



Contents list available at [Sinta](https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur)

ARMATUR

: Artikel Teknik Mesin & Manufaktur

Journal homepage: <https://scholar.ummetro.ac.id/index.php/armatur>



Sistem Kontrol *Engraving* Acrylic CNC 3 Axis Berbasis Pc Menggunakan Arduino

Anderson Pernandito^{1*}, Made Rahmawaty², Tianur³, Hendriko⁴

¹Anderson Pernandito, Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jl. Umban Sari No.1

²Made Rahmawaty, Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jl. Umban Sari No.1

³Tianur, Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jl. Umban Sari No.1

⁴Hendriko, Teknologi Rekayasa Mekatronika, Jl. Umban Sari No.1

ARTICLE INFO

Keywords:
CNC 3 Axis, Acrylic
Engraving, Arduino, Control
System, PC, User Interface,
PID, Efficiency.

ABSTRACT

CNC Machines have become an important part of various industries, including manufacturing and the arts. One of the main applications is acrylic Engraving, creating high-quality, finely detailed products. However, 3-Axis CNC control systems are often expensive and complex and hard to achieve. This research develops an efficient and affordable, computer-based 3-Axis CNC acrylic Engraving control system using the Arduino. Although previous research focused on CNC control, this research emphasizes the application of acrylic and integration with computers as a user interface. The system starts with the right electronic components, including the Arduino as the main microcontroller, motor controller, and sensors. The computer user interface makes it easy for users to import designs for Engraving. Research shows Engraving and cutting using a CNC Machine with a machining accuracy of about 0.1 mm. The optimal result obtained is 0.4 mm. Precise cutting speed is 1000mm/min, Engraving depth is 0.1mm and acceleration is 10mm/sec², resulting in accurate Engraving. The system controls the movement of the CNC Machine in three dimensions (X, Y and Z) with high precision. The final result data reflects the construction quality of the acrylic material, including the level of precision and detail engraved by the CNC Machine.

*Corresponding author: made@pccr.ac.id

DOI: <https://10.24127/armatur.v5i1.4287>

Received 07 Agustus 2023; Received in revised form 20 March 2024; Accepted 20 March 2024

Available online 22 March 2024

Pendahuluan

Mesin CNC (Computer Numerical Control) telah menjadi sangat penting dalam berbagai industri, termasuk manufaktur dan seni.[1,2] Sebagai bagian dari industri manufaktur, mesin CNC digunakan untuk memotong, mengebor, dan mengukir berbagai bahan, termasuk akrilik.[1,2,3] Penggunaan akrilik semakin populer karena kemampuannya menciptakan produk berkualitas tinggi dengan detail halus dan transparansi yang menarik. [4,5]



Gambar 1. Produk Kerajinan Akrilik.

Proses ukiran akrilik 3 sumbu CNC memiliki banyak aplikasi seperti pembuatan tanda, dekorasi, logo perusahaan, dan lain-lain.[6,7] Namun, banyak sistem kontrol mesin CNC 3 sumbu yang tersedia di pasaran cenderung mahal dan kompleks, yang membuatnya tidak dapat diakses banyak pengguna, terutama pemula atau usaha kecil yang kesulitan dalam mengoperasikannya.[3,8]

Oleh karena itu, sebagai bagian dari upaya terus menerus untuk meningkatkan efisiensi dan aksesibilitas teknologi, penelitian ini bertujuan untuk mengembangkan sistem kontrol terbaru untuk mesin CNC 3 sumbu yang digunakan dalam proses grafir akrilik. Dengan melakukan pembaruan pada sistem kontrol yang ada, diharapkan dapat mengurangi biaya investasi awal dan memperluas aksesibilitas bagi pengguna dari berbagai latar belakang. Melalui pengembangan ini, diharapkan industri ukiran akrilik dapat

mengalami kemajuan lebih lanjut dengan munculnya potensi inovasi baru, serta memperluas dampak positif dalam industri manufaktur dan seni. [9]

