



Rancang Bangun Mesin CNC Menggambar Berbasis Arduino dengan Inkscape dan GRBL

Ragel Trisudarmo ¹, Irdan Guntara ², Dea Yulistiana Dewi ³, Kiki Amalia Sapitri ³
^{1,2,3,4} Universitas Kuningan, Indonesia

Jl. Pramuka No.67, Purwawinangun, Kec. Kuningan, Kabupaten Kuningan, Jawa Barat 45512

Korespondensi penulis: 20230910042@uniku.ac.id

Abstract. *This research successfully designed and built a CNC drawing machine based on Arduino. The system utilizes NEMA stepper motors to move the X and Y axes, as well as a servo motor to control the Z axis. The Arduino Uno, supported by GRBL firmware, acts as the central controller that processes commands from the Inkscape software. The results of the research demonstrate that the developed CNC machine is capable of producing images with satisfactory accuracy. The appropriate selection of components and optimal parameter settings have contributed to the machine's reliable performance.*

Keywords: CNC Machine, Arduino, GRBL, Inkscape, Stepper Motors.

Abstrak. Penelitian ini berhasil merancang dan membangun sebuah mesin CNC menggambar berbasis Arduino. Sistem ini memanfaatkan motor stepper NEMA untuk menggerakkan sumbu X dan Y, serta motor servo untuk mengontrol sumbu Z. Arduino Uno, yang didukung oleh firmware GRBL, berfungsi sebagai pusat pengendali yang mengolah perintah dari perangkat lunak Inkscape. Hasil penelitian menunjukkan bahwa mesin CNC yang dikembangkan mampu menghasilkan gambar dengan tingkat akurasi yang memuaskan. Pemilihan komponen yang tepat serta pengaturan parameter yang optimal telah berkontribusi terhadap kinerja mesin yang handal.

Kata kunci: Mesin CNC, Arduino, GRBL, inkscape, motor stepper.

1. LATAR BELAKANG

Dalam beberapa dekade terakhir, kemajuan teknologi telah membawa perubahan signifikan dalam berbagai aspek kehidupan manusia. Salah satu perkembangan yang menonjol adalah otomatisasi proses produksi melalui penggunaan mesin berkontrol numerik (CNC). Mesin CNC awalnya banyak digunakan dalam industri manufaktur yang bertugas untuk memotong, mengukir, dan membentuk berbagai material dengan tingkat akurasi yang tinggi (Agarwal, Ratnaparkhi, & Kori, 2020). dengan tingkat akurasi dan presisi yang tinggi. Namun, seiring dengan perkembangan teknologi, mesin CNC semakin menunjukkan potensinya dalam bidang kreatif.

Penelitian ini termotivasi oleh keinginan untuk mengeksplorasi potensi mesin CNC dalam menghasilkan karya seni dan desain grafis. CNC menggambar pada dasarnya adalah sebuah sistem yang menggunakan komputer untuk mengontrol pergerakan alat gambar, seperti pena atau pensil, secara otomatis. Dengan bantuan perangkat lunak seperti Inkscape dan GRBL, kita dapat menginstruksikan mesin untuk menghasilkan gambar yang kompleks dan presisi.

Dalam penelitian ini, kami merancang dan membangun sebuah mesin CNC menggambar yang memanfaatkan platform open-source Arduino Uno sebagai otak utamanya. Arduino dipilih karena kemudahan penggunaannya, fleksibilitas, dan biaya yang relatif terjangkau (Praminasari, 2018). Dengan menggabungkan Arduino dengan motor stepper NEMA dan servo, mesin ini mampu bergerak dalam tiga sumbu (X, Y, dan Z) untuk menghasilkan gambar dua dimensi yang detail.

2. KAJIAN TEORITIS

Mesin CNC (Computer Numerical Control)

Mesin CNC (Computer Numerical Control) adalah perangkat canggih yang menggunakan komputer untuk mengontrol berbagai jenis alat perkakas dalam proses manufaktur. Bayangkan seperti seorang robot yang sangat terampil, mesin CNC dapat melakukan berbagai tugas pemotongan, penggerindaan, dan pembubutan dengan tingkat akurasi yang sangat tinggi (Julsam, 2020).

