

## CNC Plotter Core XY Tipe H-Bot Sebagai Alat Drawing Dengan Akurasi Tinggi

Muas M<sup>1\*</sup>, Abdul Salam<sup>2</sup>, Ariel Fair<sup>3</sup>, Farhan Alim Tammah<sup>4</sup> dan Muh. Zhulfiadi Rahman<sup>5</sup>

<sup>1,2,3,4,5</sup> Jurusan Teknik Mesin, Politeknik Negeri Ujung Pandang, Makassar 90245, Indonesia  
\*E-mail korespondensi: muas@poliupg.ac.id

**Abstract:** The rapid development of manufacturing and creative industries requires high-precision and efficient digital fabrication tools. One of the technologies widely used to support automated drawing and prototyping processes is the Computer Numerical Control (CNC) plotter. However, conventional CNC plotters often experience limitations related to motion stability, positioning accuracy, and repeatability due to the inertia of the gantry mechanism. This research aims to design and develop a CNC plotter based on the Core XY H-Bot mechanism to improve motion stability and drawing accuracy. The system was designed using a belt-driven Core XY H-Bot configuration with two NEMA 17 stepper motors controlled by an Arduino Uno and CNC Shield using modified GRBL firmware. The mechanical structure utilizes stainless steel shafts, GT2 timing belts, and 3D printed components. Experimental testing was conducted to evaluate system accuracy and repeatability by comparing programmed G-code commands with the actual movement of the drawing tool. The results show that the developed CNC plotter achieved an accuracy level of 99.04%, with a repeatability deviation of 0.219 mm and an optimal feed rate of 800 mm/min. These results indicate that the Core XY H-Bot mechanism provides stable motion and sufficient precision for drawing applications and educational purposes. The proposed system offers a cost-effective and efficient solution for developing high-precision CNC plotter systems.

**Keywords:** CNC Plotter, Core XY, H-Bot, Accuracy, Repeatability

**Abstrak:** Perkembangan teknologi manufaktur dan industri kreatif menuntut penggunaan peralatan fabrikasi digital yang memiliki tingkat presisi dan efisiensi tinggi. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mendukung proses drawing otomatis dan prototyping adalah Computer Numerical Control (CNC) plotter. Namun, CNC plotter konvensional masih menghadapi keterbatasan dalam hal stabilitas gerak, akurasi posisi, dan repeatability akibat pengaruh inersia pada mekanisme gantry. Penelitian ini bertujuan untuk merancang dan mengembangkan CNC plotter berbasis mekanisme Core XY tipe H-Bot guna meningkatkan stabilitas gerakan dan akurasi proses drawing. Sistem dirancang menggunakan konfigurasi transmisi sabuk Core XY H-Bot yang digerakkan oleh dua motor stepper NEMA 17 dengan kontrol berbasis Arduino Uno dan CNC Shield menggunakan firmware GRBL yang dimodifikasi. Struktur mekanik menggunakan shaft stainless steel, sabuk GT2, serta komponen hasil cetak 3D. Pengujian dilakukan secara eksperimen dengan membandingkan perintah gerakan pada G-code terhadap pergerakan aktual alat drawing untuk mengevaluasi akurasi dan repeatability sistem. Hasil pengujian menunjukkan bahwa CNC plotter yang dikembangkan memiliki tingkat akurasi sebesar 99,04%, dengan penyimpangan repeatability sebesar 0,219 mm, serta kecepatan pemakanan optimal sebesar 800 mm/menit. Hasil tersebut menunjukkan bahwa mekanisme Core XY tipe H-Bot mampu memberikan stabilitas gerakan dan presisi yang baik sehingga layak digunakan untuk aplikasi drawing presisi maupun media pembelajaran teknologi CNC.

**Kata Kunci :** CNC Plotter, Core XY, H-Bot, Akurasi, Repeatability

### I. PENDAHULUAN

Perkembangan teknologi manufaktur modern mendorong peningkatan efisiensi, presisi, dan kualitas produk dalam berbagai sektor industri, termasuk industri kreatif, pendidikan, dan manufaktur ringan. Salah satu teknologi yang banyak digunakan untuk mendukung proses produksi berbasis digital adalah mesin Computer Numerical Control (CNC). Teknologi CNC memungkinkan proses produksi dilakukan secara otomatis melalui instruksi program komputer sehingga mampu menghasilkan produk dengan tingkat akurasi, konsistensi, dan repeatability yang tinggi dibandingkan dengan metode konvensional [1].