Metode Penelitian

Rancang bangun (*design and build method*) adalah pendekatan sistematis yang digunakan dalam pengembangan produk atau sistem baru. Metode rancang bangun pada Sistem Kontrol *Engraving Acrylic Cnc 3 Axis* Berbasis PC Menggunakan *Arduino* melibatkan serangkaian langkah yaitu Studi Literatur, Identifikasi Masalah, dan Perancangan.[10,11,12]

Beberapa mesin CNC 3 Axis untuk *Engraving* pada acrylic telah banyak dikembangkan. Dalam penelitian yang dilakukan oleh Suharto, Kunto, Ahmad, dan Karnowahadi dalam penelitiannya yang berjudul Grafir Batu Alam Dengan Mesin CNC Router Untuk Meningkatkan Ragam Produk Kreatif Indonesia. Dalam penelitian ini, digunakan mesin CNC Router untuk membuat ukiran pada media batu marmer. Pada penelitian ini didapatkan analisa faktor yang mempengaruhi kekasaran permukaan grafir batu marmer adalah kecepatan/laju pemakanan dan kedalaman pemakanan. Semakin rendah kecepatan/laju pemakanan, maka akan menghasilkan nilai kekerasan permukaan yang semakin kecil.[13]



Gambar 2. CNC Router pada media batu marmer

Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Khan Annudin dengan judul Pengembangan Mesin CNC Router 3-Axis Untuk Ukir Foto 3 Dimensi, berfokus pada pembuatan ukiran foto pada media kayu menggunakan mesin CNC. Dalam penelitian ini digunakan mikrokontroller

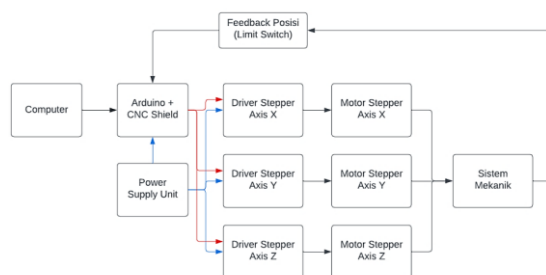
Arduino dan motor spindle. Hasil dari pengukiran memiliki konstruksi bergaris-garis. Pada bagian saran, penulis menyatakan jika diperlukan perbaikan mekanik agar pergerakan mesin CNC bisa kokoh, sehingga dapat melakukan pengukiran dengan hasil yang lebih baik. [14]

Penelitian lainnya terkait penerapan CNC dalam pengukiran dilakukan Penelitian selanjutnya dilakukan oleh Davy, Nely, dan Kosjoko yang meneliti tentang Pengaruh Kecepatan dan Daya Mesin Laser Gravir Portable Berbasis Micro-controller *Arduino* Terhadap Hasil Gravir Bahan Kulit Sapi. Kontroler yang digunakan adalah *Arduino* nano dengan laser 500mW untuk grafir. Hasil dari penelitian ini didapatkan bahwa hasil grafir yang kurang rapi dan gambar yang dihasilkan terlalu tebal atau tipis disebabkan oleh faktor penggunaan jenis bahan yang di grafir dan warna jenis kulit. [15]

Dan adapun Mesin yang dirancang dalam penelitian ini menggunakan motor DC dan driver motor untuk menggerakkan sumbu X, Y, dan Z. Prinsip kerja mesin ini adalah menggunakan perangkat CNC (Computer Numerical Control) berbasis *Arduino* untuk mengatur pergerakan dan mengukir desain pada material acrylic.

Rancangan dan Sistem Kerja Alat

Perancangan sistem kontrol CNC *Engraving Acrylic* menggunakan *Arduino* secara garis besar dapat ditampilkan dalam beberapa bagian.