Cara kerja mesin ini dimulai dengan membuat program kode yang berisi instruksi tentang bagaimana mesin harus bergerak. Program ini umumnya ditulis dalam bahasa pemrograman khusus yang disebut G-code (Panchal, Vaja, Patel, & Padia, n.d.). Setelah itu, komputer akan membaca dan menerjemahkan program G-code ini menjadi sinyal-sinyal listrik yang dapat dipahami oleh mesin. Sinyal-sinyal listrik tersebut kemudian dikirim ke motor-motor yang menggerakkan komponen-komponen mesin

Keunggulan mesin CNC sangat beragam. Salah satunya adalah akurasi yang tinggi sehingga mampu menghasilkan produk dengan toleransi yang sangat kecil. Selain itu, mesin CNC juga sangat fleksibel, dapat diprogram untuk melakukan berbagai macam operasi pemesinan. Keunggulan lainnya adalah efisiensi dalam proses produksi, yang jauh lebih cepat dibandingkan dengan metode konvensional (Rizqi Aulia Hasibuan, Hardi, & Muhaimin, 2019).

Arduino

Arduino adalah komponen inti dalam proyek ini, oleh karena itu pemilihannya sangat penting. Dalam proyek kami, kami memilih Arduino Uno R3, sebuah mikrokontroler yang menggunakan bahasa pemrograman G-code.

Arduino Uno R3 dilengkapi dengan berbagai fitur, seperti 14 pin digital input/output, 6 pin analog input, dan konektivitas USB. Mikrokontroler ATmega328P

yang menjadi jantungnya memiliki kapasitas memori yang cukup untuk menjalankan program-program sederhana hingga kompleks (Arduino, 2024).

Dengan kecepatan clock 16 MHz, Arduino Uno R3 mampu memproses data dengan efisiensi tinggi. Selain itu, konektor daya DC-nya memungkinkan fleksibilitas dalam sumber daya, baik dari baterai maupun adaptor.

CNC Shield V3

Shield CNC ini mampu mengendalikan empat sumbu gerakan: X, Y, Z, dan A. Sumbu X dan Y mengontrol pergerakan horizontal, sumbu Z mengontrol pergerakan vertikal alat potong, dan sumbu A (opsional) mengontrol gerakan rotasi alat potong. Setiap sumbu dapat dikonfigurasi dengan menggunakan jumper untuk mengatur tingkat detail gerakan (mikrostepping) (Gojare, Malekar, Prasad, Tamore, & Thakur, 2023).

Stepper Motor

Motor stepper adalah motor yang bergerak dalam langkah-langkah kecil yang sangat presisi. Untuk melakukan satu putaran penuh, motor ini perlu mengambil 24 langkah. Masing-masing langkah akan memutar motor sebesar 15 derajat.

Konstruksi motor stepper ini cukup unik. Motor ini memiliki 8 kutub pada bagian yang tetap (stator) dan 6 kutub pada bagian yang berputar (rotor). Kombinasi ini memungkinkan motor bergerak dengan sangat akurat tanpa perlu sensor tambahan untuk mengetahui posisi motor, selama beban yang diberikan pada motor tidak terlalu berat.

Salah satu kendala dalam menggunakan motor stepper adalah kebutuhan daya yang cukup besar. Arduino, sebagai mikrokontroler yang sering digunakan untuk mengendalikan motor stepper, tidak memiliki daya yang cukup untuk menggerakkan motor secara langsung. Oleh karena itu, kita perlu menggunakan sumber daya eksternal yang memiliki daya lebih besar untuk menyalakan motor stepper (Madekar, Nanaware, Phadtare, & Mane, 2016).

Motor Servo

Motor servo adalah motor listrik khusus yang dapat diputar ke sudut tertentu dengan sangat akurat. Keunikan motor servo terletak pada kemampuannya untuk berputar baik searah maupun berlawanan arah jarum jam, serta dapat berhenti tepat pada posisi yang diinginkan. Karena sifatnya yang presisi dan efisien, motor servo sering digunakan dalam mesin-mesin yang memerlukan gerakan terkontrol, seperti mesin CNC. Pada mesin CNC, motor servo umumnya digunakan sebagai sumbu Z untuk mengontrol naik

turunnya alat potong. Namun, dalam proyek ini, motor servo akan digunakan untuk mengangkat dan menurunkan pulpen (Vanhuy, Minh, Kien, & Vu, 2015).

