

Rancang Bangun Mesin CNC 4 Axis Sebagai Media Pembelajaran

**Muas M^{1*}, Abdul Salam², Ahmad Taufiq Umar³, Lutris Kabangnga⁴,
Muhammad Nur Ichsan Mustafa⁵**

^{1,2,3,4,5)}Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia
*E-mail korespondensi: muas@poliupg.ac.id

Abstract: This research aims to design and develop a 4-axis CNC machine as a learning medium, with a maximum deviation of ± 0.1 mm. The 4-axis CNC machine features three main axes (X, Y, Z) and an additional axis (A) that allows rotational movement, enabling the processing of materials from various angles and producing more complex shapes compared to a 3-axis CNC machine. The research was conducted through several stages, including literature review, design, manufacturing, assembly, testing, and data analysis of test results. The materials used for testing were wood and Teflon, with results indicating that the 4-axis CNC machine could produce products with the desired precision. The control system used was LinuxCNC, which provides high flexibility in machine operation. The test results showed that the 4-axis CNC machine could operate smoothly on all axes (X, Y, Z, and A), corresponding to the programmed movements. This machine has the potential to be effectively used as a learning medium in educational settings.

Keywords: CNC 4 Axis; Learning Medium; X, Y, Z, and A Axes; Wood Material; Teflon Material.

Abstrak: Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun mesin CNC 4 axis sebagai media pembelajaran dengan penyimpangan maksimal sebesar $\pm 0,1$ mm. Mesin CNC 4 axis memiliki tiga sumbu utama (X, Y, Z) serta sumbu tambahan (A) yang memungkinkan gerakan berputar, sehingga dapat memproses bahan dari berbagai sudut dan menghasilkan bentuk yang lebih kompleks dibandingkan dengan mesin CNC 3 axis. Penelitian ini dilakukan melalui beberapa tahapan, yaitu studi literatur, perancangan, pembuatan, perakitan, pengujian, dan analisis data hasil pengujian. Material yang digunakan dalam pengujian adalah kayu dan teflon, dengan hasil menunjukkan bahwa mesin CNC 4 axis dapat menghasilkan produk dengan presisi yang diharapkan. Sistem kontrol yang digunakan adalah LinuxCNC, yang memberikan fleksibilitas tinggi dalam pengoperasian mesin. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin CNC 4 axis ini mampu beroperasi dengan baik pada semua sumbu, yaitu X, Y, Z, dan A, sesuai dengan gerakan yang diinput dalam program. Mesin ini memiliki potensi untuk digunakan secara efektif sebagai media pembelajaran di lingkungan pendidikan.

Kata kunci : CNC 4 Axis; Media Pembelajaran; Sumbu X, Y, Z, dan A; Material Kayu; Material Teflon.

I. PENDAHULUAN

Penggunaan mesin Computer Numerically Controlled (CNC) sebagai mesin perkakas modern semakin meluas, tidak hanya dalam industri manufaktur, tetapi juga dalam dunia pendidikan, seperti di Politeknik Negeri Ujung Pandang, khususnya di Jurusan Teknik Mesin. CNC 4 axis menawarkan kemampuan lebih dibandingkan dengan CNC 3 axis karena memiliki sumbu tambahan (A-axis), yang memungkinkan benda kerja diproses dari berbagai sudut, sehingga dapat menghasilkan bentuk yang lebih kompleks [1]. Namun, mesin CNC 4 axis yang ada saat ini di jurusan tersebut belum optimal dan sering mengalami kendala dalam kalibrasi serta pemrograman, yang menghambat penggunaannya sebagai media pembelajaran.

Beberapa penelitian sebelumnya telah menunjukkan manfaat dan efisiensi penggunaan mesin CNC 4 axis dalam industri manufaktur. Penelitian [2] meneliti bahwa mesin CNC dengan meja putar mampu meningkatkan presisi dan mengurangi biaya produksi dibandingkan dengan penggunaan mesin konvensional. Pada [3] menyebutkan bahwa dengan penerapan sistem kontrol berbasis komputer, seperti LinuxCNC, kemampuan mesin untuk melakukan operasi yang presisi meningkat secara signifikan. Penelitian lain [4] juga menunjukkan bahwa CNC 4 axis sangat berguna dalam memproduksi komponen dengan geometri yang rumit, terutama dalam industri otomotif dan aerospace.