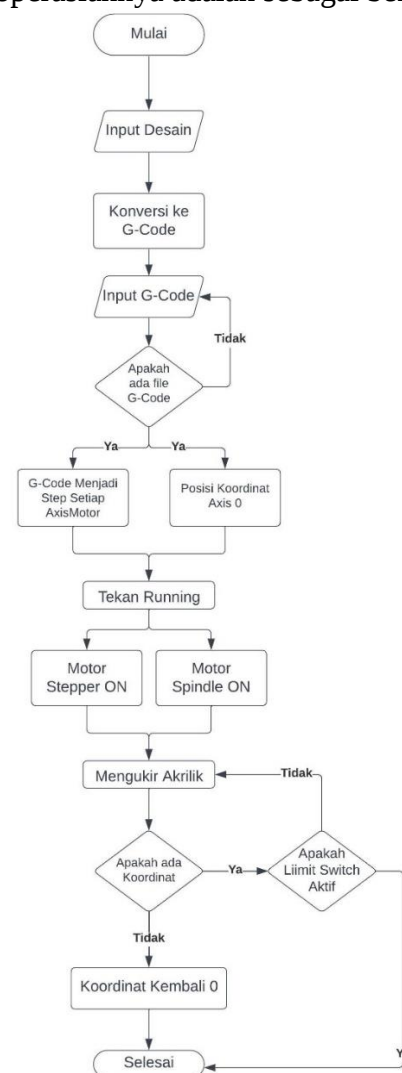


Gambar 3. Diagram Blok Sistem Pergerakan CNC *Engraving Arduino*

Diagram blok tersebut menjelaskan proses utama pada system alat ini yaitu

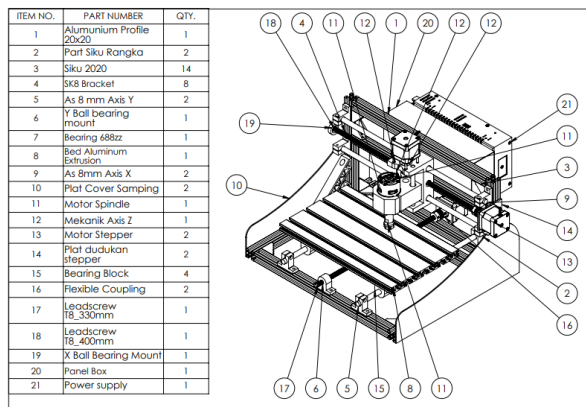
pertama, desain gambar/bentuk diukir menggunakan software Vectric Aspire. Kemudian, GCode dihasilkan dan diunggah ke Universal GCode Sender melalui PC. GCode diproses oleh board kontrol dan driver motor, yang menggerakkan motor *stepper* dan Spindel sesuai dengan GCode. Sensor limit switch digunakan sebagai feedback untuk menghentikan gerakan CNC jika pergerakan melebihi area kerja.

Dalam perancangan CNC *Engraving Acrylic* pada proyek akhir ini di rancang dengan pembuatan flowchart, adapun flowchart pengaturan dalam pengoperasiannya adalah sebagai berikut:



Gambar 4. Flowchart Sistem Pergerakan CNC *Engraving Arduino*

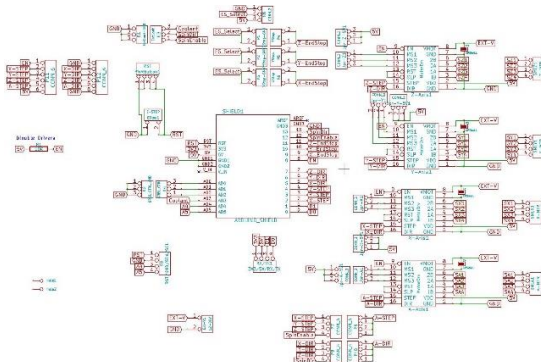
Perancangan desain Proyek Akhir ini dapat dilihat pada Gambar 5.



Gambar 5. Breakdown part perancangan Mekanik

Perancangan elektronika pada sistem kontrol *Engraving acrylic CNC 3 Axis* berbasis PC menggunakan *Arduino* mencakup beberapa komponen penting yang harus dihubungkan dengan benar.

Arduino yang berfungsi sebagai otak sistem dan *CNC Shield* sebagai papan hubung yang mengintegrasikan kontrol motor *stepper* dengan *Arduino*. *Wiring* yang terdapat pada *CNC Shield* dapat dilihat pada Gambar 6.