A4988 Motor Driver

A4988 adalah chip yang dirancang khusus untuk mengendalikan motor stepper bipolar. Motor stepper membutuhkan sinyal listrik yang spesifik dan akurat untuk bergerak dengan benar. Sinyal ini harus diatur dengan tepat agar motor dapat berputar dengan kecepatan dan posisi yang diinginkan. A4988 berperan sebagai 'penerjemah' antara mikrokontroler seperti Arduino dan motor stepper. Chip ini menerima sinyal digital dari mikrokontroler dan mengubahnya menjadi sinyal listrik yang sesuai untuk menggerakkan motor stepper (Utmel, 2023).

GRBL

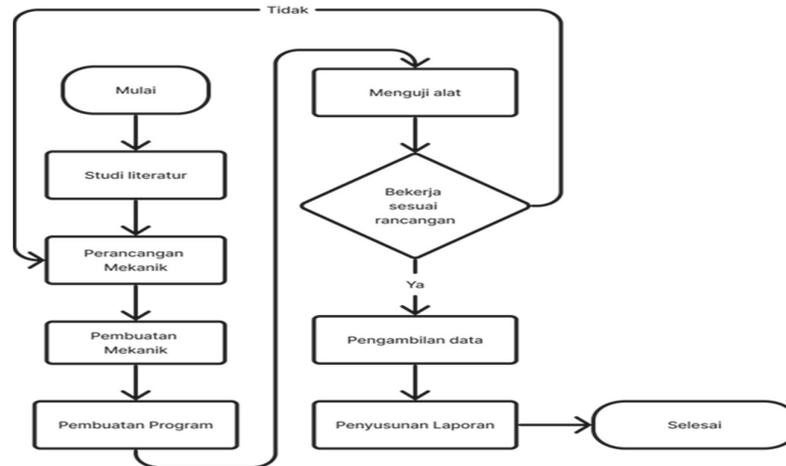
GRBL adalah sebuah software open source yang digunakan untuk mengatur gerakan dari mesin CNC dan berjalan di platform Arduino. Kebanyakan mesin 3D printer yang open source sebagai intinya dan banyak juga diadaptasi pada proyek lainnya seperti laser cutters, automatic hand writer dan lain sebagainya (Wicaksono & Goeritno, 2022). GRBL didesain untuk mengoptimalkan pembacaan perintah secara terus menerus G-Code dengan menggunakan Arduino dengan ketepatan operasi. G-Code adalah kode perintah eksekusi pergerakan dari mesin CNC. Untuk saat ini GRBL hanya bisa digunakan untuk mesin 3 axis yaitu X, Y, dan Z (Roswaldi Sk, Julsam, Kartika, & Fendri, 2019).

Inkscape

Inkscape adalah perangkat lunak gratis yang memungkinkan siapa saja membuat dan memodifikasi gambar vektor berkualitas tinggi. Format gambar yang dihasilkan, SVG, sangat cocok untuk diproses oleh mesin CNC. Dengan Inkscape, desainer dapat membuat gambar yang kemudian diubah menjadi kode G-code. Kode ini menjadi petunjuk bagi mesin CNC untuk mengukir atau memotong bahan sesuai dengan desain yang telah dibuat (Titus et al., n.d.).

3. METODE PENELITIAN

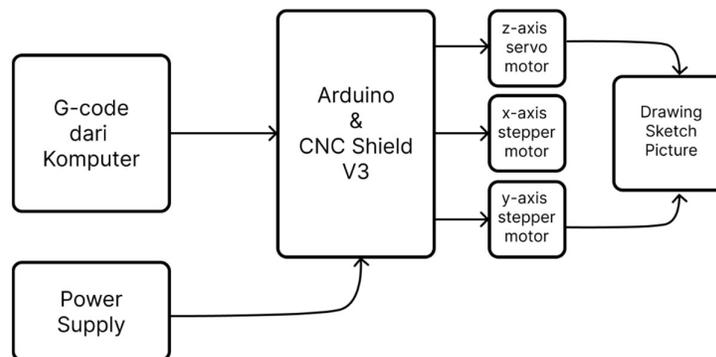
Penelitian ini mengadopsi pendekatan eksperimental untuk merancang dan membangun mesin CNC menggambar tiga sumbu (axis) berbasis GRBL. Mesin ini dikendalikan melalui aplikasi UGS pada komputer. Tahapan penelitian secara rinci dapat dilihat pada Gambar 1.