Teori yang mendukung penelitian ini adalah konsep dasar CNC yang memungkinkan pengendalian posisi secara numerik melalui komputer, dengan tujuan utama menghasilkan produk yang memiliki tingkat presisi tinggi [5]. Dalam mesin CNC 4 axis, tambahan sumbu putar memberikan fleksibilitas

lebih dalam proses pemesinan, memungkinkan berbagai jenis bentuk dan ukuran benda kerja yang tidak dapat dihasilkan oleh mesin CNC 3 axis. Dengan demikian, penelitian ini berfokus pada perancangan dan pembangunan mesin CNC 4 axis yang lebih terjangkau dan mudah diprogram, serta dapat digunakan sebagai media pembelajaran di Politeknik Negeri Ujung Pandang.

II. METODE PENELITIAN

Penelitian ini dilaksanakan di Bengkel Mekanik dan Laboratorium CNC Politeknik Negeri Ujung Pandang. Waktu pelaksanaan penelitian berlangsung dari Februari hingga Juli 2024. Adapun tahapan penelitian meliputi studi literatur, perancangan, pembuatan komponen, perakitan, dan pengujian. Setiap tahapan penelitian bertujuan untuk memastikan keberhasilan dalam merancang dan membangun mesin CNC 4 axis sebagai media pembelajaran. Selengkapnya dapat dilihat pada tabel 1 di bawah ini.

Tabel 1. Tahapan dan deskripsi kegiatan penelitian

Tahap Penelitian	Deskripsi Kegiatan	Waktu Pelaksanaan
Studi Literatur	Pengumpulan data dan informasi terkait mesin CNC 4 axis, termasuk teori pendukung dan penelitian terdahulu.	Februari 2024
Perancangan Mesin	Perancangan menggunakan software Fusion 360 dan LinuxCNC, termasuk perhitungan torsi dan daya motor, serta pembuatan gambar desain.	Maret 2024
Pembuatan Komponen	Pembuatan komponen seperti rangka, motor stepper, spindle, dan komponen elektrik lainnya melalui proses manufaktur.	April 2024
Perakitan	Merakit komponen yang telah dibuat menjadi satu kesatuan mesin CNC 4 axis sesuai dengan desain.	Mei 2024
Pengujian dan Analisis	Pengujian mesin untuk memastikan kesesuaian antara hasil yang diinginkan dengan gerakan sumbu X, Y, Z, dan A serta analisis biaya produksi.	Juni 2024

III. HASIL DAN PEMBAHASAN

A. Hasil Penelitian

Penelitian ini menghasilkan sebuah mesin CNC 4 axis yang dapat digunakan sebagai media pembelajaran. Mesin ini telah diuji menggunakan material kayu dan teflon untuk memastikan presisi hasil produksi. Hasil uji ini meliputi pengujian dimensi benda kerja, pengujian presisi sumbu, serta analisis biaya produksi. Berikut adalah spesifikasi dari mesin CNC 4 axis yang dihasilkan:

Tabel 1. Spesifikasi Mesin CNC 4 Axis

No	Uraian	Spesifikasi
1	Dimensi Mesin	500 x 500 x 370 mm
2	Putaran Spindel	0 – 3300 Rpm
3	Daya Spindel	12 V – 24 V
4	Sistem Kontrol	Linux CNC

B. Pengujian Dimensi Benda Kerja

Pengujian dilakukan pada dua jenis material, yaitu kayu dan teflon, dengan menggunakan program NC yang diinput ke dalam sistem LinuxCNC. Pengujian ini bertujuan untuk memverifikasi kesesuaian antara dimensi yang dihasilkan oleh mesin dengan dimensi yang telah dirancang.

Tabel 2. Hasil Uji Benda Kerja Kayu

No	Proses Pengujian	Penyimpangan (mm)
1	Uji 1 benda kerja kayu	0,3
2	Uji 2 benda kerja kayu	0,3
3	Uji 3 benda kerja kayu	0,1
	Rata-rata	0,23

Presentase keberhasilan pengujian benda kerja kayu mencapai 98,7%, dengan penyimpangan terbesar terjadi pada dimensi kedalaman sebesar 0,23 mm.