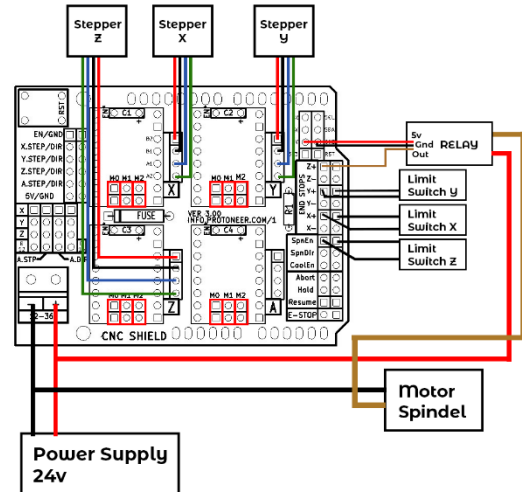
Gambar 6. Wiring CNC Shield Arduino

CNC Shield berperan sebagai antarmuka antara *Arduino* dan driver motor *stepper*. Pada *CNC Shield* terdapat konektor untuk menghubungkan motor *stepper* pada sumbu X, Y, dan Z, serta konektor untuk menghubungkan driver motor *stepper* pada masing-masing motor. Selain itu, terdapat konektor untuk menghubungkan sensor limit switch yang mendeteksi batas pergerakan pada masing-masing sumbu.

Wiring pada *CNC Shield* disusun sesuai dengan konfigurasi yang diinginkan untuk mengendalikan gerakan motor *stepper*. *Arduino* mengirimkan sinyal

kendali ke driver motor *stepper* melalui *CNC Shield*, yang kemudian akan mengatur arus dan tegangan yang diberikan ke motor *stepper* agar dapat bergerak dengan presisi sesuai dengan perintah *GCode* yang diterima dari antarmuka pengguna.

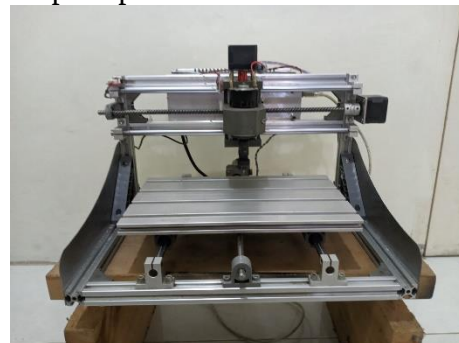
Adapun *Wiring* perancangan alat yang dilakukan dapat dilihat pada Gambar 7.



Gambar 7. Wiring Perancangan Alat

Hasil dan Pembahasan

Dari hasil perancangan yang telah didesain, dilakukan pembuatan alat dengan hasil seperti pada Gambar 8.



Gambar 8. Hasil Perancangan *Engraving Akrilik CNC*

Dalam perancangan pergerakan (*linear motion*) pada penelitian ini, digunakan motor *stepper* Nema 23 dengan *step angle* 1,8 derajat. Dengan demikian, dalam satu putaran motor *stepper*, terdapat 200 langkah (*steps*) yang dihasilkan.

Pergerakan pada *CNC* akan menggunakan leadscrew T8 dengan *pitch* 2mm dan jumlah lead adalah 2. Pada driver motor *stepper* dikonfigurasi dengan resolusi

microstepping 16 langkah (*step*), sehingga nilai kalibrasi *step* per mm dapat dihitung sebagai berikut:

$$S = \frac{S_{rev} \times f_m}{pl}$$

Dimana:

S = Step per mm

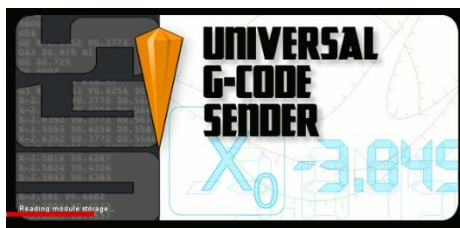
Srev = Motor *step angle per revolution*

fm = *Microstepping factor* (1, 2, 4, 8, etc)

p = *pitch lead screw* (e.g. 2mm)

Hasil persamaan tersebut didapat hasil 800 langkah (*step*) per mm. Dengan demikian, dalam setiap jarak 1 mm, motor *stepper* akan berputar sebanyak 800 langkah (*step*).

