 4.  | Titik X+ ke X- | 2.00                       | 1.99                  | 0.01              |



Gambar 2. Grafik Kalibrasi pada Sumbu X

Tabel 2. Pengujian Pergerakan Axis Y

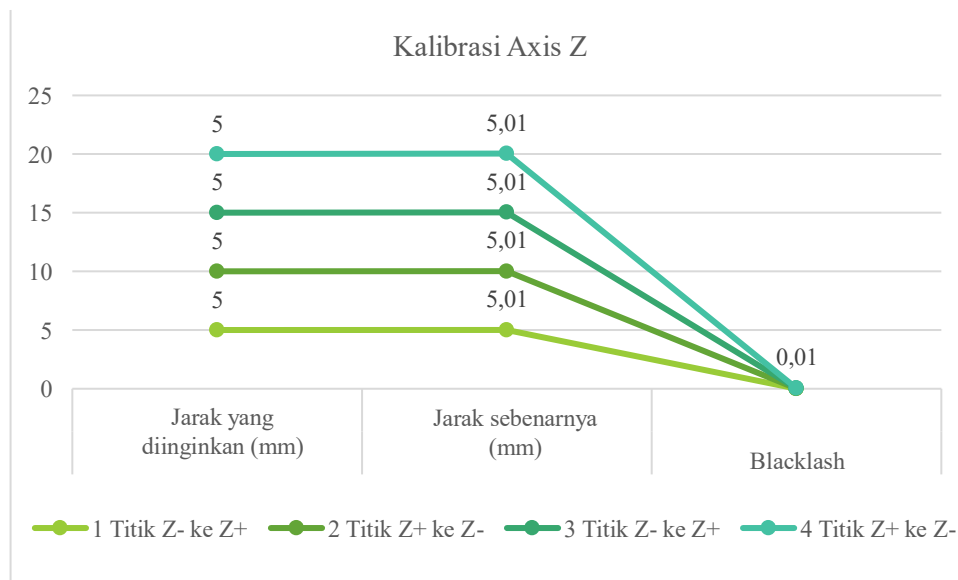
| No. | Eksperimen     | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | Penyimpangan (mm) |
|-----|----------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1.  | Titik Y- ke Y+ | 5.00                       | 4.98                  | 0.02              |
| 2.  | Titik Y+ ke Y- | 5.00                       | 4.98                  | 0.02              |
| 3.  | Titik Y- ke Y+ | 5.00                       | 4.98                  | 0.02              |
| 4.  | Titik Y+ ke Y- | 5.00                       | 4.98                  | 0.02              |



Gambar 3. Kalibrasi Pergerakan pada Sumbu Y

Tabel 3. Pergerakan Axis Z

| No. | Eksperimen     | Jarak yang diinginkan (mm) | Jarak sebenarnya (mm) | Penyimpangan (mm) |
|-----|----------------|----------------------------|-----------------------|-------------------|
| 1.  | Titik Z- ke Z+ | 5.00                       | 5.01                  | 0.01              |
| 2.  | Titik Z+ ke Z- | 5.00                       | 5.01                  | 0.01              |
| 3.  | Titik Z- ke Z+ | 5.00                       | 5.01                  | 0.01              |
| 4.  | Titik Z+ ke Z- | 5.00                       | 5.01                  | 0.01              |



Gambar 4. Pergerakan pada Sumbu Z

### C. Pengujian Pembuatan produk

Bahan yang digunakan pada pengujian ini adalah plastic akrilik ukuran 30x30x5 mm. Jenis pahat potong yang digunakan madalah jenis *edmill* 2 mm. Data hasil pengukuran produk mesin ini dapat dilihat pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil Pemotongan Bentuk Persegi Setelah Pengembangan

| No | Hasil Pemotongan                                                                    | Dimensi Desain (mm) | Dimensi Hasil (mm) | Penyimpangan (mm) | Waktu Pemotongan |
|----|-------------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 1  |  | 30.00 x 30.00       | 30.00 x 30.03      | 0.00 x 0.03       | 1 menit 31 detik |
| 2  |  | 30.00 x 30.00       | 30.00 x 30.04      | 0.00 x 0.04       | 1 menit 32 detik |
| 3  |  | 30.00 x 30.00       | 30.00 x 30.03      | 0.00 x 0.03       | 1 menit 53 detik |