Gambar 1. Tahapan Rancangan Mesin CNC Menggambar Berbasis Arduino

Penelitian ini diawali dengan tahap studi literatur yang komprehensif. Referensi diperoleh dari berbagai sumber, termasuk publikasi ilmiah dan artikel daring, untuk menggali pengetahuan mendalam mengenai topik penelitian. Setelah itu, dilakukan perancangan, pembuatan, dan pengujian alat. Jika hasil pengujian memenuhi kriteria yang telah ditetapkan, maka data penelitian dikumpulkan dan dianalisis untuk kemudian disusun menjadi laporan akhir.

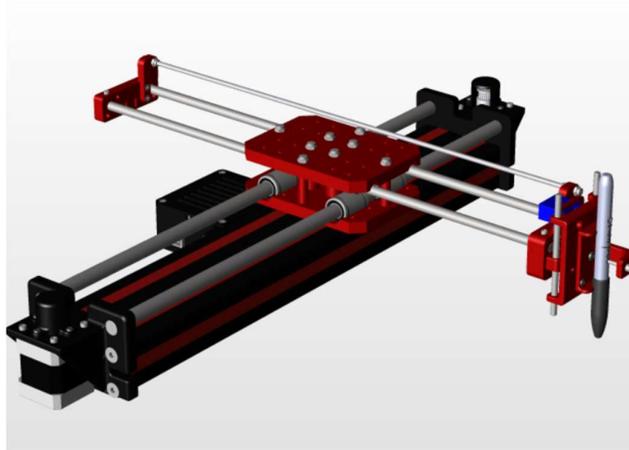
Diagram Blok Sistem



Gambar 2. Diagram Blok Sistem

Pada Gambar 2, disajikan diagram blok sistem keseluruhan mesin CNC. Sistem ini terdiri dari beberapa komponen utama, yaitu komputer, Arduino dengan CNC Shield V3, motor stepper pada sumbu X dan Y, motor servo pada sumbu Z, dan sumber daya. Komputer berfungsi sebagai input data G-code yang akan diterjemahkan oleh Arduino (Wanggara, Andree, & Azmi, 2020). Arduino kemudian akan mengirimkan sinyal kontrol ke motor-motor stepper dan servo untuk menggerakkan pena atau alat potong sesuai dengan instruksi G-code, sehingga menghasilkan gambar 2 dimensi.

Rancangan Sistem Mekanik

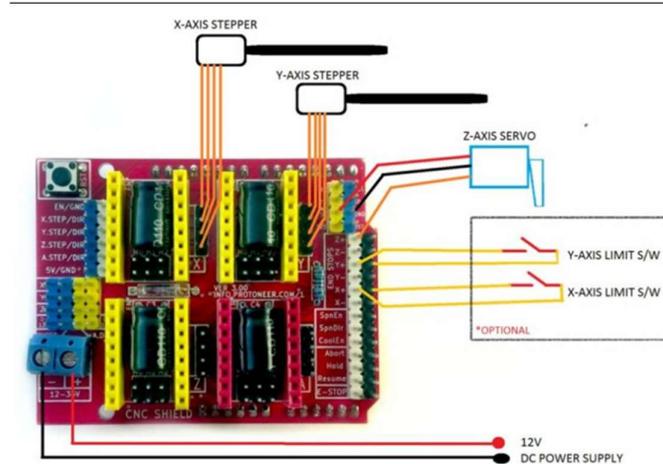


Gambar 3. Desain Rancangan Sistem Mekanik

Pada gambar 3 ditampilkan desain kerangka mesin CNC menggambar berbasis Arduino, yang terdiri dari struktur utama yang mendukung stabilitas dan presisi pergerakan komponen. Kerangka mesin ini dibangun menggunakan batang aluminium yang berfungsi sebagai rel pemandu dan penopang bagi komponen yang bergerak di sumbu X dan Y (Praminasari, n.d.). Material aluminium dipilih karena kekuatannya, ringan, dan daya tahan tinggi, yang penting untuk menjaga keselarasan serta mengurangi getaran saat proses penggambaran.