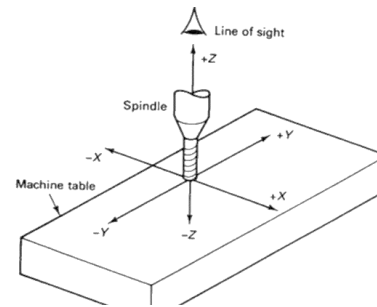
Konfigurasi kalibrasi UGS diperlukan untuk memastikan pergerakan mesin CNC sesuai dengan ukuran dan spesifikasi yang diinginkan.



Gambar 9. Software UGS

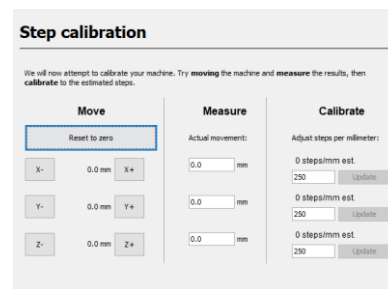
Untuk memastikan bahwa status kontroler telah terhubung dengan PC, maka akan ada tulisan IDLE pada *Controller State* yang menandakan bahwa mesin siap untuk beroperasi.

Selanjutnya, lakukan kalibrasi pada tab bagian atas dengan memilih menu *Machine > Setup Wizard*. Kalibrasi merupakan hal terpenting dalam membuat mesin CNC. Pada aplikasi *Universal GCode Sender*, kita dapat melakukan kalibrasi *step/mm* dari tiap *Axis* pada CNC secara mudah dan simpel.



Gambar 10. Arah Pergerakan CNC

Pengaturan *Step Calibration* dilakukan dengan cara menggerakkan mesin CNC pada sumbu X, Y, dan Z sejauh jarak tertentu, kemudian mengukur panjang aktual pergerakan CNC tersebut. Hasil pengukuran dimasukkan pada kolom *Measure* di *Universal G Code Sender* (UGS). Selanjutnya, UGS akan menghitung nilai *step* per mm yang sesuai berdasarkan perbedaan antara pergerakan yang diinginkan dengan pergerakan aktual.

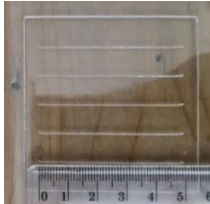


Gambar 11. Step Calibration

Dalam pengujian gerak tiap *Axis* pada CNC Router, dilakukan lima kali percobaan untuk mengukir garis lurus sepanjang 5cm pada material akrilik berketebalan 3mm. Pengujian ini bertujuan untuk mengevaluasi kepresisian hasil ukiran sesuai dengan desain yang telah diprogram sebelumnya. Pada setiap percobaan, pengukiran dilakukan dengan pemakanan (*feed rate*) sebesar 0,2mm.

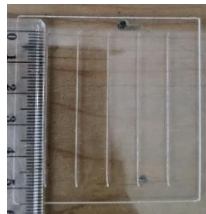
Tabel 1. Pengujian garis X

Gambar	Percobaan		Selisih
	Desain	Hasil	
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm

Gambar	Percobaan		Selisih
	Desain	Hasil	
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm

Pada pengujian sumbu X didapat hasil pengukuran yang sama dengan dimensi desain seperti pada Tabel 1. Tidak didapatkan selisih pengukuran dari Axis X. Hal ini menandakan bahwa keakurasian yang didapat adalah 100% dengan ketelitian 1 mm.