Dari tabel di atas kemudian dicari persentase keberhasilan hasil pengukuran dengan menggunakan rumus berikut [2]:

$$\text{Persentase Keberhasilan} = \frac{\text{Dimensi Desain}}{\text{Dimensi Hasil}} \times 100\%$$

$$= \frac{30+30+30}{30,03+30,04+30,03} \times 100\% = 99,8 \%$$

Tabel 5. Hasil Pemotongan Bentuk Lingkaran Sebelum Pengembangan

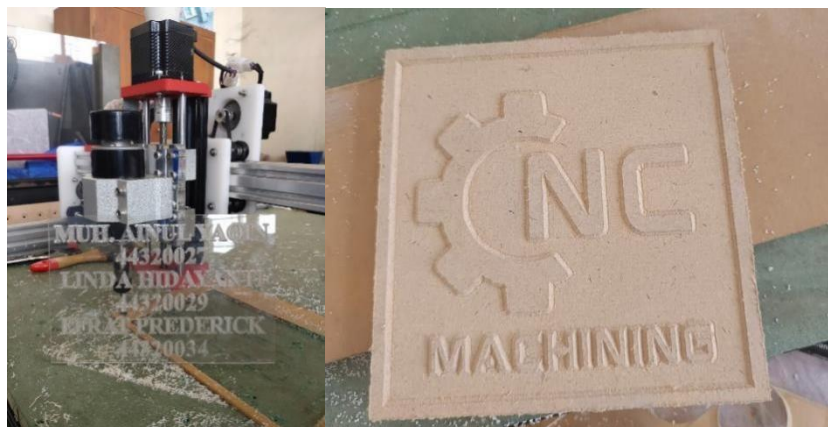
| No | Hasil Pemotongan                                                                  | Dimensi Desain (mm) | Dimensi Hasil (mm) | Penyimpangan (mm) | Waktu Pemotongan |
|----|-----------------------------------------------------------------------------------|---------------------|--------------------|-------------------|------------------|
| 1  |  | 29.00               | 29.02              | 0.02              | 1 menit 12 Detik |
| 2  |  | 29.00               | 28.99              | 0.02              | 1 Menit 12 detik |
| 3  |  | 29.00               | 29.03              | 0.03              | 1 Menit 13 detik |

Dari tabel di atas kemudian dihitung persentase keberhasilan hasil pengukuran dengan menggunakan persamaan berikut [2]:

$$\begin{aligned} \text{Persentase Keberhasilan} &= \frac{\text{Dimensi Desain}}{\text{Dimensi Hasil}} \times 100\% \\ &= \frac{29 + 29 + 29}{29,02 + 28,99 + 29,03} \times 100\% \\ &= 99,9\% \end{aligned}$$

#### D. Pengujian Mengukir

Pada pengujian mengukir dilakukan dengan menggunakan benda kerja akrilik yang berukuran 200 x 139 mm dan MDF yang berukuran 136 x 137 mm. Proses pengukiran dilakukan dengan menggunakan mata CNC tipe *V-Bits* berdiameter 12 dengan sudut kemiringan 90 derajat. Dengan kecepatan putaran *spindle* 12000rpm dan kecepatan pemakanan 8000mm/menit. Waktu yang digunakan untuk proses pengukiran adalah 33 menit 23 detik dengan kedalaman pemakanan 1 mm.