Di kedua sisi kerangka terdapat pulley GT2 dan belt GT2 yang menghubungkan motor stepper NEMA 17 ke bagian bergerak, memungkinkan pergerakan linier yang presisi. Belt GT2 yang tahan lama membantu menjaga akurasi posisi dengan meminimalkan slip saat pergerakan. Struktur ini juga didukung oleh serat plastik untuk menahan komponen dengan bobot ringan namun kuat, sehingga tidak menambah beban berlebih pada keseluruhan kerangka.

Keseluruhan kerangka ini memastikan bahwa mesin dapat beroperasi dengan stabil dan presisi tinggi, mendukung fungsi utama dalam menggambar otomatis sesuai desain digital yang telah ditentukan.



Gambar 4. Skema rangkaian mesin CNC menggambar

Pada gambar 4, ditampilkan diagram atau skema detail dari rangkaian pengontrol mesin CNC menggambar berbasis Arduino. Diagram ini menunjukkan hubungan antara komponen utama seperti Arduino, CNC shield, motor stepper sumbu X dan Y, servo sumbu Z, serta power supply 12V (Mashinton et al., n.d.).

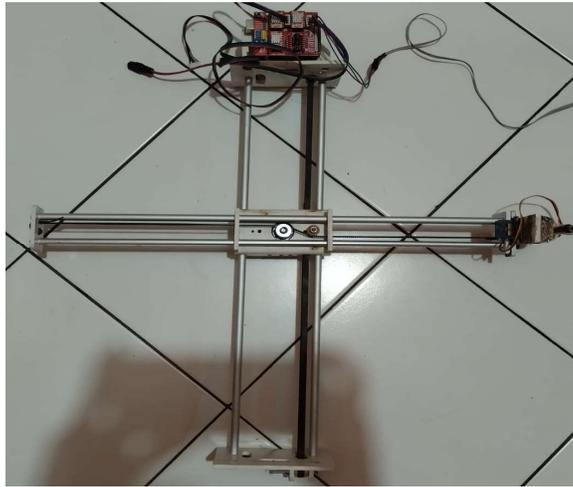
Skema ini memperjelas bagaimana setiap komponen terhubung untuk memungkinkan pergerakan presisi pada sumbu X dan Y untuk menggerakkan alat gambar secara horizontal dan vertikal, serta pergerakan servo pada sumbu Z untuk mengangkat dan menurunkan alat gambar. Dengan konfigurasi ini, mesin dapat mengikuti perintah dari perangkat lunak berbasis G-code untuk membuat gambar yang diinginkan.

Pada diagram tersebut, setiap pin pada CNC shield yang mengendalikan motor stepper dan servo sudah diatur agar sesuai dengan output yang dibutuhkan dari Arduino, memungkinkan keseluruhan sistem bekerja secara sinkron. Power supply 12V terhubung langsung ke CNC shield untuk menyuplai daya yang memadai bagi semua komponen elektronik (Rizki Ramdani, 2024).

Diagram ini menjadi panduan bagi proses perakitan dan pemasangan rangkaian, memastikan bahwa semua komponen berfungsi sesuai perancangan dan memenuhi kebutuhan sistem dalam menggambar dengan akurasi tinggi.

4. HASIL DAN PEMBAHASAN

Hasil Pembuatan Sistem Mekanik



Gambar 5. Hasil Pengembangan Mekanik Penggerak CNC

Gambar 5 menunjukkan hasil pembuatan mesin CNC menggambar berbasis Arduino. Pada gambar ini, terlihat kerangka mesin yang menggunakan batang aluminium sebagai rel pemandu untuk pergerakan di sumbu X dan Y. Di bagian atas, terpasang komponen CNC shield dan Arduino yang mengontrol keseluruhan sistem, terhubung dengan kabel-kabel yang menuju ke motor stepper dan servo.

Motor stepper terpasang pada masing-masing sumbu untuk menggerakkan alat gambar secara horizontal dan vertikal, sementara servo digunakan untuk mengangkat dan menurunkan alat gambar (seperti pena) pada permukaan gambar. Mesin ini dirakit untuk menghasilkan pergerakan yang presisi, mengikuti pola yang telah diprogram melalui perintah G-code, yang dieksekusi oleh Arduino.