Tabel 2. Pengujian garis Y

Gambar	Percobaan		Selisih
	Desain	Hasil	
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm
	50mm	50mm	0mm

Pada pengujian sumbu Y didapat hasil pengukuran yang sama dengan dimensi desain seperti pada Tabel 2. Tidak didapatkan selisih pengukuran dari Axis Y. Hal ini menandakan bahwa keakurasian yang didapat adalah 100% dengan ketelitian 1 mm.

Tabel 3. Pengujian Garis Z

Gambar	Percobaan		Selisih
	Desain	Hasil	
	0,4mm	0,4mm	0mm

Pada pengujian sumbu Z atau tingkat kedalaman pemakanan, hasil uji coba menunjukkan tingkat akurasi sebesar 100%

tanpa adanya error atau selisih, artinya hasil ukiran sesuai dengan desain yang diharapkan dengan ketepatan hingga 0 mm.

Tujuan dari pengujian ini adalah untuk memastikan bahwa mesin CNC Router mampu mengukir garis lurus dengan akurasi dan presisi yang tinggi pada material akrilik dengan ketebalan yang telah ditentukan. Hasil dari pengujian akan digunakan untuk mengevaluasi performa gerak tiap Axis pada mesin CNC dan memastikan bahwa hasil ukiran sesuai dengan desain yang diharapkan.

Pengujian selanjutnya dilakukan dalam dua tahapan, yaitu pembuatan G-Code dan proses *Engraving* menggunakan mesin CNC. Pada tahap pertama, G-Code dibuat berdasarkan desain yang telah dibuat sebelumnya. G-Code adalah instruksi yang mengatur pergerakan mesin CNC sesuai dengan desain yang diinginkan.



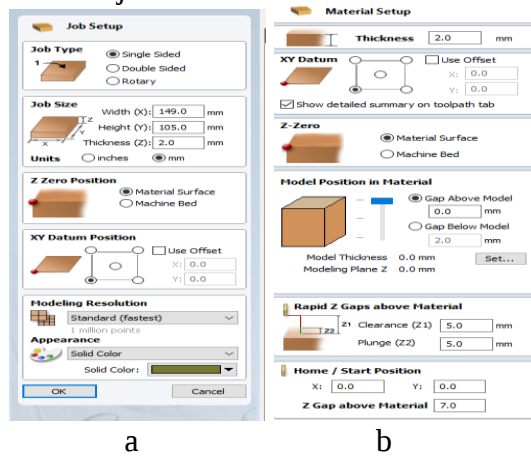
Gambar 12. Tampilan Software Aspire

Pada tampilan *Job Setup* terdapat beberapa konfigurasi yang perlu diatur, diantaranya:

- *Job type*: Menentukan tipe pengerjaan CNC, yaitu Single Side, Double Side, atau Rotary.
- *Job Size*: Mengatur lebar (*Width*), tinggi (*Height*), dan ketebalan (*Thickness*) dari benda kerja dalam satuan inchi atau mm.
- *Z Zero Position*: Memilih titik 0 pada sumbu Z, apakah di permukaan benda kerja (*Material Surface*) atau di permukaan meja mesin (*Machine bed*).
- *XY datum Position*: Menentukan titik nol dari posisi awal mesin.

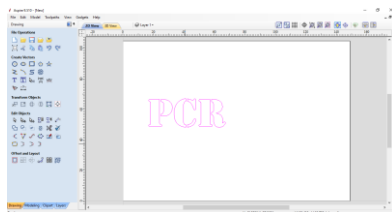
Adapun material *Setup* untuk mengatur tingkat ketebalan, titik awal pergerakan CNC, Z Zero, Tinggi dari pergeseran naik saat mesin bekerja dan *position*.

Untuk penentuan Job *setup* dan material *Setup*, dilakukan konfigurasi pada benda kerja.