Tabel 3. Hasil Uji Benda Kerja Teflon

No	Proses Pengujian	Penyimpangan (mm)
1	Uji 1 benda kerja teflon	0,5
2	Uji 2 benda kerja teflon	0,1
3	Uji 3 benda kerja teflon	0,3
	Rata-rata	0,3

Presentase keberhasilan pengujian benda kerja kayu mencapai 98,3%, dengan penyimpangan terbesar terjadi pada dimensi kedalaman sebesar 0,3 mm.

C. Pengujian Presisi Sumbu

Pengujian presisi sumbu dilakukan untuk memastikan bahwa gerakan mesin CNC pada sumbu X, Y, Z, dan A sesuai dengan gerakan yang diinputkan melalui program. Hasil pengujian menunjukkan bahwa mesin CNC 4 axis ini mampu bergerak dengan presisi yang baik pada semua sumbu.

Tabel 3. Hasil Pengujian Presisi Sumbu X, Y, Z, dan A

No	Pergerakan Sumbu	Jarak Target (mm)	Jarak Hasil (mm)	Backlash (mm)
1	Titik X- ke X+	1,00	0,97	0,03
2	Titik X+ ke X1	1,00	0,97	0,03
3	Titik Y- ke Y+	1,00	1,00	0
4	Titik Y+ ke Y-	1,00	1,00	0
5	Titik Z- ke Z+	1,00	0,99	0,01
6	Titik Z+ ke Z-	1,00	0,99	0,01
7	Titik A- ke A+	1 ⁰	1 ⁰	0
8	Titik A+ ke A-	1 ⁰	1 ⁰	0

Hasil pengujian menunjukkan bahwa pada sumbu X terdapat penyimpangan sebesar 0,03 mm, sedangkan sumbu Y, Z, dan A memiliki penyimpangan yang sangat kecil atau tidak ada.

D. Analisis Biaya Produksi

Selain hasil uji fungsionalitas, penelitian ini juga menganalisis biaya produksi mesin CNC 4 axis. Total biaya pembuatan mesin ini sebesar Rp 10.193.120,25, yang mencakup biaya bahan baku, tenaga kerja, serta biaya listrik dan penyusutan mesin.

Tabel 4. Biaya Produksi Mesin CNC 4 Axis

No	Item Biaya Produksi	Harga (Rp)
1	Biaya bahan baku	5.873.000
2	Biaya tenaga kerja	3.470.760
3	Biaya bahan tidak langsung	445.000
4	Biaya listrik	317.834
5	Biaya penyusutan mesin	86.526,25
	Total	10.193.120,25

Biaya ini lebih rendah dibandingkan dengan harga pasaran mesin CNC 4 axis yang sejenis, sehingga mesin ini dinilai layak untuk digunakan sebagai media pembelajaran.

E. Pembahasan

Mesin CNC 4 axis yang telah dirancang dalam penelitian ini menunjukkan kemampuan yang baik dalam melakukan pemolesan pada material kayu dan teflon. Pengujian yang dilakukan pada axis X, Y, Z, dan A menunjukkan bahwa mesin mampu melakukan gerakan yang sesuai dengan program yang diinput ke dalam sistem LinuxCNC, dengan penyimpangan yang sangat kecil. Pengujian dimensi benda kerja juga menunjukkan tingkat akurasi yang tinggi, dengan penyimpangan maksimum $\pm 0,1$ mm.

Selain itu, beberapa kendala muncul pada tahap perakitan dan pengujian mesin. Salah satu kendala utama adalah ketidaksinkronan antara keempat sumbu (X, Y, Z, dan A). Masalah ini menyebabkan gerakan setiap sumbu tidak berjalan serempak, sehingga hasil benda kerja menjadi tidak akurat. Ketidaksinkronan ini terjadi karena adanya perbedaan kecepatan pada motor stepper di masing-masing sumbu.