Desain hasil akhir ini menunjukkan implementasi praktis dari rancangan CNC menggambar dengan komponen minimal namun tetap mendukung fungsionalitas dasar untuk menggambar secara otomatis.

Pengujian Alat

Pengambilan Data

Pengujian dilakukan terhadap tiga axis adalah sebagai berikut:

No	Nilai Input Pergerakan (cm)	Speed Motor Stepper	Hasil Pengukuran Pergerakan (cm)
1	1,0 cm	100	1,0 cm
2	1,5 cm	100	1,54 cm

3	2,0 cm	100	1,97 cm
4	2,5 cm	100	2,52 cm
5	3,0 cm	100	2,95 cm
6	3,5 cm	100	3,5 cm
7	4,0 cm	100	3,98 cm
8	4,5 cm	100	4,5 cm
9	5,0 cm	100	4,97 cm

Tabel 1. Pengujian Sumbu X

Tabel 1 adalah hasil pengambilan data pada pengujian pergerakan sumbu X. Dalam proses pengambilan data ini, dilakukan pengukuran pergerakan mesin berdasarkan nilai input yang diberikan. Beberapa hasil menunjukkan deviasi sebesar 0,3 cm dan 0,5 cm dari nilai input. Penyimpangan ini disebabkan oleh toleransi mekanis dan keterbatasan akurasi motor stepper dalam mengikuti perintah. Data ini penting untuk mengevaluasi tingkat presisi gerakan sumbu X pada sistem CNC.

No	Nilai Input Pergerakan Sumbu Y (cm)	Speed Motor Stepper	Hasil Pengukuran Pergerakan Sumbu Y (cm)
1	1,0 cm	100	1,0 cm
2	1,5 cm	100	1,47 cm
3	2,0 cm	100	2,05 cm
4	2,5 cm	100	2,52 cm
5	3,0 cm	100	2,95 cm
6	3,5 cm	100	3,48 cm
7	4,0 cm	100	4,02 cm
8	4,5 cm	100	4,5 cm
9	5,0 cm	100	4,97 cm

Tabel 2. Pengujian Sumbu Y

Tabel 2 menampilkan hasil pengambilan data dari pengujian pergerakan sumbu Y. Pada proses pengambilan data ini, ditemukan bahwa beberapa hasil pengukuran mengalami deviasi sebesar 0,3 cm dan 0,5 cm dari nilai input. Hal ini menunjukkan bahwa terdapat sedikit perbedaan antara nilai yang diinginkan dan hasil aktual pada sumbu Y. Data yang diperoleh dari pengujian ini memberikan gambaran mengenai akurasi pergerakan sumbu Y pada mesin CNC.

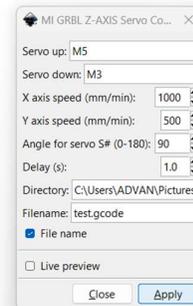
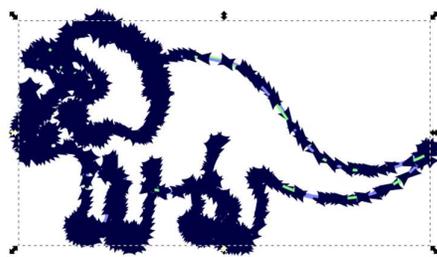
No	Nilai Input Pergerakan Gcode	Waktu yang dibutuhkan/ sec	Hasil Pengukuran Pergerakan (deg)
1	M3 S90	1	89,7
2	M5	1	0

Tabel 3. Pengujian Sumbu Z

Tabel 3 menunjukkan hasil pengambilan data dari pengujian pergerakan servo pada sumbu Z untuk menggerakkan pena. Dalam pengambilan data ini, perintah G-code M3 S90 digunakan untuk memosisikan servo pada sudut 90 derajat, dengan hasil pengukuran mendekati target pada nilai 89,7 derajat. Perintah M5 digunakan untuk mengembalikan servo ke posisi awal (0 derajat), dan hasil pengukuran menunjukkan akurasi yang sesuai. Pengambilan data ini bertujuan untuk mengevaluasi kemampuan servo dalam mengikuti perintah pergerakan yang diberikan, yang penting untuk fungsi pengaturan pena pada mesin CNC.