Gambar 13. (a) Job Setup (b) Material Setup

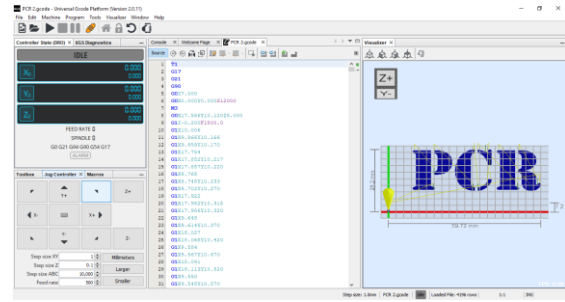
Kemudian Import gambar kedalam software aspire untuk dilakukan proses pembuatan G-Code.



Gambar 14. Import Gambar

Toolpath digunakan untuk menentukan model pengukiran pada benda kerja. Pada toolpath terdapat beberapa operasi (Toolpath Operation) seperti Pocket Toolpath, Profile Toolpath, Drilling Toolpath dan sebagainya.

Setelah G-Code selesai dibuat, tahap kedua adalah proses *Engraving*, di mana mesin CNC akan mengukir desain pada material akrilik berdasarkan instruksi dalam G-Code. Pada tahap ini, pengujian dilakukan untuk memastikan bahwa mesin CNC mampu mengikuti G-Code dengan akurasi dan presisi yang tinggi, sehingga hasil ukiran sesuai dengan desain yang telah direncanakan sebelumnya.



Gambar 15. G-Code

Buka GCode yang telah dibuat. Tampilan setelah GCode dibuka terlihat seperti pada Gambar 15. Mesin CNC akan bergerak sesuai GCode mengikuti gambar yang telah didesain sebelumnya pada Aplikasi Aspire.

Pengujian selanjutnya dengan melakukan uji coba pengukiran pada media akrilik dengan mengubah parameter kecepatan (mm/min) pada mesin CNC. Eksperimen ini menggunakan mata ukir Vbit 30 derajat dengan pemakanan sebesar 0,2 mm. Hasil dari percobaan ini dicatat dan terdokumentasi pada Tabel 4.

Tabel 4. Hasil pengujian grafir akrilik dengan perbedaan parameter kecepatan.

Kecepatan	250	1000	1500
Akselerasi	10 mm/sec ²	10 mm/sec ²	30 mm/sec ²
Waktu	32 Menit	21 Menit	19 Menit
Kualitas Ukir	Pemotongan bagus, waktu lama, permukaan halus.	Pemotongan cepat, pergerakan, permukaan sedikit kasar	Pemotongan cepat, hasil berbeda dengan desain
			pergerakan, permukaan kasar
Tampilan			

Pengujian ini telah berhasil membuktikan bahwa sistem kontrol *Engraving acrylic CNC 3 Axis* berbasis PC menggunakan *Arduino* berfungsi dengan baik dan mampu menghasilkan ukiran dengan tingkat akurasi dan detail yang diinginkan dengan mengatur parameter yang sesuai.

Kesimpulan

Berdasarkan hasil penelitian dalam pembuatan CNC *Engraving* Acrylic, beberapa kesimpulan utama dapat diambil. Pertama, untuk mencapai hasil pemakanan yang optimal, ketebalan pemotongan yang direkomendasikan adalah sebesar 0,4 mm. Kedalaman ini menghasilkan ukiran dengan detail yang baik pada material akrilik.

Kedua, untuk mencapai hasil ukiran yang baik pada material akrilik, kecepatan yang sesuai adalah 1000 mm/min dengan pemotongan 0,1 mm dan akselerasi 10 mm/sec². Pengaturan ini memungkinkan mesin CNC untuk melakukan ukiran dengan kecepatan yang tepat, sehingga mencapai akurasi dan presisi yang tinggi.

Ketiga, kecepatan pemakanan ukir memiliki pengaruh pada hasil akhir permukaan akrilik. Pengukiran dengan kecepatan yang lebih lambat cenderung menghasilkan permukaan yang lebih halus dibandingkan dengan kecepatan pemakanan yang lebih cepat.

Rekomendasi untuk penelitian lanjutan adalah melakukan eksperimen lebih lanjut dengan variasi parameter lain, seperti jenis alat potong, sudut potong, atau jenis material akrilik. Selain itu, penelitian lanjutan juga dapat melibatkan analisis material akrilik yang lebih mendalam untuk mengoptimalkan hasil ukiran. Dengan demikian, penelitian lanjutan dapat memberikan kontribusi lebih lanjut dalam mengembangkan teknologi CNC *Engraving* Acrylic yang lebih efisien dan akurat.