CNC plotter merupakan salah satu aplikasi dari teknologi CNC yang digunakan untuk proses drawing, engraving ringan, serta pemotongan material tipis dengan tingkat presisi yang tinggi. Mesin

ini banyak digunakan pada industri desain grafis, prototyping, serta bidang pendidikan teknik. Namun demikian, pengembangan CNC plotter masih menghadapi berbagai tantangan teknis, terutama yang berkaitan dengan akurasi gerakan, stabilitas sistem mekanik, serta efisiensi pergerakan pada sumbu koordinat [2], [3].

Pada sistem CNC konvensional, mekanisme gantry sering digunakan untuk menggerakkan kepala alat pada bidang kerja dua dimensi. Meskipun sistem ini relatif sederhana dan mudah diimplementasikan, mekanisme gantry memiliki kelemahan berupa massa bergerak yang cukup besar sehingga dapat menimbulkan inersia dan getaran saat mesin beroperasi pada kecepatan tinggi. Kondisi tersebut dapat menyebabkan terjadinya kesalahan posisi (*positioning error*), penurunan akurasi, serta berkurangnya kualitas hasil *drawing* atau *plotting* [4].

Untuk mengatasi permasalahan tersebut, berbagai penelitian telah mengembangkan sistem kinematika alternatif yang lebih efisien, salah satunya adalah mekanisme Core XY dan H-Bot. Mekanisme Core XY merupakan sistem transmisi gerak berbasis sabuk (*belt-driven system*) yang menggunakan dua motor penggerak untuk mengontrol pergerakan sumbu X dan Y secara simultan. Sistem ini memiliki keunggulan dalam mengurangi massa komponen yang bergerak sehingga mampu meningkatkan kecepatan dan akurasi pergerakan [5], [6].

Di sisi lain, mekanisme H-Bot menawarkan konfigurasi mekanik yang lebih sederhana dengan penggunaan satu sistem sabuk kontinu yang menghubungkan dua motor penggerak. Mekanisme ini memungkinkan distribusi gaya yang lebih merata pada sistem transmisi sehingga dapat meningkatkan stabilitas gerakan serta mengurangi potensi terjadinya *backlash* dan defleksi struktural pada sistem mekanik [7].

Penggabungan konsep mekanisme Core XY dan H-Bot dalam sistem CNC plotter memberikan peluang untuk memperoleh sistem gerak yang lebih stabil, presisi, dan efisien. Selain itu, konfigurasi ini juga berpotensi meningkatkan kinerja mesin dalam hal akurasi posisi, *repeatability*, serta optimalisasi *feed rate* selama proses operasi. Dengan desain mekanik yang tepat serta integrasi sistem kontrol yang baik, CNC plotter berbasis mekanisme ini dapat menjadi solusi yang efektif untuk aplikasi *drawing* dengan tingkat akurasi tinggi [8].

Meskipun berbagai penelitian telah membahas sistem Core XY maupun H-Bot secara terpisah, kajian yang mengintegrasikan kedua mekanisme tersebut dalam pengembangan CNC plotter masih relatif terbatas. Selain itu, sebagian besar penelitian sebelumnya lebih menitikberatkan pada aspek mekanik atau sistem kontrol secara terpisah tanpa melakukan analisis kinerja secara terintegrasi antara sistem mekanik, elektronik, dan perangkat lunak [9].

Berdasarkan kondisi tersebut, penelitian ini bertujuan untuk merancang dan membangun CNC plotter berbasis mekanisme Core XY tipe H-Bot sebagai alat *drawing* dengan akurasi tinggi. Penelitian ini juga melakukan analisis terhadap performa sistem yang meliputi akurasi pergerakan, *repeatability*, serta optimasi parameter *feed rate*. Hasil penelitian ini diharapkan dapat memberikan kontribusi dalam pengembangan teknologi CNC plotter yang lebih presisi, efisien, serta ekonomis untuk berbagai aplikasi industri maupun penelitian akademik [10].