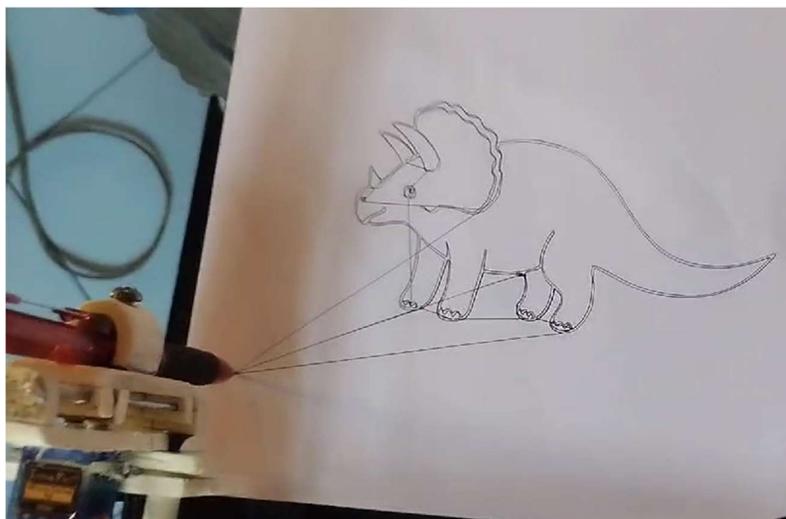
Proses Pembuatan Gambar

Pada subbab ini, akan dijelaskan tahapan dan prosedur teknis dalam pembuatan gambar otomatis menggunakan mesin CNC berbasis Arduino. Tujuan dari proses ini adalah mengonversi desain gambar digital menjadi perintah yang dapat dieksekusi oleh mesin CNC dengan presisi. Proses pembuatan gambar ini melibatkan tiga langkah utama, yaitu (1) persiapan dan konversi gambar, (2) pengunggahan perintah ke mesin CNC, dan (3) eksekusi perintah untuk menghasilkan gambar sesuai desain.



Gambar 6. Proses Konversi Gambar ke G-code

Selanjutnya, Inkscape memungkinkan konversi gambar vektor yang dibuat ke dalam format G-Code. G-Code adalah bahasa pemrograman yang digunakan untuk mengontrol mesin CNC, menginstruksikan mesin tentang gerakan yang perlu dilakukan



Gambar 8. Hasil Akhir Penggambaran CNC pada Media Kertas

Gambar 8 menunjukkan hasil akhir dari proses penggambaran mesin CNC, di mana desain triceratops telah selesai digambar pada media kertas. Mesin CNC berhasil mengikuti jalur yang telah ditentukan dalam G-code, menghasilkan gambar yang presisi sesuai dengan pola yang diinput sebelumnya. Hasil penggambaran ini menunjukkan kemampuan sistem CNC berbasis Arduino untuk mereproduksi desain digital secara fisik dengan tingkat ketepatan yang cukup baik, meskipun terdapat sedikit toleransi pergeseran yang diobservasi pada beberapa titik.

5. KESIMPULAN DAN SARAN

Kesimpulan dari penelitian ini menunjukkan bahwa mesin CNC menggambar berbasis Arduino dengan aplikasi Inkscape dan kontrol GRBL mampu menghasilkan gambar dengan tingkat akurasi yang memadai, sesuai dengan tujuan utama penelitian untuk merancang sistem penggambaran otomatis. Meskipun hasil pengujian menunjukkan adanya sedikit penyimpangan pada beberapa pengukuran pergerakan, mesin tetap menunjukkan kinerja yang stabil dalam mereplikasi desain digital menjadi bentuk fisik di media kertas. Keterbatasan yang ditemukan dalam penelitian ini terutama terkait dengan ketepatan pergerakan sumbu yang masih menunjukkan deviasi kecil, yang dapat diperbaiki dengan peningkatan kualitas komponen mekanis atau kalibrasi sistem. Rekomendasi untuk penelitian selanjutnya adalah pengembangan sistem CNC dengan sumbu tambahan atau penyesuaian lebih lanjut dalam software kontrol untuk meningkatkan akurasi dan fleksibilitas aplikasi, serta eksplorasi penggunaan material atau media gambar yang lebih beragam.