Referensi

- [1] A. Sudrajat, 2014 “Penguatan Industri Manufaktur,” *Media Ekuitas Prod. Indoneisa*, p. 14,
- [2] Muchlis, A., Ridwan, W., & Nasibu, I. Z. (2021). Rancang Bangun Mesin CNC (Computer Numerical Control) Laser dengan Metode Design for Assembly. *Jambura Journal of Electrical and Electronics Engineering*, 3(1), 23-27.
- [3] S. S. Mukrimaa et al, 2016., *Kajian*

- Sektor Manufaktur Indonesia 2021*, vol. 6, no. August.
- [4] Setiawan, B., Rasma, R., & Djunaedi, T. (2020). Rancang Bangun Mesin CNC Router Portable Dengan Dimensi 1219× 609 Mm Untuk Skala Laboratorium. *INFOMATEK: Jurnal Informatika, Manajemen dan Teknologi*, 22(1), 15-22.
- [5] B. L., “CNC ROUTER BERBANTU PERANGKAT LUNAK MASTERCAM,” no. 71, pp. 27–32.
- [6] Prasetyo, R. D. (2018). PEMANFAATAN LIMBAH PLYWOOD MENJADI PRODUK KREATIF BERUPA JAM TANGAN KAYU BERTEMA UII.
- [7] Sk, R., Julsam, J., Kartika, K., Fendri, A., & Mulyadi, M. (2019). Implementasi Mini CNC Router 3 Axis untuk Pembuatan Huruf dan Gambar Berbasis GRBL 3.6. 1. In *Prosiding Seminar Nasional Politeknik Negeri Lhokseumawe* (Vol. 3, No. 1, p. 95).
- [8] Deprintz and Kiki, “7 Masalah Umum Pada Mesin CNC,” *BLog Deprintz*, 2021. <https://blog.deprintz.com/7-masalah-umum-pada-mesin-cnc/>
- [9] Kemenperin, “Balai Kemenperin Kembangkan Teknologi Industri 4.0 Bagi Pelaku IKM,” *kemenperin_RI*, 2018. <https://www.kemenperin.go.id/artike/1/19056/Balai-Kemenperin-Kembangkan-Teknologi-Industri-4.0-Bagi-Pelaku-IKM>
- [10] Eni, 1967, “Metodologi Rancang Bangun Alat,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., no. Mi, pp. 5–24,
- [11] Riyadi, R. (2015). *Rancang Bangun Alat Inkubator Bayi Dengan Kontrol Suhu Dan Kelembaban Berbasis Mikrokontroller ATMEGA8535* (Doctoral dissertation, Politeknik Negeri Sriwijaya).
- [12] A. Wicaksana and T. Rachman, 2018

- “Rancang Bangun Mesin Crusher Limbah Kayu,” *Angew. Chemie Int. Ed.* 6(11), 951–952., vol. 3, no. 1, pp. 10–27.
- [13] S. Suharto, K. Purbono, A. Supriyadi, A. Supriyadi, and K. Karnowahadi, 2018, “Grafir Batu Alam Dengan Mesin Cnc Router Untuk Meningkatkan Ragam Produk Kreatif Indonesia,” *J. Simetrik*, vol. 8, no. 2, pp. 121–125,
- [14] K. Annudin, 2019, “Pengembangan Mesin Cnc Router 3-Axis Untuk Ukir Foto 3 Dimensi,” p. 119.
- [15] K. Davy Prayogo, Nely Ana Mufarida, 2018, “Pengaruh Kecepatan Dan Daya Mesin Laser Gravir Portable Berbasis Micro-Controller *Arduino* Terhadap Hasil Gravir Bahan Kulit Sapi Pada Industri Kerajinan Kulit,” no. 14, pp. 63–65.