Untuk mengatasi masalah ini, dilakukan penyesuaian pada parameter konfigurasi di dalam sistem LinuxCNC. Pengaturan ulang dilakukan pada kecepatan (velocity) dan percepatan (acceleration) masing-masing sumbu untuk memastikan bahwa semua sumbu bergerak dengan kecepatan yang sama dan sinkron satu sama lain. Proses ini melibatkan beberapa kali uji coba hingga akhirnya ditemukan pengaturan yang tepat untuk menjaga sinkronisasi keempat sumbu.

Selain itu, pemrograman tambahan juga diterapkan untuk mengatur ulang timing atau waktu mulai setiap sumbu, sehingga gerakan pada semua sumbu dimulai pada saat yang bersamaan. Dengan penerapan penyesuaian ini, ketidaksinkronan sumbu dapat diatasi, dan mesin CNC 4 axis berhasil menghasilkan produk yang sesuai dengan desain awal.

Kendala lainnya terjadi pada saat kalibrasi mesin, khususnya dalam hal penyesuaian posisi nol (home) untuk sumbu X, Y, Z, dan A. Proses kalibrasi memerlukan beberapa kali uji coba hingga mesin dapat kembali ke posisi nol dengan konsisten setelah setiap operasi. Masalah ini diatasi dengan menambahkan sensor posisi pada setiap sumbu, yang memastikan bahwa setiap kali mesin kembali ke posisi nol, akurasinya tetap terjaga.

Dalam hal pengujian material, kendala lain yang muncul adalah penyesuaian kecepatan putar spindel dan kecepatan pemakanan material, terutama ketika memproses material teflon. Pada awalnya, kecepatan spindel terlalu tinggi untuk material teflon, sehingga menyebabkan overcutting dan menurunkan kualitas hasil. Untuk mengatasi masalah ini, kecepatan spindel dan pemakanan disesuaikan secara bertahap hingga ditemukan kombinasi yang tepat untuk menghasilkan permukaan yang halus dan presisi.

Meskipun terdapat kendala-kendala tersebut, semua masalah dapat diatasi melalui proses penyesuaian teknis dan kalibrasi ulang. Hasil akhirnya adalah mesin CNC 4 axis yang mampu berfungsi dengan baik, memenuhi standar akurasi yang diharapkan, dan siap digunakan sebagai media pembelajaran di lingkungan pendidikan.

IV. KESIMPULAN

Adapun hasil penelitian yang telah dilakukan, diperoleh kesimpulan sebagai berikut:

1. Desain dan sistem mekanik mesin CNC 4 Axis telah dirancang sesuai dengan sistem controller linux cnc sehingga mesin dapat beroperasi sesuai dengan fungsinya. Dalam hal ini mesin CNC 4 Axis telah dapat mengeksekusi benda kerja yang terbuat dari kayu dan materil teflon sheet dengan menggunakan perintah program NC.
2. Total biaya manufaktur yang diperlukan untuk pembuatan 1 (satu) unit mesin CNC 4 Axis yaitu Rp. 10.193.120,25 sehingga harga ini dapat mereduksi biaya mesin sejenis yang ada di pasaran.

DAFTAR PUSTAKA

- [1] T. Firdaus, M. Tadjuddin, and H. A. Farmansyah, “Development of CNC 4-Axis by Modifying Milling Machine EMCO TU 3-Axis,” in *Proc. SNTTM XVI*, Surabaya, Indonesia, 2017.
- [2] H. Hafid and T. Sutisna, “Perancangan dan Pembuatan Alat Bantu Meja Putar untuk Mesin CNC 4 Axis,” *J. Riset Teknologi Industri*, pp. 162–171, 2016.
- [3] M. Rifaldi *et al.*, “Rancang Bangun CNC Mini Router 3 Axis untuk Keperluan Praktikum CAD/CAM,” Tugas Akhir Program D4 Teknik Manufaktur, Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar, Indonesia, 2019.
- [4] M. Muslih, M. A. Shidiq, and R. Hidayat, “Rancang Bangun Mesin CNC Milling 5 Axis Tipe 5570 Berbasis Software Mach3,” 2020.
- [6] A. Salam, *Pemrograman Dasar NC*. Makassar, Indonesia: Deepublish, 2014.