Gambar 4. Hasil Uji Pengukiran Benda Kerja Akrilik

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil pengembangan mesin CNC router, dapat disimpulkan sebagai berikut: 1) Pengembangan sistem kontrol pada mesin CNC router menggunakan mach3 telah berhasil. Sistem kontrol yang dirancang menggunakan motor stepper Nema 23 sebagai aktuator dan Mach3 sebagai software CNC. Sistem ini mampu mengendalikan pergerakan mesin CNC pada axis X, Y dan Z sesuai dengan program yang di input. 2) Penggunaan clamp pada CNC router memastikan bahwa benda kerja tidak bergerak atau bergeser yang dapat menyebabkan kesalahan dalam pemotongan atau pengukiran. 3) Dengan menggunakan stopper atau penempat benda kerja pada mesin CNC router, pemasangan benda kerja menjadi lebih mudah serta memungkinkan perbagantian benda kerja dengan cepat, sehingga dapat meningkatkan produktivitas.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] Pramono, G. E., Yuliaji, D., Waluyo, R., & Jaenal, J. (2015). Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM. *AME (Aplikasi Mekanika dan Energi): Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 1(1), 6-14.
- [2] Syahputra, H. R. (2024). *Analisis Efektivitas Mesin Cnc Punch & Drilling Scm Model Tpprd130 Pada Hall 3 Pt Ometraco Arya Samanta Menggunakan Metode Total Effective Equipment Performance (Teep)* (Doctoral Dissertation, Politeknik Perkapalan Negeri Surabaya).
- [3] Ir HR Abdul Haris, M. M. (2021). *Perencanaan & Pengembangan Sumber Daya Manusia Tinjauan Teoritis dan Praktik*. Zifatama Jawa.
- [4] Ependi, A., & Sumule, M. N. (2022). Pengembangan Desain Mesin CNC Router Sebagai Media Pembelajaran Untuk Skala Laboratorium. Tugas Akhir Program studi D4 Teknik Manufaktur. Jurusan Teknik Mesin. Makassar. Jurusan Teknik Mesin Politeknik Negeri Ujung Pandang.
- [5] Haq, M. M., & Maulina, R. (2023). *Pengembangan Desain Konstruksi Mesin CNC Hot Wire Untuk Foam* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri ujung Pandang).
- [6] Malik, I., Riyadi, S., Mesin, J. T., Studi, P., Mesin, T., Sriwijaya, P. N., Srijaya, J., & Bukit, N. (2019). *Pengaruh Spindle Speed , Feed Rate Dan Depth Of Cut Terhadap Akurasi Hasil Permesinan*. 11(2).
- [7] Pratama, A. B., Wijayanto, H. L., & Wirakusuma, K. W. (2023). Modifikasi Struktur Rangka Dan Bahan Computer Numerically Controlled (Cnc) Router Mini 3 Axis: Indonesia. *Sinerji Polmed: Jurnal Ilmiah Teknik Mesin*, 4(2), 79-86.
- [8] Intan, P. (2024). Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (Cnc) Laser Cutter 3 Axis Menggunakan Breakout Board Usb Mach3 Dan Motor Stepper Nema 23.
- [9] Sunarto, S., Tjahjono, B., Hartono, H., Carli, C., Wattimena, R. M., Sai'in, A., ... & Saputra, E. (2023). Pengaruh Kecepatan Potong Mesin CNC Laser Cutting terhadap Akurasi Potong untuk Efisiensi Proses Blanking. *Jurnal Rekayasa Mesin*, 18(3), 453-462.
- [10] Salam, A., Iswar, M., Rifaldi, M., Malik, S., & Putra, K. (2019, Desember). Rancang Bangun Mesin CNC Router Mini Untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. Dalam Seminar Nasional Hasil Penelitian & Pengabdian Kepada Masyarakat (SNP2M) (Vol. 4, No. 1, pp. 84-90).
- [11] Amapel, O. (2023). Rancang Bangun Mesin Computer Numerical Control (CNC) Router 4 Axis Menggunakan Board Usb Mach 3 Dan Motor Stepper Nema-23 Dengan Aplikasi Mach 3.
- [12] Abdul, S., Syaharuddin, R., Fadly, F., Resa, F., & Muhajirin, M. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Laser Cutting Untuk Pembelajaran Mahasiswa Jurusan Teknik Mesin. *Sinerji*, 18(1).
- [13] Juniantoro, G. B. (2016). Analisis Toolpath Variasi Zig Zag Dan Spiral Mesin Cnc Router Terhadap Benda Kerja Berbahan Acrylic. *Puikblasi Ilmiah*, 1-15.
- [14] SITORUS, E. H. (2023). Analisa Kekasaran Permukaan Alumenium Alloys 6061 Pada Proses Pemotongan Dengan Cnc (Computer Numerik Control).
- [15] ZAENAL AJISIR, M. S. (2020). *Analisa Kekuatan Tekan Sumbu A Dan B Pada Mesin Cnc 5 Axis Router Dengan Bahan Material Aluminium Type 6061* (Doctoral Dissertation, Universitas Pancasakti Tegal).