## II. METODE PENELITIAN

### A. Lokasi dan Waktu Penelitian

Pembuatan CNC plotter Core XY tipe H-BOT dilaksanakan di Politeknik Negeri Ujung Pandang pada Maret–Agustus 2025, mencakup tahap desain, pengadaan, perakitan, pengujian, dan pelaporan.

### B. Alat dan Bahan

Alat dan bahan yang digunakan dalam proses pembuatan CNC *Plotter* sebagai berikut:

Tabel 1. Alat dan Bahan

Alat	Bahan
Bor tangan	Stainless steel shaft 8 mm
Obeng	Motor Stepper NEMA 17 1A
Tang	Kabel USB
Volt Meter	Pulley GT2 20T 6 mm
Amplas	Belt 6 mm
Mistar	Stepper Driver A4988
Ketam Listrik	Power Supply
Gerinda Tangan	Sekrup
3D Printer	Akrilik
Obeng Set	Triplek
	Spring
	Cat Semprot
	Bearing LM UU 8 mm
	Bearing LM UU 6 mm
	Shaft 6 mm
	Cable Tray
	Pena

### III. HASIL DAN PEMBAHASAN

#### A. Hasil Pembuatan Alat CNC Plotter Core XY Tipe H-BOT



Gambar 2. CNC Plotter Core XY

Struktur mekanik CNC Plotter dirancang menggunakan shaft stainless steel berdiameter 6 mm dan 8 mm, komponen hasil cetak 3D, serta sistem sabuk GT2 dalam konfigurasi H-BOT Core XY. Pergerakan pena dikendalikan oleh dua motor stepper NEMA 17 yang diposisikan pada satu sisi, dengan kontrol berbasis Arduino Uno dan CNC Shield menggunakan firmware GRBL yang dimodifikasi untuk mekanisme Core XY.

Tabel 2. Spesifikasi Alat

Komponen	Spesifikasi
Mekanisme gerak	Core XY tipe H-BOT dengan sabuk GT2
Motor Penggerak	Motor Stepper NEMA 17
Rangka dan Struktur	Shaft stainless steel Ø 6 mm & Ø 8 mm, komponen cetak 3D
Sistem Kontrol	Arduino Uno + CNC Shield
Firmware	GRBL (dimodifikasi untuk Core XY)
Area Kerja	Power Supply 12V DC, 5A
Sumber Daya	Power Supply 12V DC, 5A
Perangkat Lunak	Universal G-code Sender (UGS) atau software sejenis
Media Output	Pena atau Spidol

**B. Hasil Accuracy Test CNC Plotter**

Penelitian ini menggunakan metode eksperimen kuantitatif untuk mengukur akurasi gerak CNC Plotter Core XY. Pengujian dilakukan dengan membandingkan jarak perintah G-code dan jarak aktual pergerakan pena, menggunakan perhitungan error pada sumbu X dan Y serta total error terhadap target distance.

Tabel 3. Hasil Accuracy Test

Parameter	Nilai	Satuan
Rata-rata Error Total	0.68	mm
Standar Deviasi	0.3	mm
Error Minimum	0.22	mm
Error Maksimum	1.03	mm
Rata-rata Persentase Error	0.96	%
Akurasi Sistem	99.04	%

Sistem CNC Plotter prototipe menunjukkan tingkat akurasi sebesar 99,04%, yang tergolong sangat baik dan memenuhi standar industri untuk aplikasi precision drawing. Meskipun demikian, masih terdapat error sebesar 0,96% yang berpotensi dipengaruhi oleh faktor mekanis maupun kontrol, seperti backlash, defleksi struktural, ekspansi termal, atau noise sistem. Pada aplikasi presisi tinggi, error tersebut tetap signifikan karena dapat memengaruhi kualitas detail halus dan geometri kompleks.

**C. Hasil Repeatability Test CNC Plotter**

Repeatability test pada CNC plotter bertujuan mengukur konsistensi hasil penggambaran pola yang sama dalam kondisi identik. Berbeda dengan akurasi yang menilai kedekatan terhadap target, repeatability menekankan konsistensi. Perhitungan error dilakukan pada sumbu X dan Y, kemudian diturunkan menjadi total error, target distance, dan persentase error.