6. DAFTAR REFERENSI

- Agarwal, S., Ratnaparkhi, P., & Kori, R. P. (2020). Arduino based CNC drawing machine. *International Journal of Progressive Research in Science and Engineering*. Retrieved from <http://www.ijprse.com>
- Arduino, Inc. (2024). *UNO R3 SMD | Arduino documentation*. Retrieved October 31, 2024, from <https://docs.arduino.cc/hardware/uno-rev3-smd/>
- Gojare, A., Malekar, J., Prasad, R., Tamore, N., & Thakur, H. (2023). Multi-purpose CNC ink plotter using Arduino. *International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology*, *11*(4), 2357–2362. <https://doi.org/10.22214/ijraset.2023.50653>
- Hasibuan, R. A., Hardi, S., & Muhaimin. (2019). Rancang bangun mesin CNC milling 3-axis untuk engrave PCB berbasis Arduino UNO. *Jurnal Tektro*, *3*(1).
- Madekar, K. J., Nanaware, K. R., Phadtare, P. R., & Mane, V. S. (2016). Automatic mini CNC machine for PCB drawing and drilling. *International Research Journal of Engineering and Technology*. Retrieved from <http://www.irjet.net>
- Mashinton, A., Hasan, H., Aqilah, F. J., Wibowo, N. R., Mekatronika, T., Bosowa, P., ... Selatan, S. (n.d.). Rancang bangun mesin CNC milling 3 axis dengan menggunakan sistem kontrol Android.
- Panchal, H. B., Vaja, M. S., Patel, P. D., & Padia, U. N. (n.d.). Arduino based CNC machine. Retrieved from <http://www.ijrise.org> | editor@ijrise.org
- Praminasari, R. (2018). Perancangan pen plotter tiga sumbu berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Teknologi Elektroika*, *15*(2), 35. <https://doi.org/10.31963/elekterika.v15i2.1496>
- Praminasari, R. (n.d.). Perancangan pen plotter tiga sumbu berbasis mikrokontroler Arduino. *Jurnal Teknologi Elektroika*, *15*(2), 35.
- Ramdani, R. (2024). Rancang bangun mesin CNC router mini 3 axis. *Sains Dan Informatika*, *2*(2), 3031–3996. <https://doi.org/10.61132/uranus.v1i2.215>
- Roswaldi, S. K., Julsam, Kartika, & Fendri, A. (2019). Implementasi mini CNC router 3 axis untuk pembuatan huruf dan gambar berbasis GRBL 3.6.1.
- Setianto, S. T. (2019). Analisa software GRBL controller untuk mesin mini CNC plotter 3-axis dengan menggunakan mikrokontroler ATmega 328. *2*(1).
- Titus, T. J., Gr, S., Vinitha, P., Student, U. G., Nivetha, M., & Vasanthaalakshmi, M. (n.d.). G-code controlled 2D robotic plotter. *International Journal on Recent and Innovation Trends in Computing and Communication*. Retrieved from <http://www.ijritcc.org>
- Utmel. (2023). How does the A4988 stepper motor driver work. Retrieved November 1, 2024, from <https://www.utmel.com/blog/news/other/how-does-the-a4988-stepper-motor-driver-work>

- Vanhuy, T., Minh, D. T., Kien, N. P., & Vu, T. A. (2015). Simple robotic hand in motion using Arduino controlled servos. *International Journal of Science and Research*, 6, 2319–7064. <https://doi.org/10.21275/ART20171455>
- Wanggara, A., Andree, & Azmi, F. (2020). Rancang bangun mesin CNC engraving 3 axis berbasis Arduino UNO dengan GRBL software. *Jurnal Teknik dan Sains ElektriKa*, 4(1), 1–12. <https://doi.org/10.31289/jesce.v4i1.3974>
- Wicaksono, N. A., & Goeritno, A. (2022). Designing an Arduino board-based electronic device driven by GRBL to operate the mini PCB printing machine. *Jurnal Rekayasa ElektriKa*, 18(3), 213–220. <https://doi.org/10.17529/jre.v18i3.25923>