Tabel 4. Hasil Repeatability Test

No	Target Ø (mm)	Hasil Ukur Ø, xi (mm)	Deviasi dari Target (mm)	$xi - \bar{x}$ (mm)	$(xi - \bar{x})^2$ (mm)
1	40	39.8	-0.2	-0.0111	0.000123
2	40	39.9	-0.1	0.0889	0.007901
3	40	39.8	-0.2	-0.0111	0.000123
4	40	39.7	-0.3	-0.1111	0.012346
5	40	39.9	-0.1	0.0889	0.007901
6	40	39.9	-0.1	0.0889	0.007901
7	40	39.7	-0.3	-0.1111	0.012346
8	40	39.8	-0.2	-0.0111	0.000123
9	40	39.8	-0.2	-0.0111	0.000123

Standar deviasi sebesar 0,30 mm menunjukkan tingkat konsistensi yang cukup baik pada repeatability sistem CNC Plotter dengan mekanisme Core XY H-Bot. Nilai ini mengindikasikan bahwa variasi posisi aktual tidak melebihi  $\pm 0,30$  mm dari rata-rata, meskipun masih terdapat ruang untuk peningkatan kinerja. Variasi tersebut dapat dipengaruhi oleh faktor mekanis, sistem kontrol, maupun kondisi lingkungan, seperti backlash pada belt, resolusi encoder, algoritma kontrol, getaran eksternal, serta perubahan suhu.

#### IV. KESIMPULAN

Berdasarkan hasil perancangan, pembuatan, dan pengujian CNC Plotter Core XY tipe H-BOT, dapat disimpulkan bahwa:

1. CNC Plotter berbasis mekanisme Core XY tipe H-BOT berhasil dirancang dan dibangun menggunakan sistem kontrol Arduino Uno dan CNC Shield dengan firmware GRBL yang dimodifikasi, serta komponen mekanik berupa shaft stainless steel, sabuk GT2, dan motor stepper NEMA 17.
2. Hasil pengujian accuracy test menunjukkan bahwa sistem CNC Plotter memiliki tingkat akurasi sebesar 99,04% dengan rata-rata error sebesar 0,68 mm dan persentase error sebesar 0,96%, yang menunjukkan performa sistem cukup baik untuk aplikasi precision drawing.
3. Hasil repeatability test menunjukkan standar deviasi sebesar 0,30 mm, yang mengindikasikan bahwa sistem memiliki konsistensi gerakan yang cukup stabil pada pengulangan proses drawing.
4. Parameter operasi yang memberikan performa optimal pada sistem adalah feed rate sebesar 800 mm/menit, yang mampu menghasilkan gerakan stabil tanpa menyebabkan peningkatan error yang signifikan.
5. Secara keseluruhan, CNC Plotter Core XY tipe H-BOT yang dikembangkan mampu berfungsi dengan baik sebagai alat drawing presisi dan media pembelajaran teknologi CNC, dengan kinerja yang stabil, akurat, dan relatif ekonomis untuk aplikasi pendidikan maupun prototyping.

#### DAFTAR PUSTAKA

- [1] M. P. Groover, *Automation, Production Systems, and Computer-Integrated Manufacturing*, 4th ed. Boston, USA: Pearson, 2016.
- [2] S. Kalpakjian and S. Schmid, *Manufacturing Engineering and Technology*, 7th ed. Pearson Education, 2014.
- [3] P. Smid, *CNC Programming Handbook*, 3rd ed. New York, USA: Industrial Press, 2008.
- [4] Y. Altintas, *Manufacturing Automation: Metal Cutting Mechanics, Machine Tool Vibrations, and CNC Design*, Cambridge University Press, 2012.
- [5] E. Slocum, *Precision Machine Design*. Dearborn, USA: Society of Manufacturing Engineers, 1992.
- [6] J. M. Hollerbach, "A survey of kinematic calibration," *Robotics Review*, vol. 1, pp. 207–242, 1989.
- [7] B. Siciliano and O. Khatib, *Springer Handbook of Robotics*. Berlin, Germany: Springer, 2016.
- [8] D. Pham and S. Dimov, *Rapid Manufacturing: The Technologies and Applications of Rapid Prototyping and Rapid Tooling*. London, UK: Springer, 2001.
- [9] J. Craig, *Introduction to Robotics: Mechanics and Control*, 3rd ed. Pearson, 2005.
- [10] A. Choudhury and S. N. Sinha, "Design and analysis of belt-driven CoreXY motion system for CNC applications," *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, vol. 98, pp. 123–132, 2018.